ISSN 2786-7269 (Print)
ISSN 2786-7277 (Online)

ПРОСТОРОВИЙ РОЗВИТОК

SPATIAL DEVELOPMENT

Випуск 11 - 2025

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ

КИЇВСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
БУДІВНИЦТВА І АРХІТЕКТУРИ

ПРОСТОРОВИЙ РОЗВИТОК

Науковий збірник

Заснований у 2019 році

Випуск №11

Київ КНУБА 2025

УДК 711.11; 656.13.05; 528.482; 69.003.12; 911.3

Просторовий розвиток: Науковий збірник / Головн. ред. О. Шкуратов. – К., КНУБА, 2025. – Вип. . – 678 с.

DOI 11: https://doi.org/10.32347/2786-7269.2025.11.

Українською та англійською мовами.

В збірнику висвітлюються політичні, економічні та інженерні проблеми теорії і практики просторового розвитку територій, територіального планування, містобудування, управління містобудівельними системами і програмами, комплексної оцінки, освоєння, розвитку, утримання та реконструкції територій і житлової забудови, розглядаються нагальні питання житлово-комунально господарства, геодезії, містобудівного кадастру, розвитку населених пунктів, їх інженерної та транспортної інфраструктури.

Spatial Development: Science journal / Chief editor O. Shkuratov. – K., KNUCA, 2025. – Issue 11, – 678 p.

In Ukrainian and English languages.

The compilation covers political, economic and engineering problems of theory and practice of area development, area planning, urban planning, management of urban planning systems and programs, integrated assessment, development, maintenance and reconstruction of territories and residential development, and deals with current issues of housing and communal services, geodesy, city planning cadastre, development of settlements, their engineering and transport infrastructure.

Головний редактор – докт. ек. наук, професор Шкуратов О.І. (КНУБА).

Редакційна колегія: докт. наук з держ. упр., доцент Андреєв С.О. (КНУБА); докт. техн. наук, доцент Анненков А.О. (КНУБА); докт. економ. наук, професор Бєлєнкова О.Ю. (КНУБА); докт. техн. наук, професор Бушуєва Н.С. (КНУБА); докт. техн. наук, професор Габрель М.М. (НУ «ЛП»); канд. техн. наук, доцент Горбач М.В. (КНУБА); докт. філософ. наук, професор Гоцалюк А.А. (КНУБА);докт. наук з держ. упр., доцент Дакал А.В. (НУ охор. здор. України ім. Шупика П.Л.); докт. наук з держ. упр., професор Дзюндзюк В.Б. (ХНУ ім. Каразіна В.Н.); докт. філософ. наук, професор Добродум О.В. (КДТЕУ); канд. наук з держ. упр., доцент Ємельянова О.М. (КНУБА); докт. наук з держ. упр., професор Іваницька О.М. (НТУ України «КПІ ім. Ігоря Сікорського»); докт. техн. наук, професор Карпінський Ю.О. (КНУБА); докт. архітектури, професор Ковальська Г.Л. (КНУБА); докт. філософ. наук, ст. н. співробітник Козловець М.А. (ЖДУ ім. І. Франка); докт. політ. наук, професор Корнієвський О.А. (Нац. інст. страт. досліджень); докт. архітектури, доцент Кравченко І.Л. (КНУБА); канд. філософ. наук, доцент Лакуша Н.М. (КНУБА); докт. економ. наук, професор Лич В.М. (КНУБА); докт. техн. наук, професор Лізунов П.П. (КНУБА); докт. техн. наук, професор Лященко А.А. (КНУБА); докт. наук з держ. упр., професор Майстро С.В. (НУ цив. захисту України); докт. наук з держ. упр., професор Мамонова В.В. (ХНУМГ ім. О.М. Бекетова); докт. архітектури Орленко М.І. (Корп. «Укрреставрація»); докт. техн. наук, професор Осипов О.Ф. (КНУБА); докт. політ. наук, професор Перегуда Є.В. (КНУБА); докт. техн. наук, професор Петраковська О.С. (КНУБА); докт. філософ. наук, професор Печеранський І.П. (КНУКіМ); докт. техн. наук, професор Плешкановська А.М. (КНУБА); докт. техн. наук, професор Поколенко В.О. (КНУБА); канд. техн. наук, доцент Приймаченко О.В. ((заст. головн. редактора, КНУБА); канд. техн. наук, доцент Приходько Д.О. (КНУБА); докт. економ. наук, професор Рижакова Г.М. (КНУБА); докт. філософ. наук, ст. н. співробітник Самчук З.Ф. (ІПіЕД ім. І.Ф. Кураса НАН України); докт. техн. наук, доцент Смілка В.А. (ДАіМ КМДА); докт. економ. наук, професор Сорокіна Л.В. (КНУБА); докт. економ. наук, професор Стеценко С.П. (КНУБА); докт. політ. наук, професор Стойко О.М. (Інст. держ. і права ім. Корецького В.М.); докт. техн. наук, професор Татарченко Г.О. (СНУ ім. В. Даля); канд. економ. наук, доцент Цифра Т.Ю. (КНУБА); канд. філософ. наук, ст. н. співробітник Червона Л.М. (ІВО НАПН України); доцент Чередніченко П.П. (відп. секретар, КНУБА); докт. філософ. наук, професор Чорноморденко І.В. (КНУБА); докт. економ. наук, професор Шпакова Г.В. (КНУБА); докт. техн. наук, професор Шульц Р.В. (КНУБА); докт. політ. наук, професор Явір В.А. (Інст. держ. і права ім. Корецького В.М.); доктор архітектури, професор Яценко В.О. (КНУБА); іноземні члени редколегії: канд. соц. наук, професор Валацкене Аста (Унівенрситет Миколаса Раміреса м. Вільнюс, Литва); докт. економ. наук, професор Климчук М.М. (Університет Манітоба, Канада); доктор хабілітований, професор Кобилярчик Ю. (Краківська Політехніка ім. Т. Косцюшки, Польща); доктор хабілітований, професор Кушнєж-Крупа Д. (Краківська Політехніка ім. Т. Косцюшки, Польща); докт. економ. наук, професор Ніколаєв В.П. (Політехніка Вроцлавська, Польща); докт. економ. наук, (докт. хабілітований), професор Трач Р.В. (Варшавський університет природничих наук, Польща).

Рекомендовано до видання вченою радою Київського національного університету будівництва і архітектури, протокол №25 від 28 лютого 2025 року.

На замовних засадах

© Київський національний університет будівництва і архітектури, 2025

DOI: 10.32347/2786-7269.2025.11.3-15
УДК 711.4

Білоус О.Ю.,
olena.y.bilous@lpnu.ua, ORCID: 0009-0008-0071-8932**,**
Паляниця К.О.
kateryna.palianytsia.ar.2021@lpnu.ua, ORCID*:* 0009-0009-7102-8848,
Національний університет "Львівська політехніка"

ПЕРСПЕКТИВИ ОНОВЛЕННЯ ІНДУСТРІАЛЬНОЇ ЗАБУДОВИ 1960-их рр. В УМОВАХ СУЧАСНОГО ЛЬВОВА

Досліджено проблему організації життєвого середовища в районах масової житлової забудови, сформованої у 1960-х роках, та окреслено перспективи її подальшого розвитку. Особливу увагу приділено питанням модернізації індустріальної забудови, зокрема можливостям її реновації, проведення капітального ремонту, підвищення енергоефективності та оптимізації інженерних мереж. Розглянуто підходи до вдосконалення просторової організації житлових районів, покращення їхньої соціальної та екологічної складових, а також інтеграції сучасних містобудівних рішень для забезпечення комфортного та сталого розвитку міського середовища.

Ключові слова: масове будівництво; житловий район; Львів; модернізація.

Актуальність проблеми. Одним із найпоширеніших типів житлових будівель в Україні та інших країнах, що розвивали масову індустріальну забудову в середині XX століття, є хрущовки – типові малоповерхові житлові будинки, зведені в 1950–1960-х роках для вирішення проблеми дефіциту житла. Первинно ці будівлі проєктувалися як тимчасове рішення з розрахунковим терміном експлуатації 25–50 років, однак сьогодні, після понад 75 років використання, їхній технічний стан та подальша функціональна придатність стають критичним питанням.

Актуальність цієї проблеми виходить за межі фізичного стану самих будівель і охоплює ширший міський контекст: *функціонування житлових кварталів, просторову організацію середовища, стан інженерної інфраструктури та адаптацію таких районів до сучасних стандартів комфорту та енергоефективності*.

Особливо гостро постає це питання через катастрофічне погіршення технічного стану будівель, що з кожним роком лише посилюється. Руйнування старих будівель не тільки призводить до матеріальних збитків, але й ставить під загрозу безпеку мешканців, нерідко спричиняючи людські жертви. Важливим

чинником, що поглиблює ці проблеми, стали військові дії, які ще більше підкреслили необхідність у розробці стратегій модернізації, реконструкції або заміни застарілих будівель. Це питання потребує особливої уваги в умовах, коли фізичне зношення конструкцій, моральна застарілість архітектурно-планувальних рішень та недостатня енергоефективність обумовлюють потребу в комплексному осучасненні як самих будівель, так і навколишнього середовища.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. У наукових дослідженнях архітектури Львова радянського періоду (1956–1991) значну увагу приділено різним аспектам міського розвитку, зокрема генеральним планам, розвитку інфраструктури, багатоповерховому житловому будівництву, а також питанням проектування малоповерхового житла. Підхід до проектування та будівництва малоповерхових житлових споруд того часу став важливою темою в працях низки українських дослідників. Наприклад, О. Фенчук [1] виокремив етапи формування житлової забудови Львова в радянський період. Своєю чергою, О. Моркляник [2; 3] вивчала умови типового проектування житлових об'єктів у Львові в середині XX століття, виявляючи соціально-політичні передумови та вплив ідеології соцреалізму на архітектурні рішення того часу. Аналіз її робіт дозволяє зрозуміти суттєві зміни у просторі міста, зокрема в контексті малоповерхового житлового будівництва, яке активно розвивалося в кінці 1950-х років, і вплив цього процесу на формування міської структури Львова.

Вагомим внеском у дослідження житлової архітектури Львова є роботи В. Дідика [4] та С. Попової [5], які вивчали формування та розвиток малоповерхової забудови міста кінця 1950-х років та її трансформацію в наступні десятиліття. Автори особливу увагу звернули на проблемах перебудови, розбудови та надбудови існуючих будинків, а також на дослідженні збереження історичних архітектурних пам'яток. Зрештою, питання

Важливими стала праця А. Плешкановской та О. Савченко [6], що актуалізували проблеми реконструкції застарілого житлового фонду.

Тему формування житлової архітектури Львова в радянський період продовжили в своїх дослідженнях Б. Посацький [7], Б. Посацький і І. Черняк [8], Р. Мих [9] та інші, зосереджуючись на аналізі розвитку житлових районів та містобудівних процесів післявоєнного часу. Їх роботи дозволяють побачити взаємозв'язок між типами житлових будинків і соціальною ситуацією в місті, а також досліджують функціональну організацію та ефективність використання відкритих просторів у контексті житлового будівництва.

Аналіз наукових праць дозволив сформулювати загальні тенденції розвитку архітектури Львова радянського періоду. Зокрема, важливою рисою є активне використання типових проектів, що відповідали соціально-політичним

вимогам того часу, а також перехід від малоповерхового до багатоповерхового житла в процесі урбанізації. Однак, попри велике значення цих досліджень, залишається потреба в глибшому аналізі індивідуальних проектів та вивченні особливостей їх реалізації, що дозволить отримати більш повне уявлення про архітектурний контекст Львова того часу.

Метою статті є вивчення підходів до осучаснення масової індустріальної забудови середини ХХ ст., аналіз технічного стану житлового фонду та визначення стратегій його адаптації відповідно до актуальних тенденцій міського розвитку. Особливу увагу приділено питанням енергоефективності, удосконалення просторової організації житлових районів та створення комфортного і стійкого міського середовища.

Відповідно до визначеної мети дослідження були сформульовані наступні завдання: провести детальний аналіз практичного досвіду осучаснення житлових будинків, зокрема з урахуванням сучасних вимог до енергоефективності, безпеки та комфорту мешканців, а також вивчити успішні приклади реконструкції; визначити архітектурні прийоми, що використовуються при реконструкції багатоквартирної забудови 1960-х рр., зокрема, з фокусом на адаптацію старих житлових комплексів до сучасних функціональних і естетичних вимог.

Виклад основного матеріалу. *В історії формування матеріально-речового середовища в нашій країні можна виділити декілька найважливіших етапів. До них, безумовно, відноситься створення потужної індустріальної бази в передвоєнні роки, відновлення народного господарства після війни та вирішення житлової проблеми на основі розвитку індустріального домобудування в 50-60 ті рр. минулого століття [6].*

Масова житлова забудова середини ХХ ст., відома як *хрущовки*, проєктувалася з розрахунковим терміном експлуатації 25-50 років, що фактично завершився ще на початку 2010-х рр.. Попри це, такі будівлі й надалі залишаються важливим сегментом житлового фонду, хоча перебувають на етапі значного фізичного та морального зносу. Деградація зачіпає не тільки конструктивні елементи самих будівель, а й прилегле середовище, що актуалізує питання їхньої комплексної модернізації, реновації або заміни з урахуванням сучасних вимог до комфорту, енергоефективності та трендів міського розвитку.

Виникнення *хрущовок* було зумовлене політичними та економічними чинниками середини ХХ століття. Державна стратегія спрямовувалася на швидке забезпечення житлом широких верств населення, що диктувало необхідність здешевлення будівництва та скорочення термінів проєктування й зведення. Економія впливала на всі аспекти житлової архітектури: мінімізацію

площ квартир, низьку висоту приміщень, стандартизовані конструктивні рішення та відсутність архітектурного різноманіття. Початкові серії будинків мали малоповерхову забудову [4; 5], однак подальша оптимізація та стандартизація призвела до переходу на багатоповерхові секційні будівлі з типовими квартирами, для яких характерні прохідні кімнати, відсутність літніх приміщень (балконів і лоджій у ранніх варіантах), суміщені санітарні вузли та невиразний архітектурно-художній вигляд [2]. Однорідність фасадів, уніфіковане оздоблення та мінімалістичне оформлення входів спричинили монотонність міського середовища, яке сьогодні значною мірою втрачає функціональну привабливість.

Сучасний технічний стан багатьох житлових будівель перших масових серій є критичним. Основними проблемами, які візуалізуються у міському просторі є розгерметизація міжпанельних швів, незадовільна теплоізоляція, аварійний стан покрівель, зношеність інженерних мереж (систем водопостачання, каналізації, опалення та електропостачання). Через відсутність у проєктах енергоефективних рішень ці будівлі мають значні тепловтрати, що не відповідає сучасним екологічним та економічним вимогам. Додатково вони не адаптовані до потреб маломобільних груп населення, що створює бар’єри для їхньої повноцінної інтеграції у міське середовище.

Деградація просторового середовища навколо таких житлових будинків є ще однією вагомою проблемою. Первісні проєкти не враховували сучасний рівень автомобілізації, що призвело до хаотичного паркування у дворах, значного скорочення пішохідного простору та зменшення доступності територій загального користування. Брак дитячих ігрових майданчиків, занедбаний стан тротуарів і дворів, відсутність сучасних рекреаційних зон та недотримання норм екологічного балансу лише поглиблюють соціальні та просторові диспропорції, формуючи дискомфортне житлове середовище.

То ж оновлення масової житлової забудови середини ХХ ст. потребує комплексного підходу, який поєднує модернізацію житлових будівель, реорганізацію прилеглих територій та інтеграцію принципів сталого міського розвитку. Це передбачає як інженерно-технічні заходи (реновацію або реконструкцію будівель, утеплення, оновлення інфраструктури), так і містобудівні стратегії, спрямовані на покращення функціональної організації житлових районів та їхню адаптацію до сучасних соціальних і екологічних вимог.

Державна політика щодо території масової індустріальної забудови 1960-х рр. та застарілого житлового фонду в Україні має важливе значення для вирішення проблеми житлового забезпечення та покращення умов проживання. Регулювання процесів реконструкції застарілого житлового фонду

здійснювалося через Закон України «Про комплексну реконструкцію кварталів (мікрорайонів) застарілого житлового фонду», прийнятий у 2006 р. Однак цей закон, попри свою значущість, не досягнув очікуваних результатів через високу вартість і складність процесу, що передбачав вимогу переселення всіх мешканців будинку і значне державне фінансування.

Нещодавно, у 2021 р., було зареєстровано законопроєкт №6458, який став важливим кроком у вирішенні проблеми застарілого житлового фонду в Україні [10]. Цей законопроєкт передбачав розширення категорій житлових будинків, які підпадають під реконструкцію, включаючи будівлі різної поверховості, а не тільки п'ятиповерхові. Важливою зміною стало також залучення місцевих органів влади – сільських, селищних та міських рад – до ролі замовників реконструкційних проєктів. Також законопроєкт надавав розширений перелік джерел фінансування, що сприяло б залученню як державних, так і приватних інвестицій; пропонувалося вдосконалити механізми прийняття рішень щодо реконструкції або знесення застарілого житла, а також оптимізувати процедуру компенсації власникам таких будинків і запропонувати різні варіанти відселення мешканців під час реконструкції.

Для комплексного вирішення проблеми застарілого житлового фонду намітилося два основних напрямки.

Перший напрямок стосувався зносу старих житлових будівель з подальшим зведенням нових відповідних сучасним стандартам комфортності, енергоефективності та безпеки. При цьому передбачалося створення нових житлових просторів, які б мали забезпечувати високий рівень якості життя, інтеграцію інноваційних технологій для зниження енергоспоживання та мінімізації негативного впливу на навколишнє середовище, а також поліпшення транспортної інфраструктури.

В основу *другого напрямку* лягла ідея модернізації та реконструкції існуючих будівель перших масових серій з урахуванням адаптації їх до сучасних вимог. Вона б стосувалася не тільки ремонтних робіт, але й комплексного оновлення архітектурно-планувальних рішень, благоустрою прилеглих територій, створення комфортних дворів та зон відпочинку для мешканців, вдосконалення інженерних мереж і комунікацій, впровадження технологічних рішень для покращення енергоефективності та стійкості до змін клімату. Це також передбачає врахування соціально-економічних аспектів, таких як поліпшення доступності житла для різних верств населення та забезпечення належних умов для соціального взаємодії.

Сьогодні, в умовах складної політичної та економічної ситуації, зазначені напрямки не можуть розвиватися на належному рівні і бути імплементовані в повному обсязі.

Чинники, що ускладнюють процес знесення *хрущовок*, є багатогранними і взаємопов'язаними, охоплюючи різноманітні аспекти. Перш за все, економічний чинник: значно дешевше та економічно раціональніше проводити оновлення існуючих будівель, аніж здійснювати їх повний демонтаж і зведення нових із значними фінансовими вкладеннями і ресурсами. Соціальні аспекти також відіграють важливу роль, адже частина мешканців може виступати проти виселення та переселення, через додаткові труднощі в організації такого процесу. Організаційний аспект стосується складності в тимчасовому переселенні мешканців, адже це потребує продуманих заходів та залучення великої кількості ресурсів, щоб забезпечити комфортне проживання в період реконструкції або зносу.

Екологічні чинники також не можна ігнорувати. Процес зносу будівель супроводжується великою кількістю будівельних відходів. Вони потребують ефективної утилізації і негативно впливають на екологічну ситуацію. Крім того, будівництво нових житлових об'єктів спричиняє значне навантаження на природні ресурси, посилюючи проблему зміни клімату. Враховуючи соціально-політичну ситуацію, в умовах післявоєнної руйнації та значного скорочення житлового фонду, недоречно здійснювати знос будинків, які ще можуть бути придатними для проживання.

Модернізація масової індустріальної житлової забудови 1960-х років повинна враховувати низку важливих аспектів. Містобудівний підхід полягає в тому, щоб не тільки покращити функціональне планування територій, але й забезпечити належну організацію простору в межах міста. Архітектурний аспект полягає в оновленні композиційно-художніх рішень, а також у вдосконаленні конструктивних елементів будівель, щоб вони відповідали сучасним вимогам комфорту та безпеки. Важливими є також питання енергоощадності та енергозбереження, а також естетична складова, що покращує візуальне сприйняття будівель і територій.

Функціонально-планувальні та архітектурно-просторові недоліки масових житлових будинків 1960-х років стають очевидними при детальному аналізі їхніх характеристик. Малогабаритні житлові приміщення, незручні пропорції кімнат та обмежена площа створюють дискомфорт для мешканців. Планувальні рішення часто не враховують сучасні потреби, зокрема маленькі кухні, прохідні кімнати, вузькі коридори та суміщені санвузли, що обмежує зручність використання простору. Відсутність додаткових господарських приміщень, таких як гардеробні або кладові, не дозволяє ефективно організувати зберігання речей.

Додаткові проблеми виникають через відсутність літніх приквартирних приміщень та ліфтів у будівлях, що ускладнює доступність і знижує комфорт.

Одноманітність та монотонність архітектурних рішень призводить до відсутності індивідуальності будівель, візуальна естетика фасадів часто не відповідає сучасним вимогам. Також значущою проблемою є відсутність зручного доступу для маломобільних верств населення, що є суттєвим недоліком в контексті сучасної архітектурної інклюзивності.

Таким чином, для досягнення успішної модернізації *хрущовок* необхідно комплексно враховувати ці чинники та розробити стратегії, що дозволять адаптувати будівлі до сучасних вимог без значних втрат для екології, економіки та соціальної структури населення.

Рис. 1. Приклади підвищення стандартів комфортності проживання силами мешканців, Львів, 2025 р. (фото: К. Паляниця, 2025)

Модернізація житлового фонду передбачає комплекс заходів, спрямованих на покращення функціональних та естетичних характеристик будівель. Серед таких заходів можна виокремити внутрішнє перепланування (як по горизонталі, так і по вертикалі), прибудови та надбудови, винесення вхідних комунікаційних вузлів на зовнішні фасади будинків, а також влаштування ліфтів і добудову літніх приквартирних приміщень, таких як балкони, лоджії та тераси. Ці заходи

дозволяють збільшити площу і кількість квартир, покращити санітарні вузли, створити додаткові приміщення для зберігання, а також поліпшити пропорції кімнат і зон відпочинку, що значно підвищує комфорт проживання.

Архітектурно-художній аспект модернізації будинків полягає в індивідуалізації їхнього образу шляхом використання колористичних рішень, супер графіки та змін в об'ємно-просторовій структурі будівель (через прибудови та надбудови), а також збагачення фасадів, включаючи влаштування балконів, галерей, сходових кліток та зміни форми даху. Містобудівний аспект модернізації житлової забудови передбачає впорядкування планувальної організації території, що забезпечує комфорт та функціональність. Для перших серій багатоповерхових будинків масової забудови характерні недоліки, такі як відсутність достатньої кількості місць для зберігання автотранспорту та соціально-просторової структуризації середовища, що призводить до анонімності житлових районів.

Враховуючи соціально-психологічні потреби людей, виділяють три основні просторові зони житлового середовища: приватний простір (квартира, можлива тераса або сад), напівприватний простір (будинок, сходи, прибудинкова територія, що належить мешканцям) та громадський простір (території громадської забудови, вулиці та дороги). Правильне формування та структурування цих зон дозволяє створити комфортне середовище, яке сприяє соціальним взаємодіям і благополуччю мешканців.

Модернізація старих житлових фондів, таких як *хрущовки*, має численні переваги, зокрема доступну вартість квартир, зручне розташування в розвинених районах з доброю транспортною доступністю та близькістю до інфраструктури, наявність зелених зон і можливість перепланування. Крім того, ці будинки мають компактні розміри, що спрощує ремонти та забезпечує енергоефективність. Модернізація старих будівель дає змогу підвищити комфорт для мешканців, створюючи необхідну інфраструктуру для зберігання індивідуального автотранспорту та збільшення площі прибудинкових територій за допомогою сучасної забудови та малих архітектурних форм.

Збереження та модернізація таких будинків має не тільки економічні переваги, але й важливе значення для соціальної стабільності та розвитку міських територій, що враховує європейські орієнтири та тенденції модернізації житлового середовища.

Закордонний досвід демонструє тенденції в модернізації житлового фонду в умовах сучасного міського розвитку. Вони спрямовані на покращення якості життя мешканців, ефективне використання наявних ресурсів та адаптацію до вимог сучасних соціальних і екологічних стандартів. Одна з головних тенденцій – це орієнтація на сталий розвиток, що передбачає інтеграцію

екологічних, економічних та соціальних аспектів в процес модернізації. Зокрема, велика увага приділяється енергоефективності будівель, використанню «зелених» технологій, таких як сонячні панелі, системи збору дощової води та використання енергоощадних матеріалів.

Рис. 2. Приклад відновлення пошкоджених російськими ракетами будинків у Запоріжжі, було-стало [11]: проєкт відбудови будинку в точності відповідає визначеному урядом принципу відновлення України – «краще, ніж було»; тут передбачено не тільки відновлення зруйнованих після влучання ракети конструкцій, а максимальне осучаснення з комплексною енергоефективною модернізацією

Ще однією важливою тенденцією є адаптація старого житлового фонду до нових функціональних вимог. Це включає перепланування та реконструкцію за допомогою новітніх архітектурних і технологічних рішень, що дозволяє покращити якість житла та збільшити його функціональність без значних витрат на нове будівництво. Модернізація таких будівель дозволяє зберегти історичну та культурну спадщину, одночасно забезпечуючи зручні умови для життя.

Не менш важливим є створення комфортного і функціонального середовища для соціальної взаємодії. Зміна соціальних потреб вимагає розвитку нових типів житлових комплексів, які можуть адаптуватися до різноманітних моделей життя, включаючи багатофункціональні простори, які поєднують житлові, комерційні та громадські функції. Одним із напрямків є створення дитячих кімнат та інших поліфункціональних просторів у перших поверхах забудови.

Також слід зазначити зростаючий попит на доступне житло, що стало результатом змін в економічній ситуації та соціальних умовах. Багато розбудовників міст орієнтуються на зведення економічно доступних житлових комплексів з використанням дешевших матеріалів та швидких будівельних технологій, що дозволяє знизити вартість житла, не знижуючи його функціональності та якості.

Рис. 3. Тенденції модернізації багатоквартирного житла, європейський досвід [12]

Однак, незважаючи на численні виклики, питання покращення якості життя мешканців, оптимізації використання простору та впровадження інноваційних рішень у житловому будівництві залишаються надзвичайно актуальними. Створення стратегії, яка включатиме адаптацію застарілих будівель і розвиток нових проектів, що відповідають високим вимогам до комфорту, екології та енергоефективності, має стати основою для подальшого розвитку житлового сектору, що зможе сприяти підвищенню якості життя та стійкому розвитку міських середовищ.

Висновок. Отже, індивідуалізація образу будинку та двору в процесі модернізації радянської забудови, здійснена через благоустрій та озеленення, здатна не тільки створити естетично привабливий простір, але й виконати важливу соціальну функцію. Вона може взяти участь у формуванні ідентичності мешканців з їхнім житлом, сприяючи розвитку почуття гордості та відповідальності за навколишнє середовище. Поряд з тим, трансформація простору здатна сприяти зміцненню сусідських зв'язків, покращенню

соціальної інтеграції та підвищенню загальної якості життя. Гармонійне поєднання архітектурних, ландшафтних та функціональних елементів дозволяє створити комфортне й емоційно привабливе середовище, яке впливатиме на покращення якості життя як окремих мешканців, так і громади в цілому.

Зважаючи на це, будівлі радянської забудови, зокрема типу *хрущовка*, мають важливу роль у формуванні міського контексту. Враховуючи їх потенціал для інтеграції в сучасне міське середовище, ці об'єкти здатні стати не тільки збереженими, а й адаптованими до сучасних архітектурних та функціональних вимог, дозволяючи сформувати новий образ міського простору. Якщо модернізацію цих будівель виконувати з урахуванням сучасних потреб та стандартів, вони зможуть стати естетичною окрасою міських районів, задавати тон розвитку урбанізованих територій та сприяти гармонійному поєднанню архітектури, природи і соціальної інфраструктури. Таким чином, ці будівлі не лише виконуватимуть функціональні завдання, але й сприятимуть розвитку міського середовища як простору, що відповідає вимогам сталості в умовах сучасного суспільства.

Подальший напрямок дослідження. У майбутньому планується здійснити сутнісні характеристики поняттю *хрущовка* та його еволюцію в контексті змін архітектурного вигляду та соціальних процесів.

Бібліографічний список

1. Фенчук, О.Т. (2022). *Житловий Львів. історія формування житлового будівництва у період 1945–2010 рр. Вісник Національного університету «Львівська політехніка». Серія: «Архітектура»,* 2 (4), с. 178-191.

2. Моркляник О., (2008). Впровадження типового проектування в житлове будівництво Львова у період з кінця 40-х – першої половини 50-х років XX ст. *Вісник Національного університету "Львівська політехніка"*, 632, с. 26–30.

3. Моркляник О. (2016). Утопічні ідеї соціалістичного реалізму в житловій архітектурі Львова кін. 40-х–І пол. 50-х рр. 20 ст. *Сучасні проблеми архітектури та містобудування*, 43 (1), с. 226–233. Режим доступу: https://scholar.google.com.ua/citations?view_op=view_citation&hl=uk&user=xj583_MAAAAJ&citation_for_view=xj583_MAAAAJ:WF5omc3nYNoC.

4. Дідик, В. (2020). Проектування і спорудження малоповерхового житла наприкінці 1950-их років у Львові. *Вісник Національного університету «Львівська політехніка». Серія: «Архітектура»,* 2 (2), с. 76-82.

5. Попова, С. (2023). Архітектурні особливості малоповерхової типової житлової забудови 1939–1955-х років. *Вісник Національного університету «Львівська політехніка». Серія: «Архітектура»*, 2 (10), с. 141-149.

6. Плешкановска, А.М., та Савченко, О.Д. (2019). *Епохи та міста.* Вид. 2-е, доповн. Київ. Інститут Урбаністики, Вид. Логос. С. 309-318.

7. Посацький, Б. (2008). Архітектура тоталітаризму (1940-1956). В.Ю. Бірюльов, ред., *Архітектура Львова. Час і стилі. XII–XXI ст*. (с. 578-598). Львів: Центр Європи.

8. Posatskyi B. and Cherniak I. (2019). New objects in the space of Lviv (1956–1990). *Space & form | przestrzeń i FORMa*, 40, p. 233–264.

9. Мих, Р. (2008). Архітектура радянського періоду (1956-1991). В: Ю. Бірюльов, ред., *Архітектура Львова. Час і стилі. XII–XXI ст.* (с. 606-637). Львів: Центр Європи.

10. Rada.gov.ua. (2025). Available at: http://w1.c1.rada.gov.ua/pls/zweb2/webproc4_1?pf3511=73497.

11. Вавілов, А. (2024, 16 травня). Як перетворити «хрущовку» на сучасний енергоефективний будинок: досвід відновлення пошкоджених російськими ракетами будинків у Запоріжжі. *Перший Запорізький.* Available at: https://1news.zp.ua/yak-peretvoriti-hrushhovku-na-suchasnij-energoefektivnij-budinok-dosvid-vidnovlennya-poshkodzhenih-rosijskimi-raketami-budinkiv-u-zaporizhzhi/.

12. Гнес, І.П. (2013). *Багатоквартирне житло. Тенденції еволюції.* Львів: Вид-во Львів. Політехніки.

Assistant **Olena Bilous, Kateryna Palanytsia,**
Lviv Polytechnic National University

PROSPECTS FOR THE RENOVATION OF INDUSTRIAL HOUSING FROM the 1960s IN THE CONTEXT OF CONTEMPORARY LVIV

The article explores the process of modernizing Soviet-era residential buildings, specifically typical buildings from the 1945-1990s period, through landscaping and greening. The author analyzes how the individualization of the building and yard's image not only creates an aesthetically appealing space but also plays an important social role. Special attention is given to the impact of these changes on residents' identification with their homes, strengthening neighborhood ties, and improving the quality of life. It is emphasized that the enhancement of architectural and landscape elements, combined with functional space organization, contributes to creating a comfortable and emotionally attractive urban environment, which positively influences the community as a whole. The author highlights that modernizing such buildings according to contemporary standards can significantly change their context, making them important elements of the urban environment, capable of shaping its image, setting the tone, and serving as a decoration for the city. In future research, the author intends to examine the evolution of the term "Khrushchyovka" in the context of architectural and social changes and explore the possibilities of integrating modern architectural solutions into the restoration of these buildings.

Keywords: mass construction; residential area; Lviv; modernisation.

REFERENCES

1. Fenchuk, O.T. (2022). Zhytlovyi Lviv. istoriia formuvannia zhytlovoho budivnytstva u period 1945–2010 rr. Visnyk Natsionalnoho universytetu «Lvivska politekhnika». Seriia: «Arkhitektura», 2 (4), pp. 178–191. {in Ukrainian}

2. Morklianyk O., (2008). Vprovadzhennia typovoho proektuvannia v zhytlove budivnytstvo Lvova u period z kintsia 40-kh – pershoi polovyny 50-kh rokiv XX st.

Visnyk Natsionalnoho universytetu “Lvivska politekhnika”, 632, pp. 26–30. {in Ukrainian}

3. Morklianyk O. (2016). Utopichni idei sotsialistychnoho realizmu v zhytlovii arkhitekturi Lvova kin. 40-kh–I pol. 50-kh rr. 20 st. Suchasni problemy arkhitektury ta mistobuduvannia*,* 43 (1), pp. 226–233. Access Mode: https://scholar.google.com.ua/citations?view_op=view_citation&hl=uk&user=xj583_MAAAAJ&citation_for_view=xj583_MAAAAJ:WF5omc3nYNoC. {in Ukrainian}

4. Didyk, V. (2020). Proektuvannia i sporudzhennia malopoverkhovoho zhytla naprykintsi 1950-ykh rokiv u Lvovi. Visnyk Natsionalnoho universytetu «Lvivska politekhnika». Seriia: «Arkhitektura»*,* 2 (2), pp. 76–82. {in Ukrainian}

5 Popova, S. (2023). Arkhitekturni osoblyvosti malopoverkhovoi typovoi zhytlovoi zabudovy 1939–1955-kh rokiv. Visnyk Natsionalnoho universytetu «Lvivska politekhnika». Seriia: «Arkhitektura»*,* 2 (10), pp. 141–149. {in Ukrainian}

6. Pleshkanovska, A.M., ta Savchenko, O.D. (2019). Epokhy ta mista. Vyd. 2-e, dopovn. Kyiv. Instytut Urbanistyky, Vyd. Lohos. Pp. 309-318. {in Ukrainian}

7. Posatskyi, B. (2008). Arkhitektura totalitaryzmu (1940-1956). V.Yu. Biriulov, red., Arkhitektura Lvova. Chas i styli. KhII–KhKhI st. {in Ukrainian}

8. Posatskyi, B. and Cherniak, I. (2019). New Objects in the Space of Lviv (1956–1990). *Space & Form | przestrzeń i FORMa,* 40, pp. 233–264. {in Ukrainian}

9. Mykh, R. (2008). Arkhitektura radianskoho periodu (1956-1991). V: Yu. Biriulov, red., Arkhitektura Lvova. Chas i styli*. XII–XXI centuries* (pp. 606–637). Lviv: Centre for Europe. {in Ukrainian}

10. Rada.gov.ua. (2025). Available at: http://w1.c1.rada.gov.ua/pls/zweb2/webproc4_1?pf3511=73497. {in Ukrainian}

11. Vavilov, A. (2024, 16 travnia). Yak peretvoryty «khrushchovku» na suchasnyi enerhoefektyvnyi budynok: dosvid vidnovlennia poshkodzhenykh rosiiskymy raketamy budynkiv u Zaporizhzhi. Pershyi Zaporizkyi. Available at: https://1news.zp.ua/yak-peretvoriti-hrushhovku-na-suchasnij-energoefektivnij-budinok-dosvid-vidnovlennya-poshkodzhenih-rosijskimi-raketami-budinkiv-u-zaporizhzhi/.{in Ukrainian}

12. Hnes, I.P. (2013). Bahatokvartyrne zhytlo. Tendentsii evoliutsii. Lviv: Vyd-vo Lviv. Politekhniky. {in Ukrainian}

DOI: 10.32347/2786-7269.2025.11.16-29
УДК 728.22.051.6

Вадімов Д.В.,
vadimovdv53@gmail.com , ORCID: 0000-0001-6550-0127,
Національний університет
«Полтавська політехніка імені Юрія Кондратюка»

ПРИНЦИПОВІ ПОЛОЖЕННЯ ЩОДО ПРОСТОРОВОГО ВИРІШЕННЯ ПРИБУДИНКОВИХ ТЕРИТОРІЙ БАГАТОКВАРТИРНИХ ЖИТЛОВИХ БУДИНКІВ

Розглянуті принципові положення щодо просторового вирішення прибудинкових територій багатоквартирних житлових будинків. Основна увага приділяється виявленню та аналізу протидій впливу негативних факторів на просторове вирішення та планування прибудинкових територій, їх систематизацію. Встановлено фундаментальні принципи організації прибудинкових територій. Виявлено ефективні практичні прийоми, через які реалізуються ці принципи в житловому середовищі. Вони є своєрідними рекомендаціями щодо оптимізації процесів просторового вирішення прибудинкових територій, які можуть бути використані для підвищення якості житлового середовища.

Ключові слова: прибудинкова територія; багатоквартирне житло; доступне житло; принципові положення; принципи; прийоми.

Актуальність роботи. Сучасні урбаністичні процеси вимагають нових підходів до проєктування прибудинкових територій багатоквартирних житлових будинків. Зростаюча щільність населення, обмеженість земельних ресурсів та зміна соціальних потреб мешканців ставлять перед містобудівниками завдання створення комфортного, функціонального та безпечного середовища проживання. Проблема полягає в тому, що традиційні методи планування часто не враховують певною мірою негативні фактори впливу та специфічні потреби мешканців, що призводить до недостатньої організації простору, відсутності необхідних інфраструктурних об’єктів та зниження якості життя.

Неправильне з точки зору сучасних тенденцій або нераціональне «поверхове» планування прибудинкових територій може спричинити соціальну ізоляцію, невдоволеність мешканців, збільшити рівень соціальної напруги, а також негативно вплинути на комфортність проживання у багатоквартирному житловому будинку та, навіть, погіршити екологічний стан навколишнього середовища. Таким чином, знижується цінність, що може «відвернути» потенційних інвесторів вкладати ресурс в розвиток територій багатоквартирної

житлової забудови. В свою чергу це погіршуватиме загальну економічну ситуацію. Водночас, ефективне просторове вирішення таких територій здатне сприяти розвитку соціальної взаємодії, покращенню безпеки та створенню комфортних умов для активної життєдіяльності і відпочинку, що в свою чергу стане потенційно привабливим сектором інвестицій та матиме загальну тенденцію позитивного зростання та розвитку.

Таким чином, існує нагальна потреба у визначенні принципів і розробці рекомендацій щодо проєктування прибудинкових територій, які б враховували сучасні вимоги до якості життя, екологічності та естетичності. Це дозволить забезпечити комфортне проживання мешканців багатоквартирних житлових будинків і підвищити загальну привабливість житлового середовища.

Мета даної роботи – сформувати принципові положення щодо просторового вирішення прибудинкових територій багатоквартирних житлових будинків для забезпечення комфортного, функціонального та безпечного житлового середовища. Робота спрямована на створення теоретичних основ і практичних рекомендацій для ефективного проєктування прибудинкових територій, які відповідають сучасним вимогам і потребам суспільства.

Аналіз останніх досліджень та публікацій. Проблеми комплексної реконструкції міської житлової забудови в Україні досліджувались такими вітчизняними вченими як: М. Габрель, І. Гнесь, М. Дьомін, В. Єжов, Т. Жидкова, Є. Клюшніченко, В. Куцевич, А. Оситнянко, А. Плешкановска, О. Сингаївська, Л. Шевченко та інші. М. Биваліна, Й. Голик, Н. Багрій, Д. Вантюх та інші. Серед них – дослідження, спрямовані на вирішення актуальних питань масової багатоквартирної житлової забудови в містах України [1-3], у тому числі у період другої половини XX ст. [4-6]. Важливим є закордонний досвід проведення досліджень по просторовій організації міського середовища, зокрема – житловому середовищу з метою підвищення його привабливості, комфортності. Серед таких досліджень привертає увагу наукові розвідки про участь громадян у процесі створення житєкомфортного середовища [7-8]. Питання формування сучасного житла та внутрішньо-квартального простору висвітлені в роботах Д. Поповича [9-10]. Післявоєнній житловій забудові присвячені роботи С. Зосіма та В. Ніколаєнка [11-12].

Викладення основного матеріалу. Прибудинкові території багатоквартирних житлових будинків відіграють ключову роль у формуванні комфортного життєвого середовища. Вони є невід'ємною частиною міського простору, що впливає на якість життя мешканців. Сучасні міста стикаються з численними викликами, такими як зростання населення, ущільненість та змішаність функцій, обмеженість простору та необхідність забезпечення комфортного середовища. Існує декілька підходів до проєктування

прибудинкових територій. Традиційний підхід – той, що орієнтований на максимальну забудову території, без благоустрою або з типовим благоустроєм. Часто це відбувається без урахування індивідуальних потреб мешканців, особливостей ситуацій та без ув'язки з оточуючою забудовою й існуючих функціональних процесів.

Переваги сучасного підходу полягають у створенні більш комфортного середовища, однак він потребує більш поглиблене вивчення та вирішення завдань, значних фінансових, аналітичних, часових інвестицій та планування.

Просторове вирішення та формування прибудинкових територій багатоквартирних житлових будинків орієнтовані на мінімізацію негативних факторів впливу, які знижують загальний рівень комфорту та життєздатності даних територій [13]. Це досягається шляхом протидії та інтеграції відповідних рішень, що сприяє покращенню функціональності простору, підвищенню безпеки, забезпеченню естетичної привабливості та створенню сприятливого соціального середовища (рис.1).

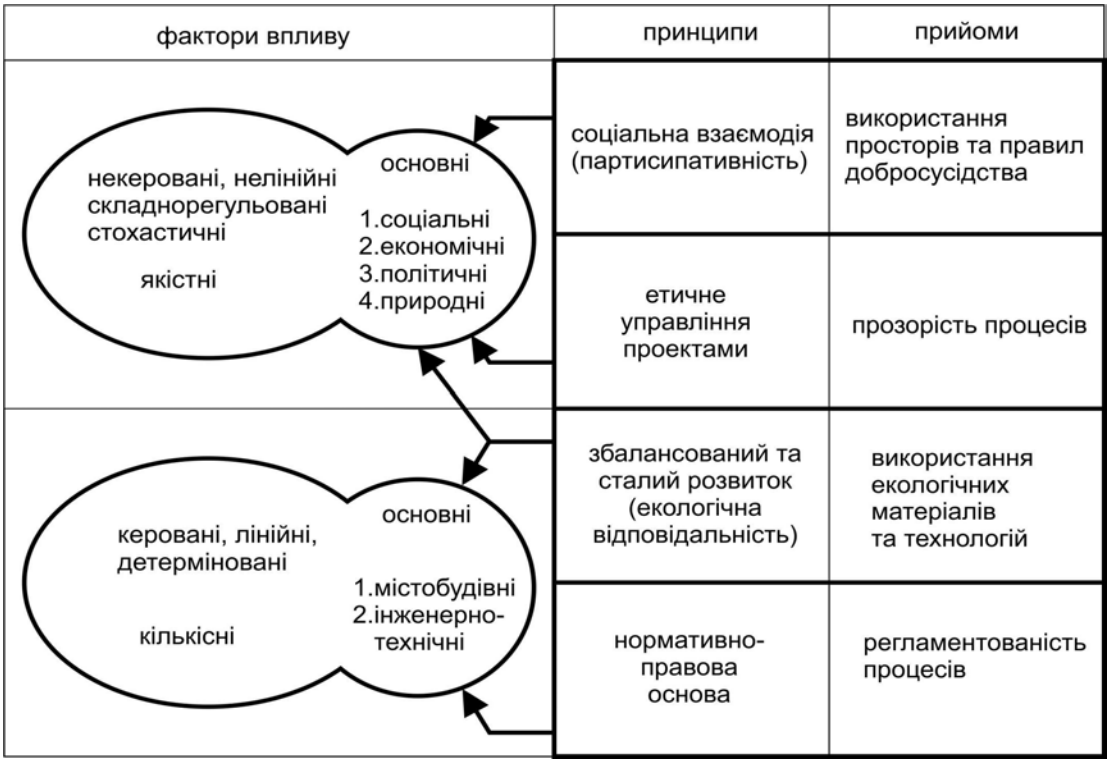


Рис.1 Система протидії впливу негативних факторів на основі принципів та прийомів організації прибудинкові території багатоквартирної житлової забудови.

Розглянемо, яким чином це може відбуватися в контексті протидії зазначених проблем:

1. *Економічні негативні фактори впливу*: низький рівень життя, відсутність фінансування та інвестицій. На противагу можуть протидіяти такі

принципові рішення:

- підвищення рівня життя шляхом розробки прибудинкових територій з урахуванням потреб мешканців, що, в свою чергу, підвищить попит на житло і сприятиме зростанню цін на нерухомість. Це може залучити інвестиції для покращення інфраструктури;
- залучення фінансування для створення привабливого середовища (зелені зони, дитячі майданчики, зони відпочинку) може стати підставою для отримання грантів та субсидій від держави чи міжнародних організацій.

2. *Соціальні негативні фактори впливу*: перешкоджання, блокування процесів розвитку територій через неузгодженість. На протидію можливо застосовувати наступне:

- синергію та співпрацю шляхом включення мешканців у процес проєктування через громадські слухання та погодження, що дозволить досягти консенсусу щодо функціональних рішень. Це зменшить ймовірність конфліктів і непорозумінь;
- узгодженість планувальних рішень, адже розробка чітких регламентів для планування територій допоможе уникнути перешкоджання конфліктів між власниками комерційних приміщень та користувачами житлових зон.

3. *Опортунізм забудовників*: невиконання умов інвестиційних договорів, низька якість. Протидіяти опортунізму можна залученням:

- прозорості процесів шляхом упровадження механізмів контролю за діяльністю забудовників і чіткого регулювання їхніх дій, що може зменшити ризик опортунізму;
- громадського контролю із числа мешканців за виконанням будівельних норм і стандартів, що сприятиме більшій прозорості та відповідальності забудовників.

4. *Містобудівні негативні фактори впливу:* відсутність відповідних містобудівних механізмів і чітких правил. Сприяти опору цим факторам можуть такі дії:

- регламентоване оформлення меж за рахунок впровадження надійних та прозорих процедур оформлення меж прибудинкових територій з чіткими правилами і стандартами, що може зменшити кількість конфліктів і рейдерських захватів та викликати більшу довіру майбутніх інвесторів;
- удосконалення нормативної бази шляхом створення і впровадження нормативних документів з регулювання містобудівних процесів, що допоможе забезпечити дотримання всіх вимог при формуванні територій.

5. *Природно-кліматичні негативні фактори впливу*: глобальне потепління. Протистояти цьому можна, запроваджуючи екологічні рішення, як

то – зелені технології (наприклад, системи збору дощової води, енергоефективні будівлі, матеріали й технології зі зменшенням впливу СО), що може допомогти адаптуватися та протидіяти глобальному потеплінню.

6. *Інженерно-технічні негативні фактори впливу*: висока вартість обладнання, застаріле неефективне устаткування. Викликати протидію можуть такі принципові рішення:

- оптимізація витрат шляхом використання новітніх технологій у проєктуванні та будівництві, що може знизити витрати на інженерні системи, роблячи їх більш доступними для мешканців;
- ефективність інфраструктури з розробкою комплексних інженерно-технічних рішень, що враховують потреби мешканців, що може зменшити експлуатаційні витрати і підвищити якість життя.

7. *Геополітичні негативні фактори впливу* (форс-мажори). Запобігти ним можна, передбачивши:

- безпеку території при проєктуванні прибудинкових територій (укриття від обстрілів), що може зменшити ризики під час надзвичайних ситуацій;
- громадську активність шляхом підтримки місцевих ініціатив і активностей, що може зміцнити громаду в умовах нестабільності.

8. *Культурно-традиційні негативні фактори впливу:* відсутність системи впровадження заохочування до збереження історико-культурної спадщини). Можливі шляхи протидії цьому:

- збереження та популяризація культурної спадщини, а саме – включення елементів місцевої культури в дизайн прибудинкових територій, що може сприяти збереженню ідентичності та успадкуванню культурної традицій;
- формування громадських локальних просторів для культурної діяльності шляхом створення місць для проведення відповідних заходів, що може сприяти згуртованості громади, залученню усіх мешканців до активного життя громади.

Протидія негативним факторам впливу може бути охарактеризована як комплексний розвиток. Цей підхід забезпечує систематичне вирішення проблем, що виникають внаслідок негативних впливів і інтегрує в себе певні аспекти, які забезпечують сталий розвиток такого виду урбанізованого простору, як прибудинкова територія. Таким чином утворюється своєрідна система, яка включає в себе такі складові, як:

1) *функціональність*: прибудинкова територія повинна забезпечувати різноманітні функції — від зон відпочинку, ігрових майданчиків до зон завантаження товару при змішаній житлово-комерційній функції. Важливо враховувати потреби різних груп населення (родин з дітьми, літніх людей,

маломобільної групи населення, тощо);

2) *безпека*: в контексті сьогоднішніх реалій при проєктуванні необхідно передбачати проходи до укриттів, освітлення та видимість території (наприклад, відокремлення зони для дітей від автомобільного руху);

3) *етичність*: управління проєктами в будівництві житлових багатоквартирних будинків з прибудинковою територією можуть включати в себе регулювання відносин із забудовником з метою зменшення ризику опортунізму. Цей процес можна назвати «Управління проектами», «Управління будівельними проектами», або «Регулювання будівельної діяльності». Ці терміни охоплюють аспекти планування, контролю, моніторингу та забезпечення дотримання умов договорів у сфері будівництва з метою зростання довіри між сторонами;

4) *соціальна інтеграція*: створення просторів та правил для спільної діяльності сприяє розвитку соціальних зв'язків між мешканцями, та покращує їх соціальні відносини;

5) *екологічність*: включення зелених насаджень, використання екологічно чистих матеріалів сприяє поліпшенню якості повітря та загального екологічного стану території;

6) *естетика*: дизайн прибудинкової території має бути привабливим і гармонійно вписуватися в навколишнє середовище. Використання місцевих матеріалів і традиційних елементів з переосмисленням культурної спадщини може підвищити її естетичну цінність;

7) *інноваційні рішення*: інтеграція смарт-технологій для моніторингу стану прибудинкової території (освітлення, безпека та керування процесами), зелені дахи, вертикальні сади та інші технологічні заходи підвищують функціональність та покращують мікроклімат.

Зазначені аспекти проєктування прибудинкових територій можуть бути систематизовані та об'єднані в чотири основних принципи організації прибудинкової території. Це дозволяє сформувати більш легкий і зрозумілий структурований підхід, що відповідає сучасним вимогам та викликам і утворює міцну основу для подальшого розвитку. Систематизація різних аспектів проєктування прибудинкових територій у вищезазначені категорії – принципові положення – дозволяє створити цілісну концепцію, яка відповідає сучасним вимогам сталого розвитку та соціальної відповідальності [14-16].

В свою чергу фундаментальні принципи організації прибудинкових територій реалізуються через практичні прийоми, які діють ефективно в житловому середовищі. Ця взаємодія між теоретичними основами та практичними методами сприяє досягненню цілей проєктування та оптимізації функціональних характеристик територій.

1. Нормативно-правовий принцип охоплює аспекти функціональності та безпеки. Функціональність передбачає, що прибудинкова територія повинна відповідати потребам мешканців, забезпечуючи зручний доступ до різноманітних об'єктів інфраструктури. Безпека, в свою чергу, включає в себе як фізичні аспекти (освітлення, огородження), так і соціальні (забезпечення комфортного середовища для всіх користувачів). Нормативно-правовий принцип проєктування прибудинкових територій може реалізовуватися через регламентованість процесів за допомогою наступних прийомів:

- *стандартизація проєктування:* встановлення чітких стандартів і норм для проєктування прибудинкових територій, що включають вимоги щодо розмірів, функціонального зонування, безпеки та доступності. Це може включати державні будівельні норми (ДБН) та інші нормативні документи, які регулюють проектування;
- *процедури затвердження проєктів:* упровадження регламентованих процедур для затвердження проєктів прибудинкових територій, які передбачають обов'язкову перевірку на відповідність вимогам;
- *моніторинг і контроль:* регламентування процесів моніторингу та контролю за виконанням проєктів прибудинкових територій, щоб забезпечити їх відповідність затвердженим планам і нормам;
- *документування процесів:* введення чіткої документації на всіх етапах проєктування та реалізації, що включає технічні завдання, плани, звіти про виконання робіт та акти приймання. Це дозволяє забезпечити прозорість і підзвітність у реалізації проєкту;
- *визначення відповідальних осіб:* регламентування ролей та обов'язків усіх учасників процесу проєктування — від архітекторів й інженерів до представників місцевої влади та мешканців. Це дозволяє зменшити ризики конфліктів і забезпечити чітке виконання норм і стандартів;
- *навчання та підвищення кваліфікації:* проведення навчальних семінарів для проєктувальників, архітекторів і представників органів влади з метою ознайомлення їх з актуальними нормами, стандартами та новими технологіями в проєктуванні прибудинкових територій;
- *залучення громади:* регламентування механізмів залучення мешканців до обговорення проєктів і прийняття рішень, що дозволяє врахувати їхні потреби і пропозиції на ранніх етапах проєктування.

Завдяки цим прийомам регламентованість процесів може суттєво підвищити якість проектування прибудинкових територій, забезпечуючи їхню функціональність, безпеку та відповідність законодавчим вимогам.

2. Принцип соціальної взаємодії об'єднує елементи соціальної інтеграції та естетики. Соціальна інтеграція передбачає створення умов для взаємодії між

мешканцями, що сприяє формуванню спільноти. [17] Естетика, в свою чергу, впливає на сприйняття простору, формуючи привабливе середовище, яке стимулює соціальні контакти та активність. Важливою складовою є також інноваційні рішення, які можуть сприяти розвитку нових форм взаємодії. Принцип соціальної взаємодії може бути реалізований через використання правил та просторів добросусідства в кількох ключових аспектах:

- *створення спільних просторових зон,* які заохочують мешканців до взаємодії. Такі простори повинні бути комфортними та естетично привабливими, що стимулює людей проводити там час;
- *правила добросусідства*, встановлення яких може сприяти формуванню здорових відносин. Це можуть бути правила щодо шуму, спільного використання ресурсів (наприклад, загального двору або обладнання) та організації спільних заходів. Правила повинні бути зрозумілими і прийнятими всіма мешканцями;
- *залучення мешканців до прийняття рішень* щодо використання спільних просторів і правил добросусідства. Це може бути реалізовано через збори, опитування або онлайн-платформи для обговорення;
- *інноваційні рішення* – використання технологій для покращення комунікації між сусідами (наприклад, мобільні додатки для обміну інформацією про події, проблеми в будинку тощо), що може стимулювати активність та взаємодію. Також можна впроваджувати нові формати співпраці, такі як спільні проєкти (наприклад, з благоустрою території);
- *естетичний аспект,* як то – декорування спільних просторів, створення мистецьких інсталяцій або проведення виставок робіт місцевих художників, що може покращити естетичне сприйняття середовища і стимулювати людей до зустрічей і спілкування.

Загалом, реалізація принципу соціальної взаємодії через правила та простори добросусідства передбачає комплексний підхід, який враховує потреби та інтереси мешканців, створюючи таким чином умови для активної та продуктивної взаємодії.

3. Принцип етичної поведінки акцентує увагу на етичності процесів створення нових просторів і реконструкції існуючих територій, що включає в себе впровадження механізмів контролю за діяльністю забудовників та мешканців, повагу та відповідальність до культурних цінностей та потреб усіх груп населення. Етична поведінка передбачає врахування інтересів різних користувачів прибудинкової території, що сприяє формуванню інклюзивного середовища. Важливо також враховувати інноваційні рішення, які можуть підвищити рівень етики у взаємодії між людьми. Принцип етичної поведінки в контексті соціальної взаємодії може бути реалізований через прозорість

процесів у кількох ключових аспектах:

- *відкритість інформації:* забезпечення доступу до інформації про плани забудови, реконструкцію територій та інші зміни в житловому середовищі. Це може включати публікацію проєктів, звіти про виконання робіт, а також інформацію про фінансування. Відкритість допомагає уникнути недовіри і спекуляцій з боку мешканців;
- *регулярний моніторинг і звітність:* упровадження механізмів контролю за діяльністю забудовників і виконанням проєктів. Регулярні звіти про хід робіт, а також оцінка їх впливу на навколишнє середовище та громаду допомагають підтримувати високий рівень етики;
- *створення платформ для зворотного зв'язку:* використання онлайн-платформ або мобільних додатків для збору відгуків від мешканців щодо якості життя, безпеки, благоустрою та інших аспектів. Це дозволяє швидко реагувати на проблеми та потреби громади;
- *встановлення етичних стандартів для забудовників*: розробка чітких етичних норм і стандартів для забудовників, які б регламентували їхню діяльність. Це може включати вимоги щодо екологічності, соціальної відповідальності та поваги до культурних цінностей місцевої громади;
- *інтеграція інклюзивних практик*: забезпечення участі різних груп населення (включаючи вразливі категорії) у процесах планування та реалізації проєктів. Це може включати спеціалізовані консультації або фокус-групи для врахування потреб усіх користувачів прибудинкової території [18].

Загалом, прозорість процесів є ключовим елементом для забезпечення етичної поведінки в соціальній взаємодії, оскільки вона сприяє формуванню довіри, відповідальності та інклюзивності в суспільстві.

4. Екологічний принцип. Екологічність є ключовим аспектом сучасного проєктування, що передбачає використання екологічно чистих матеріалів та технологій. Цей принцип включає в себе не лише збереження природних ресурсів, але й створення комфортного середовища для життя, яке гармонійно поєднує людську діяльність і природу. Інноваційні рішення можуть сприяти впровадженню екологічних практик у проєктуванні прибудинкових територій. Цей принцип може бути реалізований через соціальну взаємодію за допомогою таких ключових прийомів:

- *вибір матеріалів*: залучення громади до процесу вибору екологічних матеріалів для благоустрою території. Це може включати відкриті обговорення, де мешканці можуть висловити свої побажання та ідеї щодо використання певних матеріалів, які є безпечними для довкілля і здоров'я;
- *освітні програми*: проведення навчальних семінарів або воркшопів для мешканців, де можна розповісти про переваги екологічних матеріалів та

технологій. Це допоможе підвищити обізнаність громади про важливість екологічності та залучити їх до активної участі в проектуванні;

- *інноваційні рішення:* заохочення місцевих підприємців і дизайнерів упроваджувати інноваційні екологічні рішення у проєктування прибудинкових територій. Наприклад, використання сонячних панелей, систем збору дощової води або зелених дахів. Громада може брати участь у конкурсах на кращі екологічні проекти;
- *спільні ініціативи:* організація спільних заходів, таких як висадка дерев, створення квітників або зелених зон, які використовують екологічні матеріали;
- *залучення експертів (*екологів або архітекторів) для проведення консультацій з мешканцями щодо екологічних рішень у проєктуванні. Це дозволить врахувати наукові підходи та новітні технології;
- *промоція сталого розвитку:* створення інформаційних кампаній, які підкреслюють важливість сталого розвитку і екологічності в повсякденному житті. Це може включати розповсюдження матеріалів про те, як кожен мешканець може внести свій вклад у збереження навколишнього середовища;
- *використання місцевих ресурсів:* підтримка ініціатив, які сприяють використанню місцевих екологічно чистих матеріалів і технологій. Це може включати співпрацю з місцевими постачальниками та виробниками, що допоможе зменшити вуглецевий слід.

Загалом, реалізація екологічного принципу через соціальну взаємодію сприяє не лише збереженню природних ресурсів, але й формуванню свідомої та активної громади, яка піклується про своє середовище та майбутнє.

Висновки. В результаті проведеного дослідження було встановлено, що:

1. Існує значна кількість негативних факторів, які впливають на прибудинкові території багатоквартирної житлової забудови. Проте, для кожного з них можна виявити протидії, що дозволяють зменшити їх негативний вплив.
2. Усі принципові положення можна охарактеризувати як основні, фундаментальні або базові принципи, які служать основою для формулювання теорій, концепцій та зрештою – методологій у вирішенні нагальних питань. Вони визначають ключові ідеї, правила або закони, які регулюють дослідження та практику в цій галузі. Такі положення повинні бути підтверджені емпіричними даними або теоретичними обґрунтуваннями.
3. Для досягнення більшої ефективності застосування визначених принципів необхідно їх структуризувати та об’єднати в загальні фундаментальні концепції. Це дозволить забезпечити системний підхід до управління прибудинковими територіями та оптимізувати заходи щодо протидії негативним впливам на них.

4. Упровадження фундаментальних принципів організації прибудинкових територій можливе лише через ефективну реалізацію практичних прийомів, що забезпечують їх інтеграцію у процес проєктування та управління простором.

Таким чином, просторове вирішення прибудинкових територій багатоквартирних житлових будинків є складним і багатогранним процесом, що вимагає комплексного підходу. Запропоновані механізми можуть слугувати основою для створення комфортних, безпечних та естетично привабливих місць. При подальшому дослідженні організації прибудинкових територій необхідно зосередитися на впровадженні інноваційних прийомів та адаптації їх до змінюваних умов сучасного урбаністичного середовища.

Список використаних джерел:

1. Плешкановська А.М. Функціонально-планувальна оптимізація використання міських територій. Київ: Вид. Логос, 2005. 190 с.
2. Сингаївська, О., & Биваліна, М. Основні напрями вирішення проблем у сфері благоустрою та озеленення міста. *Містобудування та територіальне планування*, (81), С.313–336. URL: https://doi.org/10.32347/2076-815x.2022.81.313-336.
3. Голик Й., Багрій Н., Вантюх Д. Масова житлова забудова як елемент кризової архітектури. *Просторовий розвиток*, (4), с.14–28.
4. Shevchenko L. Mass Housing in Ukraine in the Second Half of the 20th Century. *Docomomo Journal* – No 67, 2022/2, pp. 72-78. URL: https://doi.org/10.52200/docomomo.67
5. Shevchenko L.S. Second Life of the Residential Building Area of the Middle of the 50s—Early 80s of the Twentieth Century in Ukraine: Opportunities and Perspectives *Lecture Notes in Civil Engineering* 2019. Vol. 73. Pp. 449-462. URL: https://doi.org/10.1007/978-3-030-42939-3_37.
6. Shevchenko L., Mykhaylyshyn O., Novoselchuk N., Troshkina, O., Kamal, M. A. Landscaping and Greening of the Residential Buildings Courtyards of the 50s–Early 80s of the XX Century in Ukraine: Current Situations and Renewal Perspectives/ *Lecture Notes in Civil Engineering*. 2023. 299 pp. 541–558. URL: https://doi.org/10.1007/978-3-031-17385-1_43.
7. Гел Й. Міста для людей. переклад з анг. Київ: Основи, 2018.
8. Лернер Ж. Акупунктура міста/ (пер.: Сакальска К.). Львів: Вид-во Старого Лева. 2016. 160 с.
9. Попович, Д. Методика реконструкції внутрішньо-квартального простору при формуванні сучасного житла в умовах історичної забудови. *Сучасні проблеми архітектури та містобудування*, (67), с. 351–359. URL: https://doi.org/10.32347/2077-3455.2023.67.351-359
10. Попович, Д. Класифікація сучасного житла в умовах історичного контексту. *Архітектурний вісник КНУБА*, (26-27), с. 272–278.
11. Зосім С.А., Ніколаєнко В.А. Теоретичні передумови формування нової повоєнної забудови в Україні. *Сучасні проблеми архітектури та містобудування*. Вип.67. 2023. С. 221-229. URL: https://doi.org/10.32347/2077-3455.2023.67.221-229.
12. Зосім С.А., Ніколаєнко В.А. Аналіз вітчизняного практичного досвіду формування багатоквартирної житлової забудови 1991-2010 рр. на прикладі міста Полтави. *Сучасні проблеми архітектури та містобудування*. Вип. 70. 2024. С. 206-221. URL: https://doi.org/10.32347/2077-3455.2024.70.206-221.
13. Вадімов, Д.В. Фактори впливу на комфортність простору прибудинкових територій багатоквартирної житлової забудови. *Просторовий розвиток*, (7), с. 21–31. URL: https://doi.org/10.32347/2786-7269.2024.7.21-31.
14. Поморцева, О., Лазоренко, Н., Кінь, Д., & Некрасов, Я. Дослідження впливу

вернакулярних районів на сталий розвитк території міст. *Містобудування та територіальне планування*, (86), с. 449–461. URL: https://doi.org/10.32347/2076-815x.2024.86.449-461.

15. Криворучко, О. Методи та засоби дослідження громадських просторів. *Містобудування та територіальне планування*, (85), с. 277–285. URL: https://doi.org/10.32347/2076-815x.2024.85.277-285.

16. Вадімов В.М. Особливості просторового планування в умовах інтегрованого розвитку міст в Україні. (Практ. коментар). Полтава: Дивосвіт, 2019. 132 с.

17. Олійник, О., & Селешок, І. Принципи формування функціонально-просторової програми соціального житла на засадах сталого розвитку. *Містобудування та територіальне планування*, (85), 445–453. URL: https://doi.org/10.32347/2076-815x.2024.85.445-453 .

18. Шилова, Т., & Тітєв, В. Комплексне оцінювання комфортності території. *Містобудування та територіальне планування*, (85), 660–678.

Vadimov Dmytro,
National University “Yuri Kondratyuk Poltava Polytechnik”

PRINCIPLE PROVISIONS FOR THE SPATIAL SOLUTION OF THE ADJACENT TERRITORIES OF MULTI-APARTMENT RESIDENTIAL BUILDINGS

The article considers the fundamental provisions relating to the spatial solution of the adjacent territories of multi-apartment residential buildings, which are an important aspect of modern urban planning. The study focuses on identifying and analysing countermeasures to negative factors that can significantly affect the effectiveness of spatial solution and planning of adjacent territories, which negatively affect the quality of life of residents. Identification and analysis of negative impacts allows not only to better understand their nature, but also to identify possible ways to neutralise them. The study identified the fundamental principles of organising adjacent territories that contribute to the creation of a comfortable, safe and functional living environment.

Systematising and combining various principles of counteracting negative factors into key categories, such as regulatory, social, ethical and ecological use of space, is an important step in forming a holistic approach to the organisation of the local area. This process helps to structure the complex aspects of the organisation of the adjacent territories, which in turn contributes to the creation of a clear and logical concept that meets modern requirements and challenges. The creation of basic principle categories makes it possible to integrate various principles into a single system that ensures their interconnection and interaction. Thus, the systematisation of these aspects within a single concept allows for the development of more effective solutions for the organisation of adjacent territories. This not only meets the modern requirements of sustainable development, but also forms a solid basis for the further development of the urban environment.

The fundamental principles of the organisation of adjacent territories are implemented through practical methods. The relationship between theoretical foundations and practical techniques contributes to the realisation of the organisation's goals and improvement of the functional characteristics of these areas. The practical techniques for the implementation of these principles identified in the study can serve as a kind of recommendation for architects, urbanists, local governments, housing management structures, as well as for the development of scientific and educational manuals for higher educational institutions of architectural direction to optimise the processes of spatial solution of adjacent territories. Implementation of the proposed measures will help to improve the quality of the living environment, which is important for ensuring comfortable living of residents of apartment buildings and further growth of the investment attractiveness of these areas. Thus, the article emphasises the importance of an integrated approach to the planning of adjacent territories, which takes into account various aspects.

Keywords: adjacent territory; apartment housing; affordable housing; fundamental provisions; principles; techniques.

REFERENCES

1. Pleshkanovska A.M. FunktsIonalno-planuvalna optimIzatsIya vikoristannya mIskih teritorIy. KiYiv: Vid. Logos, 2005. 190 s. {in Ukrainian}

2. Singayivska, O., & BivalIna, M. OsnovnI napryami virIshennya problem u sferI blagoustroyu ta ozelenennya mIsta. MIstobuduvannya ta teritorIalne planuvannya, (81), S.313–336. URL: https://doi.org/10.32347/2076-815x.2022.81.313-336 {in Ukrainian}

3. Golik Y., BagrIy N., Vantyuh D. Masova zhitlova zabudova yak element krizovoYi arhItekturi. Prostoroviy rozvitok, (4), s.14–28. URL: https://doi.org/10.32347/2786-7269.2023.4.14-28 {in Ukrainian}

4. Shevchenko L. Mass Housing in Ukraine in the Second Half of the 20th Century. Docomomo Journal – No 67, 2022/2, pp. 72-78. URL: https://doi.org/10.52200/docomomo.67 {in English}

5. Shevchenko L.S. Second Life of the Residential Building Area of the Middle of the 50s—Early 80s of the Twentieth Century in Ukraine: Opportunities and Perspectives Lecture Notes in Civil Engineering 2019. Vol. 73. Pr. 449-462.URL: https://doi.org/10.1007/978-3-030-42939-3_37 {in English}

6. Shevchenko L., Mykhaylyshyn O., Novoselchuk N., Troshkina, O., Kamal, M. A. Landscaping and Greening of the Residential Buildings Courtyards of the 50s–Early 80s of the XX Century in Ukraine: Current Situations and Renewal Perspectives/ Lecture Notes in Civil Engineering. 2023. 299 pp. 541–558. URL: https://doi.org/10.1007/978-3-031-17385-1_43 {in English}

7. Gel Y. MIsta dlya lyudey. pereklad z ang. KiYiv: Osnovi, 2018. {in English}

8. Lerner Zh. Akupunktura mista/ (per.: Sakalska K.). Lviv: Vid-vo Starogo Leva. 2016. 160 s. {in Ukrainian}

9. Popovich, D. Metodika rekonstruktsiyi vnutrIshno-kvartalnogo prostoru pri formuvannI suchasnogo zhitla v umovah IstorichnoYi zabudovi. SuchasnI problemi Arhitekturi ta MIstobuduvannya, (67), s. 351–359. URL https://doi.org/10.32347/2077-3455.2023.67.351-359 {in Ukrainian}

10. Popovich, D. Klasifikatsiya suchasnogo zhitla v umovah Istorichnogo kontekstu. ArhItekturniy vIsnik KNUBA, (26-27), s. 272–278. URL: https://doi.org/10.32347/2519-8661.2023.26-27.272-278 {in Ukrainian}

11. Zosim S.A., Nikolaenko V.A. Teoretichni peredumovi formuvannya novoyi povoennoyi zabudovi v Ukrayini. Suchasni problemi arhitekturi ta mistobuduvannya. Vip.67. 2023. S. 221-229. URL: https://doi.org/10.32347/2077-3455.2023.67.221-229. {in Ukrainian}

12. Zosim S.A., Nikolaenko V.A. Analiz vItchiznyanogo praktichnogo dosvidu formuvannya bagatokvartirnoYi zhitlovoYi zabudovi 1991-2010 rr. na prikladi mista Poltavi. Suchasni problemi arhitekturi ta mistobuduvannya. Vip. 70. 2024. S. 206-221. URL: https://doi.org/10.32347/2077-3455.2024.70.206-221. {in Ukrainian}

13. Vadimov, D.V. Faktori vplivu na komfortnist prostoru pribudinkovih teritorIy bagatokvartirnoyi zhitlovoyi zabudovi. Prostoroviy rozvitok, (7), c. 21–31. URL: https://doi.org/10.32347/2786-7269.2024.7.21-31 {in Ukrainian}

14. Pomortseva, O., Lazorenko, N., KIn, D., & Nekrasov, Ya. Doslidzhennya vplivu vernakulyarnih rayoniv na staliy rozvitk teritoriyi mist. MIstobuduvannya ta teritorIalne planuvannya, (86), c. 449–461. URL: https://doi.org/10.32347/2076-815x.2024.86.449-461 {in Ukrainian}

15. Krivoruchko, O. Metodi ta zasobi doslIdzhennya gromadskih prostorIv. MIstobuduvannya ta teritorIalne planuvannya, (85), c. 277–285. URL: https://doi.org/10.32347/2076-815x.2024.85.277-285 {in Ukrainian}

16. Vadimov V.M. Osoblivosti prostorovogo planuvannya v umovah integrovanogo rozvitku mist v Ukrayini. (Praktichniy komentar). Poltava: Divosvit, 2019. 132 s. {in Ukrainian}

17. OlIynik, O., & Seleshok, I. Printsipi formuvannya funktsIonalno-prostorovoYi programi sotsIalnogo zhitla na zasadah stalogo rozvitku. Mistobuduvannya ta teritorialne planuvannya, (85), 445–453. URL: https://doi.org/10.32347/2076-815x.2024.85.445-453 {in Ukrainian}

18. Shilova, T., & Titev, V. Kompleksne otsinyuvannya komfortnosti teritoriyi. Mistobuduvannya ta teritorialne planuvannya, (85), 660–678. URL: https://doi.org/10.32347/2076-815x.2024.85.660-678 {in Ukrainian}

DOI: 10.32347/2786-7269.2025.11.30-38
УДК 728.5

Васильєв Д.В.,
vasyliev@archimatika.com.ua, ORCID: 0009-0002-8051-162X,
к.арх., доцент **Гомон О.О.,**
gomon.oo@knuba.edu.ua, ORCID: 0000-0002-1949-5635,
Київський національний університет будівництва і архітектури

АПАРТАМЕНТИ, ЯК НОВИЙ ФОРМАТ ТИМЧАСОВОГО ЖИТЛА

Розглянуто новий формат житла – апартаменти, які стрімко набули популярності на ринку нерухомості завдяки своїй гнучкості, комфорту та відповідності вимогам міського життя. Наведено різні типи планування апартаментів, класифікацію апартаментів за загальною площею, рівнем комфорту, призначенням; визначено деякі специфічні види апартаментів.

Ключові слова: апартаменти; апартамент-готель; апарт-готель; гнучкість; архітектурно-планувальні рішення; функціональність; класифікація; житлове приміщення.

Постановка проблеми. Останнім десятиліттям на ринку нерухомості з’являється новий формат тимчасового довготривалого житла, який швидко набуває популярності – апартаменти. На сьогодні будівлі з апартаментами стають важливою частиною сучасної архітектури, оскільки вони відображають вимоги до комфорту та функціональності у міському середовищі. Різноманітність типів апартаментів залежить від багатьох факторів: розміщення, призначення, стилю архітектури та планувальних рішень. Даний тип тимчасового житла став популярним завдяки своїм архітектурно-планувальним рішенням, а саме: гнучкості та можливості адаптації простору під різні потреби мешканців.

Метою статті є дослідження різних типів планування апартаментів, встановлення класифікації апартаментів за різними критеріями, уточнення понять апартамент-готелів і апарт-готелів.

Виклад основного матеріалу. В залежності від функціонального призначення апартаменти можуть бути з відкритим, закритим та комбінованим плануванням (рис. 1). Відкрите планування - це один із найбільш популярних підходів для планування апартаментів. У таких приміщеннях вітальня, кухня та інші зони можуть бути об’єднані в єдиний простір. Відкриті планування створюють ефект великого простору, дозволяють легко адаптувати приміщення під різні потреби. Номери студіо, як правило, мають таке планування. Студійні

апартаменти часто використовуються як тимчасове або бюджетне житло. Їх переваги полягають у компактності і функціональності.

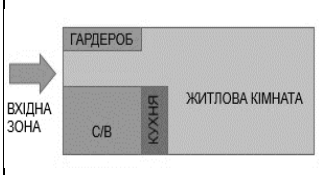
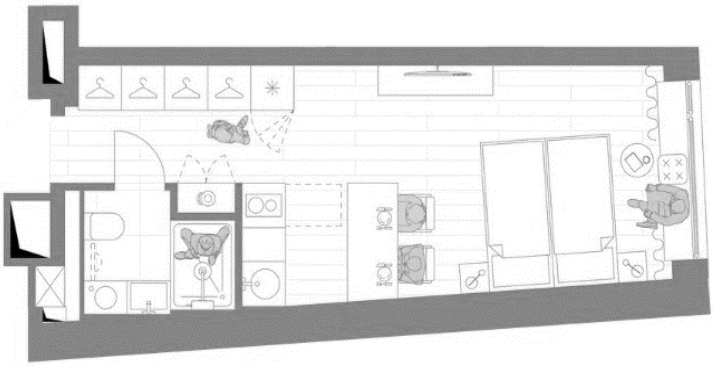
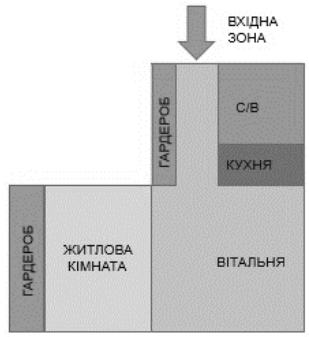
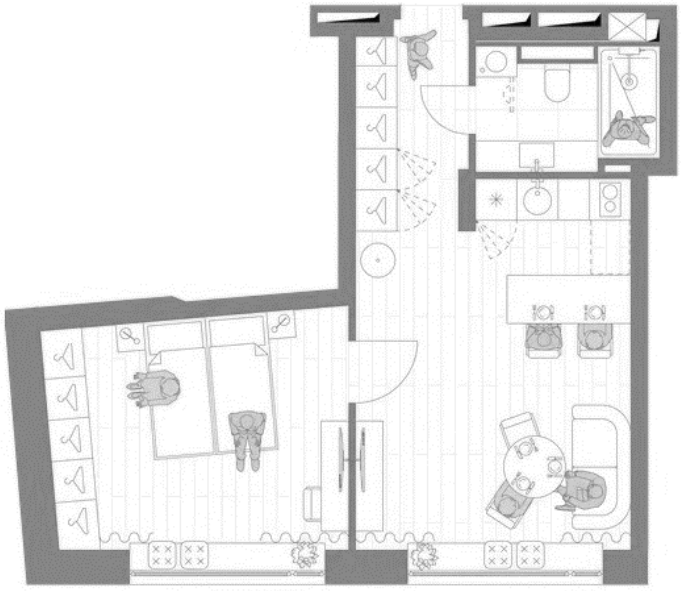
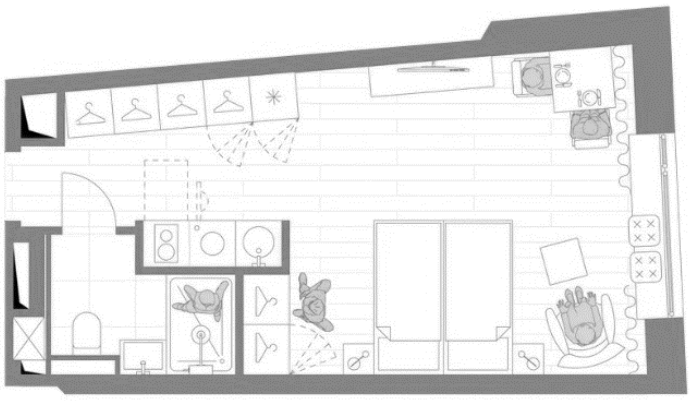
Відкрите планування 		Загальна площа – 25,89 м²
Закрите планування 		Загальна площа – 44,75 м²
Комбіноване планування 		Загальна площа – 26,37 м²

Рис. 1. Архітектурно-планувальні рішення апартаментів з однією спальнею [12]

Закрите планування – підхід, при якому кожна зона (спальня, вітальня, кухня, санвузол) має свою окрему площу та стіни, що забезпечує більше приватності. Таке планування ідеально підходить для тих, хто цінує чітке розмежування між зонами.

Комбіноване планування – це поєднання відкритого та закритого планування, що дозволяє створювати функціональні простори, де певні зони (наприклад, вітальня і кухня) поєднуються, а спальні відокремлені для забезпечення комфорту та приватності.

Класичні апартаменти пропонують комфорт приватного житла, але з доступом до таких послуг, як прибирання, охорона, басейн чи фітнес-центр.

В залежності від планувальних особливостей і розміщення в будівлі можна виділити деякі специфічні види апартаментів:

- пентхауси – розташовуються на верхніх поверхах багатоповерхових будинків, мають панорамні види та значно більшу площу порівняно з іншими апартаментами. До складу таких апартаментів можуть входити приватні тераси та басейни;
- мезонети – апартаменти, які мають два чи три рівні, що забезпечує велику площу для розміщення різних функціональних зон. Такі апартаменти створюють відчуття окремого будинку навіть у багатоповерховому комплексі.

Апартаменти можна класифікувати за кількома критеріями, що визначають їх функціональність, комфорт та стиль.

1. За загальною площею:

- міні-апартаменти – площа менша за 40 м², зазвичай це студіо або однокімнатні апартаменти;
- маленькі апартаменти – площа від 40 до 70 м², включають двокімнатні апартаменти;
- середні апартаменти – площа від 70 до 100 м², зазвичай двокімнатні або трикімнатні;
- великі апартаменти – площа понад 100 м², мають кілька спалень, велику вітальню, кухню та інші приміщення.

2. За рівнем комфорту:

- економ-клас – апартаменти з базовими умовами для комфортного проживання;
- бізнес-клас – апартаменти середнього рівня, з більш розвиненою інфраструктурою, такими як фітнес-центри, паркінги тощо;
- еліт-клас – апартаменти преміум-класу з висококласними оздобленнями, індивідуальним дизайном та ексклюзивними послугами.

3. За призначенням:

- житлові апартаменти – для тимчасового довготривалого проживання;

- готельні апартаменти – розраховані на короткострокову оренду для туристів або ділових людей;

- комерційні апартаменти – можуть бути використані для бізнесу, офісів або в інвестиційних цілях.

Основні принципи, що визначають архітектурно-планувальні рішення апартаментів, включають:

1. Функціональність – важливо, щоб кожен елемент планування відповідав потребам мешканців. Відкриті простори дозволяють ефективно використовувати площу, а окремі зони забезпечують комфорт і приватність.

2. Простір та освітленість – великі вікна, висока стеля та продумане розташування меблів допомагають створити відчуття простору та забезпечити природне освітлення впродовж дня.

3. Інноваційні технології та матеріали – сучасні матеріали для оздоблення та інженерні рішення дозволяють створювати екологічно чисті, енергоефективні та комфортні апартаменти.

4. Модульність та адаптивність – важливим аспектом є можливість адаптувати планування під потреби мешканців, змінивши або додавши нові функціональні зони.

5. Гнучкість у плануванні – сучасні апартаменти пропонують різноманітні типи планувань, які можна адаптувати під потреби мешканців. Це дозволяє створити індивідуальний простір для кожного, незалежно від способу життя чи кількості членів сім'ї.

6. Розташування в міському середовищі - зазвичай апартаменти будуються в центральних або стратегічно важливих районах міста, що дозволяє мешканцям швидко дістатися до місця роботи, розважальних чи освітніх закладів.

У ДБН В.2.2-20:2008 «Будинки і споруди. Готелі» зі змінами [7] (із урахуванням положень ДСТУ 4527 [8]), апартамент-готель та апарт-готель визначаються як типи колективних засобів розміщення. Вони мають певні особливості та вимоги до функціонального призначення, конструкції та експлуатації. Колективний засіб розміщення, згідно з п. 3.6 ДБН В.2.2-20:2008 «Будинки і споруди. Готелі» [7] – це засіб розміщення, який надає місце для ночівлі в приміщеннях для груп осіб, що перевищують одну сім'ю. Такий формат відрізняється від приватного житла і включає різні категорії, включаючи: готелі, мотелі, хостели, апартамент-готелі та апарт-готелі.

У нормативах не визначена різниця між апартамент-готелем і апарт-готелем, обидва формати відносять до готельного типу будівель, проте можна простежити деякі специфічні риси кожного із цих закладів, а саме:

Апартамент-готель – це об’єкт, що поєднує характеристики традиційного готелю та житлових апартаментів, який призначений для середньо- і довгострокового проживання. Кожен номер (апартамент) оснащений власною кухонною зоною, санвузлом, спальнею та вітальнею, який забезпечує комфорт, подібний до домашнього житла, але із додатковими готельними послугами (прибирання, ресепшин, охорона) (рис. 2).

Рис. 2. Апартамент-готель у Подільському районі м. Києва, ТОВ «ГРІНФІЛЬД ІНВЕСТМЕНТС» [10]

Апарт-готель – це більш універсальна категорія, що може пропонувати як короткострокове, так і довгострокове проживання. Номери також обладнані кухонними зонами та іншими необхідними зручностями, але формат більше орієнтований на туристів та гостей із короткостроковим перебуванням. Як правило, це невеликі приміщення, функціонально оптимізовані для економного використання простору (рис. 3).

Рис. 3. Концепція Апарт-готелю «Ama Family Resort»
від архітектурного бюро Archimatika [11]

Відповідно до ДБН В.2.2-20:2008 «Будинки і споруди. Готелі» [7]: апартамент-готелі та апарт-готелі входять до категорії громадських будівель (нежитловий фонд) і їх проєктування регулюється вимогами до готелів із додатковими умовами для забезпечення комфорту проживання. Кожен номер в апартаментах повинен мати: кухонну зону, санвузол, робочу та відпочинкову зону, а у будівлі мають бути передбачені спільні зони: лобі, конференц-зали, зони для відпочинку, спортивна зона та інші сервісні приміщення. Також у апартамент-готелі та апарт-готелі передбачено паркувальні місця, які розраховуються залежно від кількості номерів, ліфти (для багатоповерхових будівель) та підключення до інженерних комунікацій із достатньою пропускною здатністю. Пожежна безпека у апартамент-готелі та апарт-готелі облаштована згідно ДБН В.1.1-7:2016 «Пожежна безпека об`єктів будівництва. Загальні вимоги» [13]: пожежні сигналізації, системи автоматичного гасіння та евакуаційні шляхи, доступні для мешканців, із розрахунком максимальної заповнюваності будівлі.

Висновки. Згідно з державними будівельними нормами апартамент-готелі та апарт-готелі належать до нежитлового фонду, їх проєктування та експлуатація регулюється вимогами до громадських будівель. Таким чином, обов'язковими є наявність зон загального користування, паркувальних місць, інженерних комунікацій із достатньою пропускною здатністю, а також забезпечення пожежної безпеки відповідно до чинних норм. Але, одночасно апартамент-готелі та апарт-готелі – це сучасні формати тимчасового житла, що є важливою складовою сучасної інфраструктури, яка відповідатиме різноманітним потребам мешканців. Не достатнє визначення особливостей таких будівель у державних будівельних нормах формує передумови для подальших досліджень і уточнення нормативних показників проєктування будівель з апартаментами.

Список джерел

1. Гнесь І.П. Багатоквартирне житло. Тенденції еволюції. Національний університет «Львівська політехніка», Львів, 2013. С. 140–172.

2. Куцевич В.В. Соціально-типологічні аспекти проектування житла соціального призначення. Перспективні напрямки проектування житлових та громадських будівель. Спец. випуск: Організація комфортного середовища життєдіяльності міських поселень. Збірник наук. праць КиївЗНДІЕП. К.: 2008. С. 22–27.

3. Король В.П. Архітектурне проектування житла: Підручник / КНУБА. Київ: Саміт-книга, 2023. 314 с.

4. Житлові будинки. Основні положення: ДБН В.2.2-15:2019. – Київ: Мінрегіон України, 2019. – 47 с.

5. Громадські будинки та споруди. Основні положення: ДБН В.2.2-9:2018. – К.: Мінрегіон України, 2018. – 43 с.

6. Яновицький Є.Л. Орендоване житло. Аналіз сучасної нормативної бази. Сучасні проблеми архітектури та містобудування, вип. №68. К.: 2024. С. 380-400.

7. Будинки і споруди. Готелі. Зі змінами №1: ДБН В.2.2 20:2008. – Київ: Мінрегіон України, 2019. – 38 с.

8. ДСТУ 4527:2006. Послуги туристичні. Засоби розміщення. Терміни та визначення. К.: Укрархбудінформ, 2002. – 17 с. Чинний від 1.10.2006. 10 с.

9. Інклюзивність будівель і споруд. Основні положення: ДБН В.2.2-40:2018. – Київ: Мінрегіон України, 2018. – 64 с.

10. Проєкт Апарт-готель у Подільському районі м. Києва, ТОВ «ГРІНФІЛЬД ІНВЕСТМЕНТС». *[Електронний ресурс]. – Режим доступу до ресурсу:* URL: https://cs.org.ua/project/26-apart-gotel. (дата звернення 23.01.2025)

11. Концепція Апарт-готелю «Ama Family Resort» в Буковелі від архітектурного бюро Archimatika. *[Електронний ресурс]. – Режим доступу до ресурсу:* URL: https://bzh.life/plany/1701180004-smotrite-proekt-apart-otelya-ama-bukovele/. (дата звернення 23.01.2025)

12. Проєкт Апарт-готель «На Тургенєвській, 17а» у Шевченківському районі м. Києва. *[Електронний ресурс]. – Режим доступу до ресурсу:* URL: https://lun.ua/uk/на-тургенєвській-17а-київ/планування. (дата звернення 23.01.2025)13. Пожежна безпека об’єктів будівництва. Загальні вимоги: ДБН В.1.1-7:2016. – Київ: Мінрегіон України, 2016. – 41 с. URL: https://econstruction.gov.ua/laws_detail/3080743763845318619?doc_type=2.

Postgraduate **Dmytro Vasyliev,**
PhD in Architecture, Associate Professor **Olha Homon,**
Kyiv National University of Construction and Architecture

APARTMENTS AS A NEW FORMAT OF TEMPORARY HOUSING SOLUTION

A new housing format – apartments “downsized apartments” – has been considered, which has rapidly gained popularity in the real estate market due to its flexibility, comfort, and alignment with the demands of urban life. Various types of apartment layouts have been presented. *Open-plan layouts* are one of the most popular approaches to apartment design. In such spaces, the living room, kitchen, and other areas can be combined into a single open space. Open layouts create a sense of

spaciousness and allow for easy adaptation of the space to different needs. *Closed-plan layouts* involve separating each area (bedroom, living room, kitchen, bathroom) with walls, ensuring greater privacy. This type of layout is ideal for those who prefer clear distinctions between functional zones. *Combined layouts* merge aspects of both open and closed designs, creating functional spaces where certain areas (e.g., the living room and kitchen) are combined, while others, such as bedrooms, remain separate to ensure comfort and privacy. The article also classifies apartments based on total area, comfort level, and purpose, as well as identifies specific types of apartments. Ukrainian building regulations do not define a clear distinction between an apartment hotel and an apart-hotel, grouping both under hotel-type buildings. However, certain distinguishing features of each can be observed. Based on practical experience in constructing apartment buildings, the article clarifies the concepts of apartment hotels and apart-hotels.

Keywords: apartments; apartment hotel; apart-hotel; flexibility; architectural and planning solutions; functionality; classification; residential space.

REFERENCES

1. Gnes, I.P. (2013). Bagatokvartirne zhitlo. Tendentsiyi evolyutsiyi [Multifamily housing. Trends evolution]. Lviv, pp. 140–172. {in Ukrainian}

2. Kytsevich, V.V. (2008). Sotsialno-tipologIchni aspekti proektuvannya zhitla sotsIalnogo priznachennya [Social and typological aspects of design the social residential houses]. Kyiv, pp. 22–27. {in Ukrainian}

3. Korol′, V.P. (2023). Arkhitekturne proektuvannya zhytla [Architectural design of housing]: Pidruchnyk. – Kyiv: Samit-knyha, 314. in Ukrainian}

4. Zhytlovi budynky. Osnovni polozhennya [Residential buildings. Substantive provisions]: DBN V.2.2-15:2019. – Kyiv: Minrehion Ukrayiny: Derzhavne pidpryyemstvo «Ukrkhbudinform», 2019. – 47 s. {in Ukrainian} URL: https://econstruction.gov.ua/laws_detail/3199650971919583106?doc_type=2. {in Ukrainian}

5. Hromads′ki budynky ta sporudy. Osnovni polozhennya ["Buildings and structures. Public buildings and structures"]: DBN V.2.2-9:2018. – Kyiv: Minrehion Ukrayiny: Derzhavne pidpryyemstvo «Ukrbudinform», 2018. – 43 s. {in Ukrainian}URL: https://econstruction.gov.ua/laws_detail/3199648113669179181?doc_type=2.

6. Yanovyts′kyy Y.L. (2024). Orendovane zhytlo. Analiz suchasnoyi normatyvnoyi bazy. [Rental housing. Analysis of the current regulatory framework]. Suchasni problemy arkhitektury ta mistobuduvannya: nauk. – tekhn. zbirnyk. Kyiv. Vyp. 68. Pp/ 380 - 400. {in Ukrainian}

7. Budynky i sporudy. Hoteli. Zi zminamy №1 [Buildings and buildings Hotels]: DBN V.2.2 20:2008. – Kyiv: Minrehion Ukrayiny: Derzhavne pidpryyemstvo «Ukrbudinform», 2019. – 38 s. {in Ukrainian}

8. DSTU 4527:2006. Posluhy turystychni. Zasoby rozmishchennia. Terminy ta vyznachennia [Tourist services. Means of accommodation. Terms and definitions]. Effective from 1.10.2006. 10 p. {in Ukrainian}

9. Inklyuzyvnist′ budivel′ i sporud. Osnovni polozhennya [Inclusiveness of buildings and structures. Substantive provisions]: DBN V.2.2-40:2018. – Kyiv: Minrehion Ukrayiny: Derzhavne pidpryyemstvo «Ukrbudinform», 2018. – 64 s. {in Ukrainian}

10. Apart-hotel′ u Podil′s′komu rayoni m. Kyiva [Project Apart-hotel near the Podilsky district in the city of Kyiv:], TOV «HRINFIL′D INVESTMENT·S. [Elektronnyy resurs]. – Rezhym dostupu do resursu: URL: https://cs.org.ua/project/26-apart-gotel. {in Ukrainian}

11. Kontseptsiya Apart-hotelyu Ama Family Resort v Bukoveli [Concept of the Aparthotel “Ama Family Resort” in Bukovel] vid arkhitekturnoho byuro Archimatika. [Elektronnyy resurs]. – Rezhym dostupu do resursu: URL: https://bzh.life/plany/1701180004-smotrite-proekt-apart-otelya-ama-bukovele/. {in Ukrainian}

12. Proekt Apart-hotel′ Na Turhenyevs′kiy, 17a u Shevchenkivs′komu rayoni m. Kiyeva [Project Apart-hotel “On Turgenevskiy, 17a” near the Shevchenkivsky district in the city of Kyiv:]. [Elektronnyy resurs]. – Rezhym dostupu do resursu: URL: https://lun.ua/uk/на-тургенєвській-17а-київ/планування. {in Ukrainian}

13. Pozhezhna bezpeka ob″yektiv budivnytstva. Zahal′ni vymohy [Fire safety of construction objects. General requirements]: DBN V.1.1-7:2016. – Kyiv: Minrehion Ukrayiny, 2016. – 41 s. {in Ukrainian}

DOI: 10.32347/2786-7269.2025.11.39-59
УДК 711.502

Гаращак Н.І.,
garash1997@gmail.com, ORCID: 0000-0002-0899-8536,
НУ «Львівська політехніка»

ГЕНЕЗА ТА АРХІТЕКТУРНО-ПРОСТОРОВІ ПЕРСПЕКТИВИ КУРОРТУ ТРУСКАВЕЦЬ (В КОНТЕКСТІ ЗАДАЧ ОНОВЛЕННЯ ГЕНПЛАНУ МІСТА)

В історичному архітектурно-рекреаційному середовищі незаперечне значення бальнеологічних комплексів і курортів. Відпочинок відіграє важливу роль у житті людини - відновлення фізичних, психолого-емоційних, духовних та інтелектуальних сил людини. На прикладі бальнеологічного курорту Трускавець рекреацію розглядають як архітектурно-рекреаційне явище, пов'язане з природним середовищем регіону та з ідентифікацією людини з навколишнім середовищем. Завданням розгляду феномену курорту Трускавець та врахування його в оцінці потенціалу та обґрунтуванні перспектив розвитку є активізація лікувально-рекреаційної, а також туристичної діяльності та підвищення привабливості курорту.

Ключові слова: курорт; бальнеологічний комплекс; бювет; рекреація; історичний архітектурно-рекреаційний феномен; рекреаційні ресурси; Трускавець.

Постановка проблеми. Одним із найдавніших видів рекреації в Україні є санаторно-курортна справа. В історично-рекреаційному середовищі приміської зони Львова важливість бальнеологічних комплексів беззаперечна. Розглядається курортно-рекреаційна функція, яка пов'язана з природним середовищем, історичними архітектурно-культурними цінностями та тяглістю процесів, які тут відбуваються. Призначення бальнеологічних курортів у лікувально-оздоровчих функціях на основі природних водних ресурсів і підлягають особливій охоронні від негативних факторів, які можуть вплинути на їхні природні цілющі/лікувальні властивості. Привабливі рекреаційні властивості лікувально-оздоровчих бальнеологічних курортів представляють собою систему, яка тісно пов'язана з розвитком суспільства. Організація об'ємно-планувальних і архітектурно-просторових характеристик курортних поселень в сучасних умовах залишається недостатньо вивченою. Першорядним внутрішнім чинником архітектурно-просторового розвитку Трускавця вважається відкриття джерел лікувальних мінеральних вод. Лікувальні

властивості сірководневої води були досліджені і описані Войцехом Очком (Wojciech Oczko) (1537-1599) - особистим лікарем короля Речі Посполитої, великого князя Литовського та Руського, а також князя Семигородського Стефана Баторія. У трактаті Войцеха Очка «Cieplice» (1578) вперше здійснено дослідження і описування лікувальних вод Трускавця, а також курорту Великий Любінь та ін., де грунтовно характеризуються їх цілющі властивості. У визначенні особливостей курорту Трускавець, у виявленні його ролі і значення в сучасному вимірі з акцентом на перспективи розвитку курорту, а також його збереження і охорони полягає ***мета*** дослідження. Потребою окреслення шляхів розвитку приміських територій обласного центру з урахуванням історико-архітектурного й курортно-рекреаційного потенціалу оточення обумовлена **актуальність** теми дослідження.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Територіальна сфера впливу міста, яку прийнято називати приміською зоною, відображена в Законі України «Про регулювання містобудівної діяльності» й трактується як «територія, що забезпечує просторовий та соціально-економічний розвиток міста». Вивченням проблем взаємовідносин міста варто виділити напрацювання зарубіжних науковців, поміж котрих: П. Бурд'є, Й. Гела, Дж. Джейкобса, А. Лефевра, Л. Мамфорда, Р. Флориди. Містобудівні процеси й особливості взаємодії малого міста з територіальними системами вищого рівня вивчає, зокрема, Е. Блейклі. В Україні проблеми міст розглядають, зокрема, вчені: М. Дьомін, М. Габрель, Є. Клюшніченко, Т. Панченко, А. Плешкановська, В. Тимохін. Явища субурбанізації у Львівській області — зміни в сільській місцевості, на рекреаційних територіях та в малих містах приміської зони в нових умовах, зміни відносин Львова з прилеглими територіями досліджують М. Габрель, Т. Мазур і Є. Король. Питанням архітектурно-просторового розвитку та стильовим ознакам курортної забудови Трускавця XIX ст. - першої половини XX ст. в порівнянні з європейськими архітектурно-містобудівними процесами присвячені дослідження Х. Харчук.

Дослідженню проблем архітектурно-рекреаційної сфери також приурочені праці І. Богатюка, В. Домбровської, О. Білотіл, О. Мер'є, А. Помаза-Пономаренко тощо, реставрацію архітектурної й мистецької спадщини вивчає М. Бевз, Б. Черкес.

У сучасних умовах — умовах воєнних випробувань та героїчної боротьби проти російських окупантів справа рекреаційних осередків для відновлення здоров'я, що є важливою складовою життєдіяльності людини, - надважлива. Для спільного розвитку та формування агломераційних утворень чільне місце посідає вміння ефективно використовувати рекреаційний потенціал приміських територій.

Відомо, що з надходженням інвестицій, додатковими джерелами фінансування відбувається покращення подібної ситуації, оскільки *«...рекреаційна сфера є об'єктом багаторівневої правової регуляції»* [6, с. 6; 14], де *«особливе місце серед природних рекреаційних ресурсів займає природно-заповідний фонд, тобто природні комплекси й об'єкти, які мають особливу природно-охоронну, наукову, естетичну, рекреаційну тощо цінність»* [7, с. 198]. Підкреслюючи зростання ролі розвитку історичного курортно-культурного й рекреаційного руху в Західній Україні на зламі XIX–XX ст., - професор А. Рудницький наголошував, - *«...відбувалося поступове формування численних кліматичних курортів у гірських районах Карпат (Ворохта, Беркут, Яремча, Тершів-Спас та ін.), а також у низькогірних масивах Розточчя й Опілля (Янів) або Дністра (Заліщики). Виникають спеціалізовані водо- й грязелікувальні комплекси (Люблінь Великий, Шкло, Трускавець, Моршин, Черче та ін.)»* [26, с.19].

Зростаюча кількість невирішених проблем у сфері відносин міст і прилеглих територій пов'язаних з умовами господарювання потребують нового погляду щодо теоретико-методологічного обґрунтування політики розвитку й проєктування приміських зон великих міст, окреслення шляхів їх ефективного розвитку.

Мета та завдання дослідження

Виявити особливості архітектурно-просторової організації бальнеологічного курорту Трускавець, встановити його місце і роль в історико-архітектурному й рекреаційному середовищі приміської зони Львова, окреслити шляхи розвитку курорту Трускавець з урахуванням містобудівних умов, історико-архітектурного й курортно-рекреаційного потенціалу. Для розкриття сформульованої *мети* вирішувались *завдання*: визначити передумови й чинники формування рекреаційної системи приміської зони Львова; встановити природно-ландшафтні й містобудівні особливості курорту Трускавець; дослідити архітектурно-просторову організацію й ґенезу формування курортного простору Трускавця; дати характеристику архітектури курортної забудови курорту Трускавець; визначити проблеми й принципи охорони та використання історично-рекреаційної курортної зони; окреслити шляхи організації й розвитку архітектурно-просторового образу курорту з урахуванням розташування нових умов, історико-архітектурного й рекреаційного потенціалу бальнеологічного комплексу.

Виклад матеріалу. Визначимо *приміську зону* як відкриту систему, оскільки тут переплітаються різноманітні соціальні й економічні та архітектурно-урбаністичні процеси. Уточнимо окремі поняття. Приміська зона міста Львова — це територія, в межах якої склалися й надалі мають

розвиватися активні системоутворювальні зв'язки, що охоплюють всі види діяльності, використання земель, а також водних, рекреаційних та інших ресурсів.

Курортна діяльність пов'язана з лікуванням і реабілітацією населення. *Рекреація* стосується діяльності людей у вільний час, спрямованої на відновлення сил і оздоровлення шляхом участі в культурних заняттях і заходах, різних формах туризму й відпочинку на спеціалізованих територіях. У традиціях української науки курортна й рекреаційна сфери розглядаються спільно, а до рекреації включають також лікування й оздоровлення, тобто всі об'єкти, які відносяться до цієї функції поза межами постійного місця проживання (санаторії, бальнеологічні та інші курорти, центри відпочинку й оздоровлення тощо).

Рекреаційні території та об'єкти — привабливі для відвідування, лікування й відпочинку внаслідок своїх природних, історичних та архітектурних особливостей. Вони зазвичай є природними комплексами, що зберегли свої унікальні характеристики та мають лікувально-оздоровчі ознаки; матеріальні об'єкти, зокрема пам'ятки історії та архітектури, заповідники, водойми, шляхи мандрівок, пляжі тощо. Привабливі рекреаційні властивості впливають на розвиток територій та надають нові шанси.

Архітектурно-ландшафтна організація курортно-рекреаційних територій — діяльність, скерована на «пристосування» території до виконання рекреаційних функцій, включає такі аспекти: охорону архітектурно-ландшафтних властивостей; забезпечення умов комунікаційної доступності територій і об'єктів; створення комфортних умов проживання, відпочинку та оздоровлення в місцях чи на шляхах мандрівок; формування рекреаційної інфраструктури.

Стан природного середовища корисно впливає на рекреаційні ресурси й розвиток рекреації, стає основою для різних форм туристичної активності та способу архітектурно-ландшафтного освоєння територій.

Місце курорту Трускавець у рекреаційній системі приміської зони Львова. Місто Львів вважається найбільшим містом на теренах західних областей України і одним із найщільніше заселених міст України, центром освоєної й загосподарованої моноцентричної агломерації. Львів розташований на Великому європейському вододілі, його поверхні горбисті, центр міститься в улоговині, над якою піднімаються височини (гори Високий Замок, Лева, Кортумова). Розвинувшись як надзвичайно компактна територіальна система, місто швидко поглинає райони приміської забудови, які щільним кільцем примикають до нього.

Приміська територія в радіусі 30 км, що трактується як локальна система розселення Великого Львова, становить 3 тис. кв. км (13% території області), на ній проживає 1,2 млн. мешканців (майже 45% населення Львівщини) з урахуванням населення обласного центру. Зауважимо, що донедавна приміська територія належала в основному до Пустомитівського, а також частково до Жовківського, Яворівського й Городоцького адміністративних районів. Просторова структура приміської зони міста надзвичайно складна й характеризується різноманітністю природно-ландшафтних умов, високою щільністю населення, високою концентрацією інженерної й транспортної інфраструктур, динамічністю економічних і соціальних процесів, що тут відбуваються.

Особливості курортної забудови *Трускавця,* зумовлені регіональними архітектурними та будівельними традиціями, що спричинили формування самобутнього архітектурного середовища, значним чином вплинули на становлення і подальший розвиток архітектури Трускавця. Як відомо, багатством і різноманітністю покладів корисних копалин та мінеральних вод, відкритих ще задовго до заснування санаторно-курортного закладу обумовлені першопочатки Трускавця як курорту. Одна з перших документальних згадок про Трускавець припадає на 1462 рік.

На процес формування курорту Трускавець вплинули природо-географічні особливості, до яких відносяться: просторово-структурна будова рельєфу (високі пагорби та узгір'я, які оточують місто), помірно-континентальний клімат Прикарпаття, сприятливий для відпочинку та оздоровлення, наявність водних артерій (потік Воротище, Кам'яний потік, Вишниця та ін.), озеленення, корисні копалини (поклади мінеральних вод та озокериту). У 1827 році Трускавець набув офіційного статусу курорту. Оприлюднення в публікаціях результатів аналізів, виконаних львівським фармацевтом і бальнеохіміком вірменського походження Теодором Торосевичем (06.09.1789, Станіславів, Габсбурзька монархія - 02.03.1876, Львів, Австро-Угорщина) засвідчували віднайдення, впорядкування солоно-гіркого джерела, яке іменували «Софія». Дослідник володів Аптекою на вулиці Личаківській, 3 у місті Львові, де проводив хімічні аналізи лікувальних вод Щавниці, Свошовиць, Подгужа, Івонича, Трускавця, Немирова, Любеня. Проаналізувавши склад води «Нафтусі», застосування якої, як відомо, раніше обмежувалося лише зовнішніми процедурами, Т. Торосевич не лише присвоїв їй пам'ятну назву через високий вміст нафти, а й визнав ефективною у лікуванні шлунку, печінки, нирок, жовчного міхура і для загальної профілактики хвороб шлунково-кишкового тракту. Цінно, що до нашого часу

збереглися описи курорту Трускавець 1843 р., 1850 р., 1853 р., а також кадастрові карти 1853 р. і 1856 р. за якими можна охарактеризувати періоди розвитку оздоровниці. Початок забудови курорту Трускавець припадає на першу половину XIX ст. В 1827р. тут появилися перші лазні і перші помешкання для відпочивальників, які були переобладнані, відповідно, з сільської корчми і хат тутешнього населення. У інших містах, зокрема, у Львові (від 1810 р., на сучасному проспекті Шевченка в будинку №10 функціонувала лазня та купальня Св. Анни), а також поселеннях Галичини у XIX – першій половині XX ст., як відомо, також будували лазні для заможних людей. У Трускавці Спілка польських шляхтичів під керівництвом графа Адама Сапєги навпроти старої водолікарні збудувала нову - двоповерхову, для першого і другого класу у так званому „швейцарському стилі" на 60 кабін для прийняття ванн. Згідно з рекомендаціями бальнеологічної комісії Краківського лікарського товариства використовувалися найновіші досягнення бальнеотехніки. На другому поверсі „лазничок" містилося 25 житлових кімнат, обладнаних з комфортом, а також три великі зали з відкритими балконами-галереями, що виходили в парк. На першому поверсі розташовувалися приміщення для ванн, які були мармурові і металеві, а старі дерев'яні ванни залишилися у старих „лазничках", призначених для мінеральних ванн третього класу. Для прийняття відпочивальниками ропних ванн за новими „лазничками" поставили невеликий будинок. У фактологічних та аналітичних матеріалах про архітектуру лазень та купалень Східної Галичини, що збереглися донині, засвідчується, що на бальнеологічних курортах з ваннами із мінеральними водами досліджувані об'єкти були двох типів: перший зводили з метою гігієни, другий – з лікувальною метою. Вони будувалися, здебільшого, як згідно індивідуальних, так і типових проєктів, - як дерев'яними, так і мурованими. Аналогами досліджуваних об'єктів були лазні на теренах Польщі, зокрема, у: Жегестові, Криниці, Наленчові, Олесеві, Щавниці – ім. графа Адама Стадницького, Ястарні та ін.

В період XIX – першої половини XX ст. у формуванні архітектури курортної забудови Трускавця прослідковуються риси, що тісно переплітаються з історичними процесами та еволюцією архітектурних стилів у країнах Центральної Європи. В офіційному дозволі з Відня (1836р.) йшлося про будівництво стаціонарного невеликого будинку для приймання ванн, що мав би вісім кабін і чотири будинки для помешкання відпочивальників. Регіональні архітектурні та будівельні традиції зумовили особливості курортної забудови Трускавця у цьому контексті і значним чином вплинули на становлення і подальший розвиток архітектури міста, що в свою чергу сформувалися під

впливом місцевих природних умов і будівельних традицій Українського Прикарпаття. Як відомо, від XIX ст. у Трускавці сформувалося 16 стильових напрямків історизму, модерну і конструктивізму, а також виявлено поодинокі приклади будівель та споруд в стилі "класицизму" [32], що не збереглися донині [18].

Цікаво довідатися про територію сучасного Трускавця, яка, вірогідно, була заселена ще в часи Київської Русі. Свідченням можуть слугувати археологічні знахідки, які збереглися до наших днів і відносяться до цих періодів, та топографічні назви місцевостей - Бабина гора, Городище, Воротище, Дубина, Кам'яний горб. Нинішній курорт Трускавець розкинувся саме на територіях цих місцевостей. Щодо артефактів: до найдавніших археологічних пам'яток належить поганське святилище, обведене валом і ровом, що знаходилося на горі "Баба" ("Бабина гора") в урочищі "Липки", де донині збереглися рештки поганського капища, на якому в давнину стояло „язическое божище".

В давнину, як і більшість сіл Самбірської економії, курорт Трускавець належав до Галицько-Волинського князівства. Саме від цього часу походять найдавніші письмові згадки про Трускавець. Донині *"з уст в уста"* передається легенда про *"піджупника Гескера зі Стебника, який, шукаючи срібло і цинк, натрапив на сірчане джерело. Мешканці, звернувши увагу на цілющі властивості цієї води, почали використовувати її в лікувальних цілях"*. Ще в період пізнього середньовіччя селяни через безземелля активно займалися солеварним промислом, бо кращі земельні ділянки поступово переходили до рук польських феодалів, які захоплювали їх під свої фільварки. Наявність солеварень і солеварного промислу - важливий внутрішній економічний фактор, що сприяв розвитку поселення. Тож, селяни займалися сільським господарством і виварювали сіль. Трускавецька солеварня містилася у лісі, по дорозі на Дрогобич (тепер кінець вул. Дрогобицької), який ще й донині зберігає первинну назву "Баньки" (від слова "баня" — солеварня) За документами 1570 р. відомо, що до трускавецьких селян чумаки за сіллю приїжджали з Придністров'я. Місцеві селяни возили її на ярмарки до Волині, Поділля, Київщини і до Білорусії [32]. Цікаво, що в самому центрі Трускавця знаходився соляний колодязь, який виявився останнім і був закритий на початку XX ст.. Цілющими мінеральними водами навколо Трускавця досі б'ють численні джерела, так звані "прикарпатські солянки".

До нашого часу, що дуже важливо, збереглися описи Трускавця і кадастрові карти 1853 р. і 1856 р. за якими, хоча й частково, та все ж можна охарактеризувати ранній період формування курортної забудови міста. Без сумніву, це було зовсім інакше поселення не лише в архітектурному, але й у

духовному і звичаєвому плані. В Трускавець часто приїжджали знаменитості, де поміж інших архікнязь Кароль Людвік у товаристві австрійського намісника трону (1853 р.). Цінність представляє спогад знаного історика, одного із засновників Одеського Товариства історії і старожитностей Аполлона Скальковського (13.01.1808 р., Житомир — 28.12.1898 р., Одеса) з якого довідуємося, що навпроти "Нептуна" вже збудовані нові "лазнички", які мали 30 кімнат для ванн на першому поверсі і 4 житлові кімнати – на другому [36]. Біля "лазничок" знаходилося 9 житлових будинків. Кожен з них над дверима мав свій девіз. Згодом, у 1860 р., Трускавець налічував, окрім маленької водолікарні, ще 12 будинків зі 120 кімнатами та 14 приватних вілл. Здебільшого вілли були одно- двоповерхові, невеликі за розмірами, збудовані в перший (ранній) період формування курортної забудови Трускавця (1827–1895). За стильовими ознаками, згідно зі згадками у старих путівниках по Галичині, будівлі вілл належали до так званого "швейцарського" і "норвезького" стилів. Хоча декоративне оздоблення трускавецьких вілл мало вже інший характер, наближений до бойківських та гуцульських дерев'яних хат. Їхня архітектура засвідчувала світогляд, настрої та побут австрійської панівної верхівки. Поміж найбільш відомих вілл цього періоду зустрічаємо: "Готель" – побудованої у "швейцарському" стилі в 1843 р. для графа Жолтовського, яка пізніше будучи перебудованою, здобула популярність заїжджого двору під назвою "Постій" (тепер спальний корпус санаторію "Берізка", що на вул. С. Бандери, 5), і це, вірогідно, найдавніша з вілл Трускавця, що збереглася донині. Поряд знаходиться ще одна дерев'яна вілла графа Жолтовського, побудована близько, що на вул. С. Бандери, 7. Тож, до характерних вілл цього періоду належали також: "Зося" (1843 р.), "Ковалівка", "Ядвинівка", "Під пастухами", "Лісничівка", "Гігея". Варто згадати і про єврейські вілли, зокрема, "Рабинівка", яка у свій час належала Кауфману.

Від 1859 р. курорт, який досі знаходився у розпорядженні Управління камеральними маєтками, переходить у власність нової "Спілки єврейських промисловців Гартенберґа та Шраєра", метою якої постало отримання найвищих прибутків при мінімальних капіталовкладеннях у розвиток міста. Лише згодом розпочався період відновлення Трускавця (від 1882 р.), коли здравниця переходить під патронат Спілки польських шляхтичів [Сапєга–Санґушко–Жолтовський–Замойський–Мархвіцький–Хляпковський–Вішнєвський], яка прагнула врятувати здравницю від занепаду, тож Трускавець щораз більше розбудовувався, реконструювався, модернізувався. Від 1895 р. розпочинається, так званий, другий період формування курортної забудови міста, який досягнув свого апогею в 1898 р., що тривав до Першої світової

війни. Було реконструйовано “Гостинний дворик”, “лазнички” першого класу і вілла “Сутерини”, а також збудовано віллу Ю. Крепеля “Під білим орлом” (1895 р.), яка згодом стала віллою Ю. Вичинського. Навпроти “лазничок” третього класу було збудовано великий двоповерховий будинок на 45 кімнат, званий “Базаром”, а для менш заможних людей, на так званому “Новому світі” – поряд міського парку – побудовано віллу Людвіка Ясінського. На місці старої оранжереї побудовано віллу “Маріївка. Біля вілли “Гігея” постала новозбудована двоповерхова вілла “Казимирівка” (власник: доктор Світальський). Справжньою оздобою курорту Трускавець у 1898 р. стали нові комфортабельні вілли: “Ґражина”, “Світезянка”, “Софія”, “Під Божою Матір’ю”, споруджені відповідно до найновіших європейським вимог.

Період 1900–1910 рр. позначений появою нових споруд трускавецьких вілл, де поміж інших: “Затишшя”, “Яніна”, “Клюберґ”, “Анастасія”, “Марія-Гелєна”, “Людвік”, “Русалка” та ін.. Ці вілли були значно більшими за розмірами (нараховували до 16-25 кімнат) і відрізнялися від попередніх наявністю, здебільшого, великих мансард і високих цокольних приміщень. На початку ХХ ст. та до Першої світової війни у вілловій забудові Трускавця домінував “закопанський” стиль, який характерний для як окремих житлових будинків, так і для об’єктів малої архітектури – кіосків, надкаптажних будинків, альтанок. Вирізнялися дерев’яні вілли з притаманною для них багатою декорованою різьбою, наближеною за характером до підкарпатських і гуцульських дерев’яних хат. Наприкінці другого періоду формування курортної забудови міста дерев’яна різьба, виконавцями якої зазвичай були українські майстри, збагачує архітектурні споруди курорту композиційними елементи народної архітектури.

Початок ХХ століття позначений численними досягненнями: створений регуляційний план Трускавця (1906, автор: В. Піотровський), на основі якого збудовано нову окружну дорогу (тепер вул. Т. Шевченка), з двох боків якої постали одно- і двоповерхові вілли в “закопанському” стилі, де поміж інших: “Анастасія”, “Аркадія”, “Сонячна”, “Яґуся”, “Велика Ольга”, “Мірка” та ін., також споруджувалися вілли та інші будинки, закладалися нові парки. За особистий внесок у «розвиток курорту” відзначені: Ю. Вичинський [1907, *Золота медаль];* Т. Прашіль за наукові дослідження про лікувальні властивості та дію мінеральної води з джерела “Нафтуся” [Дипломом] і т. ін. Від 1911 року Трускавець отримав залізничне сполучення зі Львовом, Варшавою, Краковом і Познанню, а роком пізніше Раймунд Ярош звів вокзал. Окрасою Трускавця періоду 1912-1913 рр. постали нові вілли - “Юзефівка”, “Анна”, “Анюта”, “Великий Косинір”, “Магдалена”, “Олімпія”, “Погоня”, “Фортуна” та ін.

Впродовж 20–30-х рр. XX ст. (рис.1.) активно зростає популярність курорту Трускавець. Динамічне збільшення кількості відпочивальників спонукає спілку власників "Трускавецькі джерела" будувати нові вілли і пансіонати переважно у стилі "модернізму" до яких належать: "Аїда", "Брістоль", пансіонат польських офіцерів, "Наталка", "Рів'єра" та ін. Також споруджувалися будинки в стилі "модернізму" з ремінісценціями "двіркового" стилю, де зустрічаємо вілли "Здоров'я", "Щасти, Боже" та ін. З поширенням стилю "модернізм" характерною ознакою третього періоду формування курортної забудови Трускавця постає вплив мурованого будівництва. Широко використовуються залізобетон, метал, скло, кераміка тощо. Зростає зацікавленість питаннями конструкції. Фасади будинків набувають рис спокою і чистоти. У пошуках нових форм архітектори: З. Шпербер, Ю. Сташевич, Л. Шелевич, Ф. Петеленц, Р. Гермелін, Е. Норверт, Ф. Рознарович, Л. Рутковський намагаються максимально наблизити технічні і художні властивості конструкції і матеріалів. У курортній забудові Трускавця зустрічаються напрямки модерну і модернізму. Асиметричністю вирізняється фасадна композиція. Можна спостерігати як претензійно вигинаються динамічні лінії фронтонів, карнизів, викінчення віконних і дверних прорізів і т. ін.

В Трускавці впродовж 1921-1939 років зводять бальнеологічну лікарню, бювети, 8 санаторіїв, приватні готелі та пансіонати. В 1936 році почалось виробництво солі з води «Барбара». Від 1947 році Трускавець отримав офіційний статус Всесоюзної оздоровниці. В 1959 році у Трускавці було споруджено нову водолікарню, а на початку 1960-их років відкрили ще один бювет. Від 1965 до 1990 року Трускавець розвивається за єдиним генеральним планом. В цей період з'являється 10 нових санаторіїв, реконструюються і добудовуються старі [9]. Наприкінці XIX ст. Трускавець піднявся на рівень курорту європейського зразка. Тут активно будувались готелі, вілли, пансіонати, відкрилась водолікарня, облаштувалось купальне озеро, корти, спортивні майданчики.

В часі сьогодення на території Трускавця виділяються дві частини – адміністративна територія міста (900 га) і курортна територія «Курортополіс Трускавець» (3500 га). Забудова курорту Трускавець зосереджена навколо урочища Курортна балка з мінеральними джерелами та має чітку кільцеву вулично-дорожну мережу. В межах кільця розміщені всі сучасні санаторії, курортні та житлові об'єкти. Курортна зона Трускавця розташована у південно-західній частині міста. Регуляційним планом 1906 року вже було передбачено кадастрове розмежування громадських, курортних і житлових зон курорту. План включав прокладання нових доріг та комунікацій. План також

передбачав реконструкцію центральної вулиці курорту, відомої як Головний тракт (сучасні вул. Дрогобицька, Січових Стрільців, Бандери), а також будівництво об'їзної дороги (сучасна вул. Шевченка). На плані Трускавця 1933 р. зображено існуючі та проєктовані будівлі, що дозволяє допускати, що більше 70% забудови міста у міжвоєнний період були житловими. Громадська функція зосереджувалася переважно в центральній частині міста на теперішніх вулицях Дрогобича, Бандери, Шевченках [32].

Рис.1. Фото історичних споруд курорту Трускавець 20-30 рр. XX ст.

Сучасна сельбищна зона курорту розміщується на півночі та південному сході. Включає забудову різної поверховості та розвинену мережу громадських будівель та споруд. Центр курорту Трускавець зосереджений біля вулиці Шевченка та майдану Кобзаря (рис. 2).

На північ від центру розміщений залізничний вокзал та автостанція. Території для складів і комунальних підприємств відокремлені у північно-західній частині Трускавця. Рекреаційна зона включає Курортний парк, сквери та природні комплекси (луки і лісові масиви). Охорона курорту чітко регламентується встановленими зонами санітарної охорони. Перша зона суворого захисту охоплює всі джерела і свердловини курорту, де будь-яка господарська діяльність заборонена.

Курортна зона Трускавця зосереджена у південно-західній частині міста і включає 78 санаторно-курортних закладів, 18 санаторіїв, 5 пансіонатів, 35

готелів і 20 вілл (рис. 3). Основу планувальної структури курортної зони складає загальнокурортний центр, що розташований вздовж вулиць Шевченка, Героїв УПА та Степана Бандери, які з'єднані пішохідним бульваром Торосевича і загальнокурортним парком. Більшість санаторіїв розміщені навколо цього парку.

а).

б).

в).

Рис. 2. Фото бальнеологічного курорту Трускавець: а). Герб Трускавця; б). Художній музей Михайла Біласа (колишня вілла «Гопляна»); в). Пам'ятник Т. Шевченка (1991, скульптор: Р. Романович, архітектор: І. Гаращак).

Рис. 3. Панорама курорту Трускавець.

Архітектурний образ поєднує типові радянські санаторії („Шахтар", „Військовий Центральний", „Батьківщина", „Джерело", „Кристал", „Алмаз", „Янтар", „Рубін") та сучасні архітектурні вирішення („Ріксос Прикарпаття", „Mirotel Resort & SPA", „Південний"). Великою перевагою санаторіїв Трускавця є наявність на їх територіях власних бюветів. За генеральним планом[1] передбачається розширення курортної зони, включаючи лісові масиви та інші території для санаторного будівництва [рис. 4]. З огляду на особливості забудови курорту, пропонується «секторально-поясна» модель розвитку міста з поділом на п'ять зон комплексів (комплекс „Гідропарк" на 1500 місць; комплекс „Воротище" (курортні готелі) на 500 місць; комплекс „Помірки" 1370 місць для організації об'єктів відпочинку; комплекс „Липки" на 500 місць на

[1] [Коригування генплану міста-курорту Трускавець (2009). ДЕРЖАВНЕ ПІДПРИЄМСТВО ДЕРЖАВНИЙ ІНСТИТУТ ПРОЕКТУВАННЯ МІСТ «МІСТОПРОЕКТ». Львів].

березі Купального озера), що формуються на основі зовнішніх зв'язків міста і лісопаркової зони навколо Трускавця.

Курортний парк Трускавця носить назву „Адамівка" і має статус парку-пам'ятки садово-паркового мистецтва загальнодержавного значення в Україні. Парк площею парку 54,46 га знаходиться у центральній частині міста в долині річки Воротище. Парк було закладено у 1895 році австро-угорським садівником Юзефом Яблонським в англійському стилі [28, С. 6 - 18]. Від початку створення парк був розділений на чотири тераси. Кожна з чотирьох терас „Адамівки" облаштована прогулянковими алеями біля джерел, що забезпечує комфортні умови для прогулянок на свіжому повітрі. Верхня частина лісопарку біля джерела „Марія" була оформлена як сквер в англійському стилі, який отримав назву „Адамівка". Згодом ця назва поширилася на весь парк. У сквері також було встановлено пам'ятник Адаму Міцкевичу скульптором Т. Барончем, а у 1900 році неподалік джерела „Броніслава" з'явилася скульптура Матері Божої, що стала символом благословення цієї місцевості. Музичну альтанку для оркестру в нижній частині парку поставили у XX ст.. У Трускавці курортний парк „Адамівка" та міські бювети формують естетичний образ бальнеологічного курорту.

Коли у 1950 - 1960-их роках активно зводилися бальнеологічні санаторії, пансіонати та водолікарні, досліджувані курорти набували всесоюзного значення; приміські курортні вілли колишніх власників поселень були передані державним установам; зростала кількість відвідувачів курортів, що призвело до збільшення навантаження на природне середовище, то у 1990-х роках через економічну кризу курортна інфраструктура почала занепадати. Багато санаторіїв та пансіонатів були закриті або не оновлювались, через що їх стан став незадовільним. Таким чином, елементи курортної інфраструктури досліджуваного бальнеологічного поселення Трускавець поєднує природні ресурси з архітектурно-ландшафтними рішеннями та є важливими компонентами для функціонування курортів.

У відповідності до Кадастру мінеральних вод України курорт має шість затверджених ділянок родовищ з мінеральними водами [14] . Важливим етапом розвитку курорту було створення Проекту районної планіровки курортно-рекреаційного району Трускавець-Східниця-Борислав (1978). ДЕРЖБУД УРСР «ДІПРОМІСТ». Львів.) (Додаток Д). Проект (рис. 5) передбачав створення чіткого функціонального зонування для розвитку бальнеологічних курортів Трускавець, Східниця, Тустановичі, а також створення єдиної рекреаційної зони для Дрогобицької агломерації на основі облаштування існуючої зони лісів. Велику увагу також приділено курортним зонам та їх відмежуванню від

шкідливого впливу існуючих підприємств. Для цього було створено режимні зони охорони.

Рис. 4. Аналіз бальнеологічного курортного поселення Трускавець на містобудівному рівні (автор фото: Назарій Гаращак).

Рис. 5. Проєкт районного планування курортно-рекреаційного району Трускавець-Східниця-Борислав 1978 р. (автор фото: Назарій Гаращак).

Висновки. Бальнеологічні комплекси Східної Галичини представляють чималу цінність народу, держави та служать потенціалом розвитку територій. Гармонійне поєднання сприятливих кліматичних умов із великими запасами унікальних природних цілющих вод в минулому та його ефективного розвитку.

Вплив природних ландшафтів є визначальним для формування характеру забудови, що включає житлові, рекреаційні та громадські зони. У Трускавці активно розвивається сучасна курортна інфраструктура на основі використання мінеральних вод. Ключовими об'єктами вважаються бювети, курортний парк „Адамівка", водолікарні та санаторії. Вони відіграють не лише функціональну роль, але і формують естетичний вигляд курорту та виступають його символами. У Трускавці спостерігається багато об'єктів радянського періоду, проте їх стан можна вважати задовільним. Для успішного функціонування бальнеологічного курорту Трускавець необхідно: вдосконалювати організаційно-економічні механізми підвищення ефективності функціонування як сфери рекреаційної, так і архітектурно-просторової - комплексу, селища та регіону в цілому; поблизу рекреаційних зон нейтралізувати шкідливість виробництв; для збереження мікроклімату обмежити вирубування лісів; дотримуватися санітарної охорони мінеральних джерел і правил використання родовищ мінеральних вод, річок і водойм; для збереження й удосконалення природно-рекреаційного й архітектурного середовища розвивати інженерну й рекреаційну інфраструктури курорту, зберігаючи сформоване архітектурне середовища та колорит територій; покращувати туристично-рекреаційний потенціал селища та його оточення.

Використана література

1. Архітектура Львова. Часи і стилі XIII–XXI ст. / [М. Бевз [та ін.] ; упор. і наук. ред. Ю.О. Бірюльов; ред. кол. Б. Черкес]; Ін-т арх. НУ «Львівська політехніка», Інститут Львова. Львів: Центр Європи, 2008. 720 с.

2. Блейклі Е. Дж. Планування місцевого розвитку. Теорія і практика. Вид. 2-ге. Львів: Літопис, 2002. 416 с.

3. Богатюк І.Г. Рекреаційні зони в Україні: стан та перспективи розвитку // Вісник Академії праці і соціальних відносин Федерації професійних спілок України. 2011, № 4, с. 48-51.

4. Бублик Б.Г. Великий Любінь // Енциклопедія Сучасної України: електронна версія [онлайн] / гол. редкол.: І. М. Дзюба, А. І. Жуковський, М. Г. Железняк та ін.; НАН України, НТШ. К.: Ін-т енциклопед. дослід. НАН України, 2005. URL: https://esu.com.ua/search_articles.php?id=32747 (дата звернення 13.10.2021).

5. Бурдье П. Физическое и социальное пространство: пер. с фр. [в:] *Социология социального пространства*. 2007. М.: Ин-т эксперимент. социол.; Спб.:

Алтейя, с. 49–64. URL: https://socioline.ru/files/5/39/sociologiya_socialnogo_prostranstva.pdf [дата звернення 14.10.21].

6. Габрель М.М. Просторова організація містобудівних систем. К.: Вид. дім А.С.С, 2004. 400 с.

7. Габрель М.М. Підвищення ефективності містобудівних рішень в організації приміських територій: моногр.; Львівський національний аграрний університет. Львів : Сполом, 2014. 272 с.

8. Ґел Й. Міста для людей: пер. О. Любарська. К.: Основи, 2018, 304 с.

9. Гринюк О.Ю. Формування територіально-рекреаційних систем лікувального типу (на прикладі курорту Трускавець): автореф. дис. ... канд. геогр. наук : 11.00.11. Київ - 2007: Київський нац. ун-т ім. Т. Шевченка. 14 с.

10. Данилюк Ю.З., Дмитрук В.І. Трускавець, місто Львівської обл. [Електронний ресурс]. URL: http://www.history.org.ua/?termin=Truskavets_mst (останній перегляд: 13.01.2025).

11. Демин Н.М. Городские агломерации в контексте исследования феномена форм и систем расселения // Містобудування та територіальне планування: наук.-техн. зб. – К.: КНУБА, 2012. – № 45 (1). – С. 3-15.

12. Джейкобс Дж. Смерть и жизнь больших американских городов: пер. с анг. Л. Мотылева. М.: Новое изд-во, 2011. 460 с. URL: http://tehne.com/library/dzhekobs-dzh-smert-i-zhizn-bolshih-amerikanskih-gorodov-moskva-2011 (дата звернення 12.10.21].

13. Домбровська С.Н., Білотіл О.М., Помаза-Пономаренко А.Л. Державне регулювання туристичної галузі України: моногр. Х.: НУЦЗУ, 2016. 196 с.

14. Івасівка С.В. Природа бальнеочинників води Нафтуся і суть її лікувальнопрофілактичної дії. Трускавець - 1999: Трускавецькурорт. 124 с.

15. Клюшниченко Є.Є. Соціальна спрямованість житлової забудови // *Сучасні проблеми архітектури та містобудування*. 2017, Вип. 47, с. 352-358.

16. Коваль Г. Комерційний геній Раймонда Яроша, або акціонерна спілка "Трускавецькі джерела" • Фотографії старого Львова. https://search.app/DqGvrPwaemg4J1iH7.

17. Коваль Г. Куточок моря у Трускавці, від якого залишилися лише спомини https://search.app/QmYiTFLKYxZptNLK8

18. Коваль Г. Як зароджувався курорт Трускавець : кілька маловідомих фактів https://photo-lviv.in.ua/yak-zarodzhuvavsya-kurort-v-truskavtsi/?fbclid=IwZXh0bgNhZW0CMTEAAR0MmdTQkiqYWY0Sr-SvbEiXIAG_Xv0QzFjIwruzLLrNTYssLtdXLYnM8jI_aem_NIxf5ZqDCjjdthdRSpUphg

19. Лефевр А. Производство пространства:; пер. с фр. И. Стаф. М.: Strelka Press, 2015. 432 с. URL: file:///C:/Users/72.35511/ЛефеврА.-Производство_пространства-2015.pdf (дата звернення 09.10.21).

20. Мазур Т.М., Король Є.І. Проблеми містобудівного розвитку міст-курортів Львівщини // Вісник Національного університету «Львівська політехніка». Серія: Архітектура. Львів: Вид-во Львів. політех., 2017, № 878, с. 100–107.

21. Мер'є О.В. Архітектура лазень та купалень Галичини // Науково-технічний збірник. Харків: Цифровий репозиторій ХНУГХ. № 103, с. 573-579. https://eprints.kname.edu.ua/25691/1/573-587%20%D0%9C%D0%B5%D1%80%27%D1%94%20%D0%9E%D0%92.pdf

22. Оцінка туристично-рекреаційного потенціалу регіону: моногр. / за заг. ред. В.Г. Герасименко. Одеса: ОНЕУ, 2016. 262 с.

23. Панченко Т.Ф. Ландшафтно-рекреаційне планування природно-заповідних територій: моногр. К.: Логос, 2015. 176 с.

24. Плешкановська А.М., Савченко О.Д. Епохи і міста. К.: Ін-т урбаністики, 2019. 264 с.

25. Про регулювання містобудівної діяльності: Закон України [док. 3038, ред від 24.07.2021] // Відомості Верховної Ради України (ВВР), 2011, № 34. URL: https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/3038-17#Text (дата звернення 17.09.21).

26. Рудницький А.М. Розвиток міст західних областей УРСР та їх соціалістична реконструкція. Львів: Вища школа, 1971.

27. Справочная книжка о русских и иностранних курортах / дополнил и исправил Д-рь мед. А.А. Лозинскій. - С.-Петербург, 1909. - 600 с.

28. Тимошенко, Л. Історія давнього Трускавця (XV – початок XIX ст.): підсумки і перспективи дослідження. Східноєвропейський історичний вісник. Дрогобич: Посвіт. 2017. Спеціальний випуск. С. 6 – 18).

29. Тімохін В.О. Просторово-часова концепція та ідеологія розвитку сучасного міста // *Співвідношення категорій містобудування та ідеологій.* К., 2003, с. 306-313. URL: http://ena.lp.edu.ua/bitstream/ntb/50244/2/2003n486_Timokhin_V-Prostorovo_chasova_kontseptsiia_306-313.pdf (дата звернення 17.09.21).

30. Трускавець-колишній відомий польський курорт. // *https://www.ukrainetur.com*

31. Трускавець. Купальний заклад. Листівка, надіслана 29.VI.1901 р. Видавець Леон Фельдгоф, Трускавець. 90×140 мм. За: Truskawiec. Willa Świtezianka. Zakład Kąpielowy. Nakładem Leona Feldhofa w Truskawcu / Музей етнографії та художнього промислу Інституту народознавства НАН України, Львів, Інв. № 24354.

32. Харчук Х. Архітектура курортної забудови Трускавця XIX — першої половини XX ст. Монографія. - Львів, 2008. - 209 с. ISBN 978-966-8256-72-1

33. Харчук Х.Р. Основні періоди формування курортної забудови міста Трускавця та їх ідеологічне підґрунтя (XIX – перша половина XX ст.) / Христина Романівна Харчук // Вісник Нац. ун-ту „Львівська політехніка”. № 505. – Львів: Нац. ун-т „Львівська політехніка”, 2004. – С. 222-226.

34. Харчук Х.Р. Формування архітектури Трускавця у XIX – першій половині XX ст. (на прикладі курортної забудови): Дис. … канд. арх.: 18.00.01 / Христина Романівна Харчук / Нац. ун-т „Львівська політехніка”. – Львів, 2005. – 327 с.

35. Флорида Р. Криза урбанізму. Чому міста роблять нас нещасними? К.: Наш Формат, 2019. 320 с.

36. Mumford L. The City // International Encyclopedia of the Social Science (ed. D. L. Sills). NY, USA: The MacMillan Co& The Free Press. – 1968, Vol. II. – P. 447-472.

37. Pelczar Z. Historia rozwoju Truskawca i ulepszenia lat ostatnich / Z. Pelczar. – Kraków, 1909. – c. 3, 4

38. Truskawiec, łazienki I klasy [Dokument ikonograficzny] [Kraków: Wydawnictwo Sztuka] 1939 / Biblioteka Narodowa, Poczt.5201.

Nazariy Harashchak,
National University "Lviv Polytechnic"

GENESIS AND ARCHITECTURAL-SPICIAL PROSPECTS OF THE TRUSKAVETS RESORT (IN THE CONTEXT OF THE TASKS OF UPDATING THE CITY'S GENERAL PLAN)

In the historical architectural and recreational environment, the importance of balneological complexes and resorts is undeniable. Recreation plays an important role in human life - the restoration of physical, psycho-emotional, spiritual and intellectual forces of a person. On the example of the balneological resort of Truskavets, recreation is considered as an architectural and recreational phenomenon associated with the natural environment of the region and with the identification of a person with the environment. The influence of natural landscapes is decisive for the formation of the character of the development, which includes residential, recreational and public areas. In Truskavets, a modern resort infrastructure based on the use of mineral waters is actively developing. The key objects are pump rooms, the resort park "Adamivka", hydrotherapy centers and sanatoriums. The task of considering the phenomenon of the Truskavets resort and taking it into account in assessing the potential and substantiating the development prospects is to activate

medical and recreational, as well as tourist activities and increase the attractiveness of the resort.

Key words: resort; balneological complex; pump room; recreation; historical and architectural and recreational phenomenon; recreational resources; Truskavets.

REFERENCES

1. Arkhitektura Lvova. Chasy i styli KhIII–KhKhI st. / [M. Bevz [ta in.] ; upor. i nauk. red. Yu.O. Biriulov; red. kol. B. Cherkes]; In-t arkh. NU «Lvivska politekhnika», Instytut Lvova. Lviv: Tsentr Yevropy, 2008. 720 c. {in Ukrainian}.

2. Bleikli E. Dzh. Planuvannia mistsevoho rozvytku. Teoriia i praktyka. Vyd. 2 he. Lviv: Litopys, 2002. 416 s. {in Ukrainian/English}.

3. Bohatiuk I.H. Rekreatsiini zony v Ukraini: stan ta perspektyvy rozvytku // Visnyk Akademii pratsi i sotsialnykh vidnosyn Federatsii profesiinykh spilok Ukrainy. 2011, № 4, s. 48-51. {in Ukrainian}.

4. Bublyk B.H. Velykyi Liubin // Entsyklopediia Suchasnoi Ukrainy: elektronna versiia [onlain] / hol. redkol.: I. M. Dziuba, A. I. Zhukovskyi, M. H. Zhelezniak ta in.; NAN Ukrainy, NTSh. K.: In-t entsykloped. doslid. NAN Ukrainy, 2005. URL: https://esu.com.ua/search_articles.php?id=32747 (data zvernennia 13.10.2021). {in Ukrainian}.

5. Burde P. Fyzycheskoe y sotsyalnoe prostranstvo: per. s fr. [v:] Sotsyolohyia sotsyalnoho prostranstva. 2007. M.: Yn-t эksperyment. sotsyol. ; Spb.: Alteiia, s. 49–64.
URL: https://socioline.ru/files/5/39/sociologiya_socialnogo_prostranstva.pdf (data zvernennia 14.10.21]. {in Russian /La France}.

6. Habrel M.M. Prostorova orhanizatsiia mistobudivnykh system. K.: Vyd. dim A.S.S, 2004. 400 s. {in Ukrainian}.

7. Habrel M.M. Pidvyshchennia efektyvnosti mistobudivnykh rishen v orhanizatsii prymiskykh terytorii: monohr.; Lvivskyi natsionalnyi ahrarnyi universytet. Lviv : Spolom, 2014. 272 s. {in Ukrainian}.

8. Gel Y. Mista dlia liudei: per. O. Liubarska. K.: Osnovy, 2018, 304 s. {in Ukrainian/ English}.

9. Hryniuk O.Iu. Formuvannia terytorialno-rekreatsiinykh system likuvalnoho typu (na prykladi kurortu Truskavets): avtoref. dys. ... kand. heohr. nauk : 11.00.11. Kyiv - 2007: Kyivskyi nats. un-t im. T. Shevchenka. 14 s. {in Ukrainian}.

10. Danyliuk Yu.Z., Dmytruk V.I. Truskavets, misto Lvivskoi obl. [Elektronnyi resurs]. URL: http://www.history.org.ua/?termin=Truskavets_mst (ostannii perehliad: 13.01.2025). {in Ukrainian}.

11. Demyn N.M. Horodskye ahlomeratsyy v kontekste yssledovanyia fenomena form y system rasselenyia // Mistobuduvannia ta terytorialne planuvannia: nauk.-tekhn. zb. – K.: KNUBA, 2012. – № 45 (1). – S. 3-15. {in Russian/in Ukrainian}.

12. Dzheikobs Dzh. Smert y zhyzn bolshykh amerykanskykh horodov: per. s anh. L. Motыleva. M.: Novoe yzd-vo, 2011. 460 s. URL: http://tehne.com/library/dzhekobs-dzh-smert-i-zhizn-bolshih-amerikanskih-gorodov-moskva-2011 (data zvernennia 12.10.21]. {in Ukrainian}.

13. Dombrovska S.N., Bilotil O.M., Pomaza-Ponomarenko A.L. Derzhavne rehuliuvannia turystychnoi haluzi Ukrainy: monohr. Kh.: NUTsZU, 2016. 196 s. {in Ukrainian}.

14. Ivasivka S.V. Pryroda balneochynnykiv vody Naftusia i sut yii likuvalnoprofilaktychnoi dii. Truskavets - 1999: Truskavetskurort. 124 c. {in Ukrainian}.

15. Kliushnychenko Ye.Ie. Sotsialna spriamovanist zhytlovoi zabudovy // Suchasni problemy arkhitektury ta mistobuduvannia. 2017, Vyp. 47, s. 352-358. {in Ukrainian}.

16. Koval H. Komertsiinyi henii Raimonda Yarosha, abo aktsionerna spilka "Truskavetski dzherela" • Fotohrafii staroho Lvova https://search.app/DqGvrPwaemg4J1iH7. {in Ukrainian}.

17. Koval H. Kutochok moria u Truskavtsi, vid yakoho zalyshylysia lyshe spomyny https://search.app/QmYiTFLKYxZptNLK8. {in Ukrainian}.

18. Koval H. Yak zarodzhuvavsia kurort Truskavets : kilka malovidomykh faktiv https://photo-lviv.in.ua/yak-zarodzhuvavsya-kurort-v-truskavtsi/?fbclid=IwZXh0bgNhZW0CMTEAAR0MmdTQkiqYWY0Sr-SvbEiXIAG_Xv0QzFjIwruzLLrNTYssLtdXLYnM8jI_aem_NIxf5ZqDCjjdthdRSpUphg. {in Ukrainian}.

19. Lefevr A. Proyzvodstvo prostranstva:; per. s fr. Y. Staf. M.: Strelka Press, 2015. 432 s. URL: file:///C:/Users/72.35511/LefevrA.-Proyzvodstvo _prostranstva-2015.pdf (data zvernennia 09.10.21). {in Ukrainian/ La France}.

20. Mazur T.M., Korol Ye.I. Problemy mistobudivnoho rozvytku mist-kurortiv Lvivshchyny // Visnyk Natsionalnoho universytetu «Lvivska politekhnika». Seriia: Arkhitektura. Lviv: Vyd-vo Lviv. politekh., 2017, № 878, s. 100–107. {in Ukrainian}.

21. Merie O.V. Arkhitektura lazen ta kupalen Halychyny // Naukovo-tekhnichnyi zbirnyk. Kharkiv: Tsyfrovyi repozytorii KhNUHKh. № 103, s. 573-579. https://eprints.kname.edu.ua/25691/1/573-587%20%D0%9C%D0%B5%D1%80%27%D1%94%20%D0%9E%D0%92.pdf {in Ukrainian}.

22. Otsinka turystychno-rekreatsiinoho potentsialu rehionu: monohr. / za zah. red. V.H. Herasymenko. Odesa: ONEU, 2016. 262 s. {in Ukrainian}.

23. Panchenko T.F. Landshaftno-rekreatsiine planuvannia pryrodno-zapovidnykh terytorii: monohr. K.: Lohos, 2015. 176 s. {in Ukrainian}.

24. Pleshkanovska A.M., Savchenko O.D. Epokhy i mista. K.: In-t urbanistyky, 2019. 264 s. {in Ukrainian}.

25. Pro rehuliuvannia mistobudivnoi diialnosti: Zakon Ukrainy [dok. 3038, red vid 24.07.2021] // Vidomosti Verkhovnoi Rady Ukrainy (VVR), 2011, № 34. URL: https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/3038-17#Text (data zvernennia 17.09.21). {in Ukrainian}.

26. Rudnytskyi A.M. Rozvytok mist zakhidnykh oblastei URSR ta yikh sotsialistychna rekonstruktsiia. Lviv: Vyshcha shkola, 1971. {in Ukrainian}.

27. Spravochnaia knyzhka o russkykh y ynostrannykh kurortakh / dopolnyl y yspravyl D-r med. A.A. Lozynskii. - S.-Peterburh, 1909. - 600 s. {in Russian/in Ukrainian}.

28. Tymoshenko, L. Istoriia davnoho Truskavtsia (XV – pochatok KhIKh st.): pidsumky i perspektyvy doslidzhennia. Skhidnoievropeiskyi istorychnyi visnyk. Drohobych: Posvit. 2017. Spetsialnyi vypusk. S. 6 – 18). {in Ukrainian}.

29. Timokhin V.O. Prostorovo-chasova kontseptsiia ta ideolohiia rozvytku suchasnoho mista // Spivvidnoshennia katehorii mistobuduvannia ta ideolohii. K., 2003, s. 306-313. URL: http://ena.lp.edu.ua/bitstream/ntb/50244/2/2003n486_Timokhin_V-Prostorovo_chasova_kontseptsiia_306-313.pdf (data zvernennia 17.09.21). {in Ukrainian}.

30. Truskavets-kolyshnii vidomyi polskyi kurort. // https://www.ukrainetur.com {in Ukrainian}.

31. Truskavets. Kupalnyi zaklad. Lystivka, nadislana 29.VI.1901 r. Vydavets Leon Feldhof, Truskavets. 90×140 mm. Za: Truskawiec. Willa Świtezianka. Zakład Kąpielowy. Nakładem Leona Feldhofa w Truskawcu / Muzei etnohrafii ta khudozhnoho promyslu Instytutu narodoznavstva NAN Ukrainy, Lviv, Inv. № 24354. {in Ukrainian}.

32. Kharchuk Kh. Arkhitektura kurortnoi zabudovy Truskavtsia KhIKh — pershoi polovyny KhKh st. Monohrafiia. - Lviv, 2008. - 209 s. ISBN 978-966-8256-72-1{in Ukrainian}.

33. Kharchuk Kh.R. Osnovni periody formuvannia kurortnoi zabudovy mista Truskavtsia ta yikh ideolohichne pidgruntia (KhIKh – persha polovyna KhKh st.) / Khrystyna Romanivna Kharchuk // Visnyk Nats. un-tu „Lvivska politekhnika". № 505. – Lviv: Nats. un-t „Lvivska politekhnika", 2004. – S. 222-226. {in Ukrainian}.

34. Kharchuk Kh.R. Formuvannia arkhitektury Truskavtsia u KhIKh – pershii polovyni KhKh st. (na prykladi kurortnoi zabudovy): Dys. … kand. arkh.: 18.00.01 / Khrystyna Romanivna Kharchuk / Nats. un-t „Lvivska politekhnika". – Lviv, 2005. – 327 s. {in Ukrainian}.

35. Floryda R. Kryza urbanizmu. Chomu mista robliat nas neshchasnymy? K.: Nash Format, 2019. 320 s. {in Ukrainian}.

37. Mumford L. The City // International Encyclopedia of the Social Science (ed. D. L. Sills). NY, USA: The MacMillan Co& The Free Press. – 1968, Vol. II. – P. 447-472.

38. Pelczar Z. Historia rozwoju Truskawca i ulepszenia lat ostatnich / Z. Pelczar. – Kraków, 1909. – s. 3, 4

39. Truskawiec, łazienki I klasy [Dokument ikonograficzny] [Kraków: Wydawnictwo Sztuka] 1939 / Biblioteka Narodowa, Poczt.5201. {in Poland}.

DOI: 10.32347/2786-7269.2025.11.60-73
УДК 504.1

Джамалов А.А.,
Dzhamalov.anar@gmail.com, ORCID: 0009-0009-3192-4277,
Київський національний університет будівництва і архітектури

АНАЛІЗ ТА ОЦІНКА ДОСЛІДЖЕНЬ ШУМОВОГО ЗАБРУДНЕННЯ ЖИТЛОВИХ РАЙОНІВ МІСТ УКРАЇНИ

Досліджено актуальну проблему шумового забруднення в містах України на базі сучасних вітчизняних наукових досліджень. Проаналізовано ключові джерела акустичного навантаження, такі як транспорт, промисловість і побутова діяльність. Розглянуто основні методи зниження рівня шуму, зокрема впровадження ландшафтних рішень, створення захисних зон і модернізацію міських транспортних систем. Результати дослідження окреслюють перспективи сталого розвитку урбанізованих територій з урахуванням акустичного комфорту, що передбачає удосконалення законодавчих та технічних норм.

Ключові слова статті: шум, шумове забруднення; захист від шуму; антропогенний вплив; акустичний комфорт; містобудування; сталий розвиток; санація житлового фонду.

Постановка проблеми. Сучасне українське місто являє собою складну систему будівель і споруд, що відображає різні історичні етапи розвитку країни, починаючи від дореволюційного періоду й до сьогодення. Згідно з відкритими даними про житловий фонд України, значна частина міської забудови (40,3%) базується на житлових об'єктах, зведених у період СРСР (60–80-ті роки XX століття)[1]. Основним призначенням цих будівель було розв'язання гострих соціальних проблем, зумовлених стрімкою урбанізацією та постіндустріальними процесами.

Запроектовані та побудовані будинки тих років відповідали містобудівним правилам та будівельним нормам свого часу, та враховували передовий досвід і санітарно-гігієнічні, соціальні та економічні вимоги, але вони безумовно застаріли та не виповідають актуальним вимогам якості житлового середовища.

Сьогодні формується нова тенденція сталого розвитку міст, спрямована на екологізацію, енергоефективність та зниження антропогенного впливу на людей. Принципи сталого розвитку міст, як фундаментальна концепція сучасного містобудування, були вперше офіційно затверджені на конференції

ООН із навколишнього середовища та розвитку, що відбулася в 1992 році в Ріо-де-Жанейро[2].

Житловий фонд України, сформований у період 60–80-х років XX століття, який включає великоблочні п'ятиповерхові багатоквартирні будинки типу «хрущовки» та багатоповерхові панельні будинки типу «брежнєвки», потребує ґрунтовного переосмислення з метою забезпечення комфортних умов для подальшого проживання. Необхідно розробити та впровадити комплекс законодавчих і техніко-економічних заходів, спрямованих на модернізацію будівель та споруд, адаптацію до сучасних санітарно-гігієнічних вимог і підвищення їх функціональної придатності. Особлива увага має бути приділена енергоефективності будівель, покращенню інженерних мереж, благоустрою прибудинкових територій та підвищенню екологічної стійкості забудови, в тому числі акустичному середовищу, оскільки шумове забруднення має значний вплив на якість життя мешканців, їх здоров’я та комфорт. Розробка стратегічних програм сталого розвитку старих районів повинна враховувати не лише їхнє технічне оновлення, а й впровадження ефективних заходів щодо зниження шумового навантаження, що відповідає новітнім стандартам.

У контексті аналізу фактичного стану акустичного середовища старих районів та кварталів сучасних міст України ці принципи є ключовими для визначення напрямів модернізації та адаптації урбанізованих територій.

Питання зниження рівня шумового навантаження займає важливе місце в теперішніх дослідженнях містобудівної теорії і практики, оскільки міський шум демонструє стійку тенденцію до зростання у всьому світі.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Питанням шумового забруднення в містах України вивчались багатьма авторами в різних наукових сферах, таких як: архітектура та містобудування, екологічна безпека, охорона праці, транспортні системи і технології, економіка, охорона здоров’я та інш. В статті розглянуто вітчизняні дослідження, зокрема: Гілети Л.А. яка розглянула інтегроване поширення акустичного навантаження в урбосистемі Львова, Гринчишин Н.М, Шуплат Т.І. та Жоріна О.О. дослідили шумове забруднення магістральних вулиць центральної частини міста Львів.

Шилова Т.О. та Коніцула Т.Я. незалежно одна від іншої в різні часи вивчали та аналізували акустичну обстановку міста Києва, зокрема від транспортних потоків.

Царик Л, Яновська Л. та Кузик І. досліджували геоекологічні параметри компонентів навколишнього середовища міста Тернопіль, виконали комплексний підхід та надали багато натурних вимірювань та розрахунків, в тому числі і по шумовому забрудненню.

В груповому дослідженні Степанової О., Луценко І., Кондратова Д., Борисова А., Сидоренко В., розглянуто рівень шумового забруднення в місті Полтава, особливо в його найбільш населеному Шевченківському районі.

Публікації вітчизняних науковців висвітлюють значущість проблеми шумового забруднення в українських містах та пошуків шляхів його зниження.

Формулювання цілей статті (постановка завдання). Метою статті є дослідження фактичного стану акустичного середовища житлових кварталів в містах України, висвітленого в існуючих вітчизняних дослідженнях та публікаціях. Визначення стратегічних підходів до зниження шумового навантаження, методами ландшафтної архітектури, з урахуванням принципів сталого розвитку міського середовища.

Відповідно до визначеної мети дослідження були окреслені такі завдання:

1. Проаналізувати фактичний стан акустичного середовища житлових районів українських міст, спираючись на вітчизняні наукові дослідження.
2. Провести оцінку та систематизувати еволюцію вітчизняних нормативно-містобудівних вимог, щодо захисту від шуму в місті. На основі отриманих результатів зробити висновки, щодо відповідності існуючої забудови українських міст сучасним вимогам сталого розвитку міста із зниження шумового навантаження.
3. Визначити основні джерела шумового забруднення та їх частку у формуванні загального шумового навантаження в житловій частині міста.
4. Окреслити головні результати наукових досліджень в сфері вивчення основних факторів здатних знизити шумове забруднення міського середовища.

Виклад основного матеріалу. Згідно офіційних відкритих даних Державної служби статистики України [1] міські території демонструють чітку тенденцію до розширення штучно створеного середовища, що супроводжується зростанням чисельності міських поселень, ускладненням інфраструктури, збільшенням приватного та комерційного автомобільного парку. Це, у свою чергу, спричиняє посилення антропогенного впливу на довкілля.

Джерела шуму в міському середовищі класифікуються за кількома принципами. За характером дії вони поділяються на стаціонарні (нерухомі) та мобільні (рухомі в просторі). Залежно від типу джерел шуму, виділяють транспортні (автомобільний, залізничний, авіаційний, водний), промислові та комунальні об’єкти. За відносними масштабами міста розрізняють точкові джерела (окремі транспортні засоби, технічні механізми), лінійні (щільний транспортний потік, залізничний рух) і просторові (промислові території, транспортні вузли). Крім того, джерела шуму класифікуються за фізичними

властивостями генерації акустичних хвиль, що визначає їхній вплив на акустичне середовище міста.

Український дослідник Арбакітов В.Е. визначив, що основними джерелами техногенного шуму в містах України виступають транспортні засоби, від 50 до 70%, комунально-побутові підприємства генерують від 8 до 15% шуму, промисловий комплекс – 15-20%, будівельні майданчики до 3% [3].

Транспортний шум виступає основним джерелом акустичного навантаження на мешканців міста, маючи значний вплив на їхнє здоров'я. Його наслідки включають підвищення рівня стресу, порушення сну, зниження працездатності та інші негативні ефекти.

Забудова житлових кварталів, створених у попередні десятиліття, не була адаптована до сучасного обсягу транспортного потоку, що призводить до надмірного шумового навантаження на їхню територію.

Аналіз та порівняння нормативних вимог до проектної містобудівної документації, щодо захисту від шуму громадських і житлових будівель, які з'явились у 70-х роках минулого століття, із актуальними державними будівельними нормами свідчить про значне підвищення стандартів і вимог у цій сфері.

Основним та першим документом, щодо нормування шуму був СНіП II-12-77 «Захист від шуму» [4], діючий документ ДБН В.1.1-31:2013 «Захист територій, будинків і споруд від шуму» [5]. Обидва документа регламентують вимоги до захисту територій, будівель і споруд від шумового впливу та відображають різні етапи розвитку регуляторної бази у сфері акустичного забезпечення, що відповідають соціально-економічним і технологічним умовам відповідного періоду.

У ДБН В.1.1-31:2013 [5] в порівнянні з СНіП II-12-77 [4] розширено охоплення джерел шуму, включаючи сучасні транспортні системи, розвиток урбанізованих територій і підвищені екологічні вимоги. В документі вперше акцентовано увагу на створенні комплексних методів нормування акустичного середовища.

Різниця в вимогах, щодо вимоги до рівнів шуму:

СНіП II-12-77 [4] зосереджений на допустимих рівнях шуму у приміщеннях під час їхнього проєктування. Менша увага приділялася регулюванню шуму в зовнішньому середовищі. Граничний рівень шуму в житлових приміщеннях у нічний час становив 40 дБ, у ДБН В.1.1-31:2013 [5] вимоги вже охоплюють як внутрішнє середовище будівель, так і прилеглі території. Знижено допустимий рівень шуму для житлових зон (до 35 дБ у

нічний час), а також передбачено заходи для зниження шуму від транспортної інфраструктури.

Різниця методів оцінювання шуму:

У СНіП ІІ-12-77 [4] для оцінки шуму використовувалися базові методи, що ґрунтувалися на вимірюванні рівнів звукового тиску в октавних смугах частот, в ДБН В.1.1-31:2013 - введено нові підходи до аналізу шуму, зокрема використання інтегрованих показників, таких як еквівалентний рівень шуму, що враховує тривалість та інтенсивність впливу шуму.

Порівняння шумозахисних заходів:

СНіП ІІ-12-77: Основними заходами зниження шуму були звукоізоляція огороджувальних конструкцій, встановлення шумозахисних екранів у промислових зонах і зменшення шумового впливу від транспортних магістралей.

ДБН В.1.1-31:2013 [5], документ акцентує увагу на інтегрованому підході до проєктування територій: включає раціональне зонування, впровадження сучасних шумозахисних матеріалів і технологій, створення санітарно-захисних зон навколо джерел шуму.

Відповідність сучасним викликам:

СНіП ІІ-12-77 – документ який враховував специфіку свого часу, проте його положення є очевидно застарілими з огляду на сьогоденний рівень урбанізації, збільшення транспортних потоків і підвищення екологічної свідомості.

ДБН В.1.1-31:2013 - адаптований до актуальних умов і викликів, таких як зростання щільності забудови, інтенсивний розвиток транспортної мережі та необхідність мінімізації шумового впливу на мешканців міст. ДБН В.1.1-31:2013 суттєво перевершує за рівнем деталізації та вимогами до захисту від шуму, враховуючи існуючі джерела шуму, вдосконалені методи аналізу акустичного середовища та комплексні заходи шумозахисту. Це забезпечує відповідність нормативної бази потребам сьогодення у створенні комфортного акустичного середовища, особливо актуального для старих житлових районів, які потребують адаптації до нових реалій.

Аналіз житлової забудови 60–80-х років ХХ століття з точки зору відповідності діючим нормативно-екологічним вимогам виявляє низку невідповідностей чинному законодавству та нормативно-правовим актам України. Зокрема, серед основних документів, що регламентують екологічні, санітарні й містобудівні аспекти, та вимоги реконструкції варто відзначити:

Закон України «Про комплексну реконструкцію кварталів (мікрорайонів) застарілого житлового фонду» [6]; Проект Закону України «Про комплексну

реконструкцію кварталів (мікрорайонів) застарілого житлового фонду» [6]; Закон України «Про оцінку впливу на довкілля» [7]; Закон України "Про основні засади (стратегію) державної екологічної політики України на період до 2030 року" [9]; Закон України "Про забезпечення санітарного й епідемічного благополуччя населення" [10]; ДСП 173-96 «Державні санітарні правила планування та забудови населених пунктів» [11]; Державні будівельні норми ДБН Б.2.2-12:2019 «Планування та забудова території» [12]; Державні будівельні норми ДБН А.2.2-1-2003 «Склад і зміст матеріалів оцінки впливів на навколишнє середовище (ОВНС) при проектуванні і будівництві підприємств, будинків і споруд» [13], ДСТУ-Н Б.Б.1.1-10:2010. “Настанова з виконання розділів “Охорона навколишнього природного середовища” у складі містобудівної документації. Склад і вимоги [14].

ДБН Б.2.2 -12:2019 «Планування та забудова території» [15] також підкреслює важливість дотримання сучасних стандартів у проектуванні, будівництві та благоустрої, що спрямовані на зменшення шумового забруднення в містах. Положення вимагає створення санітарно-захисних зон навколо джерел шуму, таких як промислові об'єкти, транспортні вузли тощо. Ці зони забезпечують мінімізацію негативного впливу шумового забруднення на прилеглі житлові території.

В документі підкреслюється важливість використання зелених насаджень, зокрема дерев і кущів, як ефективного природного бар’єру для зниження рівня шуму на територіях населених пунктів. Приділено увагу просторово-планувальній організації міських територій, яка включає раціональне зонування житлових, громадських і промислових зон для мінімізації шумового впливу.

Захист від шуму в міста розглядається у комплексі з іншими екологічними та інженерними заходами, що сприяє створенню сприятливого середовища для проживання та роботи населення.

Транспортна мережа житлових кварталів України, яка формувалась в умовах фактичної забудови і майже не оптимізувалась за останні роки, наразі об’єктивно не справляється з навантаженням та постійним збільшенням кількості транспортних засобів, що призводить до збільшення акустичного навантаження на людей та відображається у вітчизняних дослідженнях.

Любов Гілета в своєму досліджені [16] акустичного навантаження міста Львова показує, що на різних вулицях міста є значне перебільшення рівня шуму від 73 до 89 дБА, при допустимих нормах для території, яка безпосередньо прилягає до житлових будинків - 70 дБА (в денний час) [5]. Вказана ситуація спостерігалась на міських територіях вже в 2012 році, а основним джерелом шуму виступав – автомобільний транспорт. Заміри рівня шуму проводилося на

магістральних вулицях, що підкреслює значну роль транспорту у формуванні акустичного середовища міста.

Актуальніші дослідження 2021р [19] у місті Львів, які проводили Гринчишин Н.М., Шуплат Т.І., Жоріна О.О, виявили тенденцію нарощування шумового навантаження на жителів міста. Порівняння фактичних замірів рівнів шуму обох досліджень за 2012 та 2021 роки показав, що протягом майже десятиліття рівень шумового забруднення залишався стабільно високим без суттєвого покращення. Висновки авторів: «*Рівні шуму на досліджуваних територіях перевищують допустимі норми на 27% і більше. Встановлено високий позитивний кореляційний зв'язок між рівнем шуму й інтенсивністю транспортних засобів у потоці. Отримані результати підвищених рівнів шуму на територіях перебування населення викликають занепокоєння. Для вирішення проблеми шумового забруднення найбільш ефективним заходом є обмеження в'їзду легкових автомобілів у центральну частину міста*».

У рамках геоекологічного дослідження навколишнього середовища міста Тернопіль [17] група дослідників Царик Л., Царик П., Яновська Л, Кузик І., звертає увагу на проблему акустичного забруднення, яке розглядається як складова частина комплексного техногенного впливу на урбанізоване середовище, абсолютні показники рівня шуму сягають 70-100 дБА. Експерти приходять до висновків, що окрім постійно зростаючого приватного і промислового автомобільного парку та ущільненням забудови, додатковим суттєвим негативним фактором для екологічного стану міста слугує деградація та скорочення частки зелених насаджень в прибудинковій зоні, недостатня кількість зон рекреації у вигляді парків та свекрів. Розрахунки, проведені авторами відповідно до чинних нормативів, засвідчили недостатнє забезпечення населення мікрорайонів рекреаційними територіями. Фактичний показник забезпеченості населення мікрорайонів озелененими територіями становить - 5 м² на одну особу, що є нижчим за нормативний рівень у 6 м² на одну особу [15].

Цінним внеском в розумінні проблем шумового забруднення в міських умовах України є дослідження 2022 року [18] Степанової Олени, Корнішиної Анастасії, Луценко Ірини та ін. Дослідження підтвердило серйозність шумового забруднення в місті Полтава, зокрема в його найбільш густонаселеному Шевченківському районі. Основна увага приділяється транспортному шуму, який є значним джерелом акустичного дискомфорту в урбанізованих зонах. Актуальність дослідження зумовлена зростанням інтенсивності транспортних потоків, погіршенням стану дорожнього покриття та недостатністю правового регулювання цієї проблеми. Фактичні заміри рівня шуму сягали від 70 до 100

дБА, що перевищує норму на 20-30 дБА. В роботі сформовані основні причини шумового забруднення:

- Інтенсивний рух громадського та вантажного транспорту.
- Пошкодження дорожнього покриття.
- Низька якість технічного стану транспортних засобів.
- Відсутність шумозахисних заходів, таких як зелені насадження та звукоізоляційні екрани.

Виявлено, що транспортна інтенсивність впливає на рівень шуму на 50–84%, тоді як інші фактори (тип дорожнього покриття, кількість зупинок, забудова вздовж доріг) спричиняють вплив на рівні 15–50%.

Основні рекомендації експертів в боротьбі з міським транспортним шумом поділено на два основні блоки: технічні заходи та правові ініціативи. Технічні включають в себе оптимізацію транспортних потоків, використання шумопоглинальних дорожніх покриттів та створення шумозахисних інженерних споруд, збільшення зелених насаджень. Правові аспекти включають в себе: вдосконалення законодавства в частині регулювання шумового забруднення, збільшення штрафів за порушення шумового навантаження, розробка національної програми моніторингу шумового забруднення.

Дослідженням шумового забруднення міста Київ, в різні часи, займались Шилова Т.О. [20] та Коніцула Т.Я. [21], дослідження прийшли до близьких висновків:

- Основним джерелом шуму визначено автомобільний транспорт, який формує до 85% загального шумового навантаження.
- Додатковими джерелами є залізничний та повітряний транспорт.
- Виявлено суттєве перевищення допустимих рівнів шуму (55 дБА вдень) у більшості досліджуваних районів, а окремих ділянках рівень шуму сягав 80–90 дБА. Найвищі рівні шуму зафіксовані в районах із високою транспортною інтенсивністю, зокрема поблизу магістралей, промислових зон та залізничних вузлів.
- Підвищене шумове навантаження негативно впливає на здоров’я мешканців, спричиняючи стрес, порушення сну та зниження загальної працездатності.

Громадська організація «Лун Місто», в 2019 році на основі діючих нормативних документів, Генерального плану міста та відкритих даних OpenStreetMap, створила інтерактивну карту шумового забруднення столиці [22].

У результаті роботи - ідентифіковано розташування житлової забудови та складено перелік основних постійних джерел шуму в міському середовищі, включаючи автомобільні дороги, залізничні та трамвайні колії, наземні ділянки метрополітену та зони поблизу аеропорту.

На основі офіційних нормативів і проведених замірів було визначено рівень гучності для кожного типу джерел шуму. Наступним етапом стало моделювання поширення звуку, яке виконували за допомогою плагіну OpeNoise. У процесі було здійснено аналіз розподілу шуму та розраховано його рівні для кожного житлового будинку Києва, рис. 1.

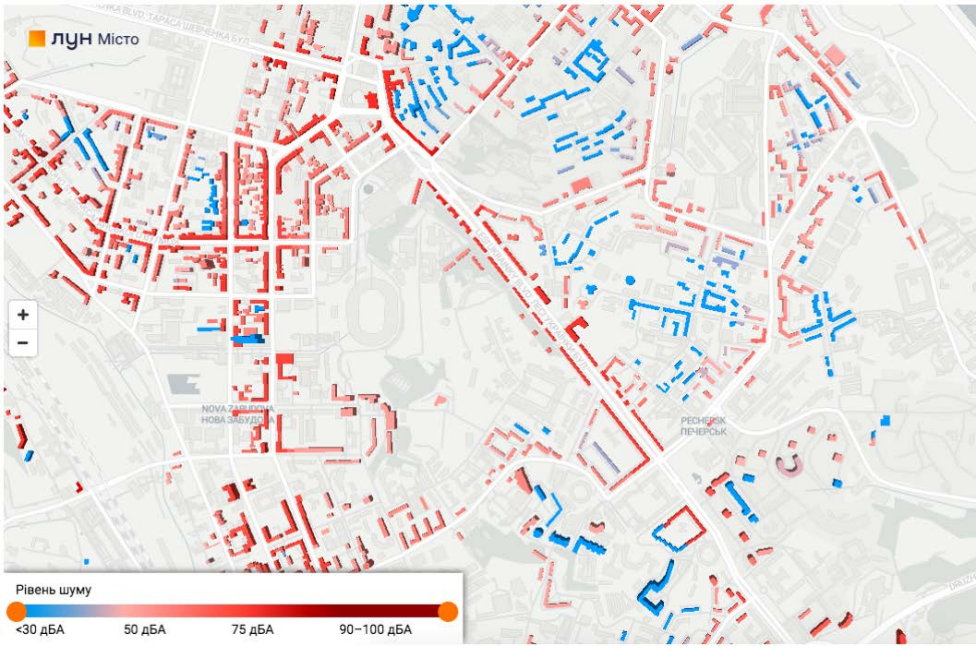


Рис. 1 - Карта шумового забруднення житлових кварталів міста [22].

Наявні прояви порушення екологічної рівноваги міста призводять до необхідності пошуку нових технологій та методів для відновлення порушених територій.

Одним із найважливіших елементів благоустрою територій із проблемний акустичним середовищем є озеленення. Різноманітність форм зелених насаджень дозволяє створювати ландшафтні композиції, які виконують санітарно-захисні функції. Залежно від характеру посадок дерев та чагарників різних порід, їх щільності та висоти, створення зелених екранів-газонів, а також урахування погодних умов місцевості досягається значний ефект зниження шуму навколишнього середовища.

Висновки з даного дослідження. Огляд вітчизняних досліджень рівнів шуму в містах України підкреслює гостроту проблеми акустичного забруднення у великих містах. Транспортний шум, який є основним джерелом

навантаження на мешканців, перевищує нормативні рівні, що призводить до значних порушень екологічної рівноваги у більшості містах України.

Основні проблеми, виявлені в результаті аналізу нормативної, законодавчої та наукової бази:

1. Значне перевищення рівнів шуму: дані вимірювань показують, що рівень шумового навантаження у багатьох містах перевищує 70–100 дБА, що суттєво перевищує нормативи для житлових зон.
2. Визначено основні джерела шуму в місті: автомобільний транспорт, залізничні й трамвайні колії, наземні ділянки метрополітену та зони біля аеропортів та промислові підприємства, як основні джерела шуму в місті.
3. Великий процент житлової зони з технічним станом та проектними рішеннями, які не відповідають сьогоденним санітарно-гігієнічним вимогам.
4. Недостатність зелених зон: аналіз доводить, що у зонах поблизу транспортних магістралей спостерігається деградація та зменшення частки зелених насаджень, які могли б виконувати функцію природних шумопоглинаючих бар'єрів.
5. Незадовільний стан та якість дорожнього покриття, поганий технічний стан та застарілій автопарк (середній вік авто в Україні – 23,2 роки).
6. Відсутність системного моніторингу рівнів шуму при плануванні Генпланів міст з врахуванням проблемних ділянок з завищеними показниками антропогенного впливу.
7. Відсутність сучасного правового регулювання: наявна правова база потребує вдосконалення для врахування сучасних викликів, зокрема стрімкого зростання транспортних потоків і інтенсифікації урбанізації.

Шумове забруднення є значним екологічним викликом для міських територій України, проєкти зниження шуму мають зосереджуватися не на нарощуванні обсягів і точності вимірювань шуму, а на техніко-економічному обґрунтуванні ефективних захисних заходів. У боротьбі з шумом слід впроваджувати комплексний підхід, що поєднує містобудівні, технічні та природні фактори.

Список джерел

1. Держстат України. Демографічна та соціальна статистика. Населені пункти та житло [Електронний ресурс]. URI: https://www.ukrstat.gov.ua/operativ/menu/menu_u/if.htm (дата звернення: 10.01.25).
2. Програма дій «Порядок денний на XXI століття»: Ухвалена конференцією ООН з навколишнього середовища і розвитку в Ріо-де-Жанейро (Саміт «Планета Земля», 1992 р.): пер. з англ. 2-ге вид. Київ : Інтелсфера, 2000. 360 с.

3. Абракітов В.Е. Картографування шумового режиму центральної частини міста Харкова: монографія / В.Е. Абракітов. - Харк. нац. акад. міськ. госп-ва. Х.: ХНАМГ, 2010. - 266 с.

4. СНиП II-12-77. «Захист від шуму. Норми проектування». Центральный научно-исследовательский и проектный институт типового и экспериментального проектирования жилья (ЦНИИЭП жилья) - недіючий. – Москва, 1977. 134 с.

5. ДБН В.1.1-31:2013: Захист територій, будівель і споруд від шуму. Міністерство регіонального розвитку, будівництва та житлово-комунального господарства України. – Київ, 2014. 54 с.

6. Проект Закону України «Про комплексну реконструкцію кварталів (мікрорайонів) застарілого житлового фонду». [Електронний ресурс]. URI: https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/525-16 (дата звернення: 10.01.25).

7. Закон України «Про оцінку впливу на довкілля». [Електронний ресурс]. URI: https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/2059-19#Text (дата звернення: 10.01.25).

8. Закон України "Про основні засади (стратегію) державної екологічної політики України на період до 2030 року". [Електронний ресурс]. URI: https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/2697-19#Text (дата звернення: 10.01.25).

9. Закон України "Про забезпечення санітарного й епідемічного благополуччя населення". [Електронний ресурс]. URI: https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/z0497-22#Text (дата звернення: 10.01.25).

10. ДСП 173-96 Державні санітарні правила планування та забудови населених пунктів. [Електронний ресурс]. URI: https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/z0379-96#Text (дата звернення: 10.01.25).

11. ДБН Б.2.2-12:2019: Планування та забудова території. Міністерство регіонального розвитку, будівництва та житлово-комунального господарства України. – Київ, 2019. 185 с.

12. ДБН А.2.2-1-2003: Склад і зміст матеріалів оцінки впливів на навколишнє середовище (ОВНС) при проектуванні і будівництві підприємств, будинків і споруд. Держбуд України. – Київ, 2004. 26 с.

13. ДБН А.2.2-1:2021: Склад і зміст матеріалів оцінки впливів на навколишнє середовище (ОВНС). Міністерство розвитку громад та територій України. – Київ, 2022. 26 с.

14. ДБН Б.2.2-12:2019: Планування та забудова території. Міністерство регіонального розвитку, будівництва та житлово-комунального господарства України. – Київ, 2019. 185 с.

15. Гілета Л.А. Інтегроване поширення акустичного навантаження й виділення акустичних геосистем в урбосистемі Львова // Конструктивна географія і геоекологія. Наукові записки. - 2012. - №1. - С. 199-204.

16. Царик Л.П. Геокологічні параметри компонентів навколишнього середовища міста Тернополя / Царик Л.П., Царик П.Л. Яновська Л.В., Кузик І.Р. // Конструктивна географія і геоекологія. Наукові записки. - 2019. - №1. - С. 198-210.

17. Stepova O., Kornishyna A., Lutsenko I., Kondratov D., Borysov A., Sydorenko V. Ecological Questions. – 2022. – Vol. 33, No. 3. – [Електронний ресурс]. URI: https://apcz.umk.pl/EQ/article/view/38354 (дата звернення 10.01.25).

18. Гринчишин Н.М. Шумове забруднення магістральних вулиць центральної частини міста Львова / Гринчишин Н.М., Шуплат Т.І., Жоріна О.О. // Вісник ЛДУБЖД. – 2021. – № 24. – С. 6-11.

19. Шилова Т.О. Аналіз акустичної обстановки в місті Києві // Містобудування та територіальне планування. – 2005. – Вип. 20. – С. 392-395.

20. Коніцула Т.Я. Забруднення довкілля транспортними потоками та визначення зон підвищеного рівня шуму на території району Київської міської агломерації // Збірник наукових праць Інституту геологічних наук НАН України. – 2009. – Вип. 2. – С. 166-171.

21. LUN. Місто [Електронний ресурс]. URI: https://lun.ua/misto/imap (дата звернення 28.06.21).

Dzhamalov Anar,
Kyiv National University of Construction and Architecture

ANALYSIS AND ASSESSMENT OF RESEARCH ON NOISE POLLUTION IN RESIDENTIAL AREAS OF UKRAINIAN CITIES

The study explores the pressing issue of noise pollution in urban areas of Ukraine, focusing on the findings of contemporary national research. It analyzes key sources of acoustic load, including transportation, industrial activities, and household operations. The study highlights the main approaches to noise reduction, such as the implementation of landscape solutions, the establishment of protective zones, and the modernization of urban transportation systems.

The results emphasize the necessity of integrating noise control measures into urban planning and policy-making to enhance the acoustic comfort of residential areas. The research findings also outline the importance of updating legislative and technical regulations to align with modern environmental and health standards. A comparative assessment of past and present urban planning norms demonstrates a growing emphasis on sustainable development and noise mitigation strategies.

Furthermore, the study identifies transport noise as the primary contributor to urban noise pollution, exceeding permissible limits and significantly affecting public health. The analysis of existing Ukrainian regulations and international practices reveals the need for a comprehensive approach to reducing acoustic pollution, combining legal, technological, and environmental solutions.

The research underscores the importance of strategic urban development policies aimed at mitigating noise pollution and improving the quality of life in densely populated residential areas. The proposed recommendations include improved land-use planning, the implementation of green infrastructure, and stricter noise control regulations.

Keywords: noise; noise pollution; noise protection; anthropogenic impact; acoustic comfort; urban planning; sustainable development».

REFERENCES

1. State Statistics Service of Ukraine. Demographic and social statistics. Settlements and housing [Online]. Available: https://www.ukrstat.gov.ua/operativ/menu/menu_u/if.htm Accessed on: January 10,2025. {In Ukrainian}.

2. Agenda 21: Programme of Action / Adopted at the UN Conference on Environment and Development in Rio de Janeiro (Earth Summit, 1992); translated from English. 2nd ed. – Kyiv: Intelsfera, 2000. – 360 p. {In Ukrainian}.

3. Abrakitov V. E. Mapping the noise regime of the central part of Kharkiv: monograph / V. E. Abrakitov. – Kharkiv: KhNAMG, 2010. – 266 p. {In Ukrainian}.

4. SNiP II-12-77. Noise protection. Design standards. Central Research and Design Institute for Standard and Experimental Housing Design (TsNIIEP Housing) – inactive. – Moscow, 1977. – 134 p. {In Russian}.

5. DBN V.1.1-31:2013. Protection of territories, buildings, and structures from noise. Ministry of Regional Development, Construction, and Housing and Communal Services of Ukraine. – Kyiv, 2014. – 54 p. {In Ukrainian}.

6. Draft Law of Ukraine "On the Comprehensive Reconstruction of Quarters (Microdistricts) of Obsolete Housing Stock" [Online]. Available: https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/525-16 Accessed on: January 10,2025. {In Ukrainian}.

7. Law of Ukraine "On Environmental Impact Assessment" [Online] Available: https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/2059-19#Text Accessed on: January 10,2025. {In Ukrainian}.

8. Law of Ukraine "On the Basic Principles (Strategy) of State Environmental Policy of Ukraine until 2030" [Online]. URI: https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/2697-19#Text Accessed on: January 10,2025. {In Ukrainian}.

9. Law of Ukraine "On Ensuring Sanitary and Epidemiological Welfare of the Population" [Online]. Available: https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/z0497-22#Text Accessed on: January 10,2025. {In Ukrainian}.

10. DSP 173-96. State sanitary rules for planning and development of settlements. [Online]. Available: https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/z0379-96#Text Accessed on: January 10,2025. {In Ukrainian}.

11. DBN B.2.2-12:2019. Planning and development of territories. Ministry of Regional Development, Construction, and Housing and Communal Services of Ukraine. – Kyiv, 2019. – 185 p. {In Ukrainian}.

12. DBN A.2.2-1-2003. Composition and content of materials for environmental impact assessment (EIA) in the design and construction of enterprises, buildings, and structures. State Construction Committee of Ukraine. – Kyiv, 2004. – 26 p. {In Ukrainian}.

13. DBN A.2.2-1:2021. Composition and content of materials for environmental impact assessment (EIA). Ministry of Community and Territorial Development of Ukraine. – Kyiv, 2022. – 26 p. {In Ukrainian}.

14. DBN B.2.2-12:2019. Planning and development of territories. Ministry of Regional Development, Construction, and Housing and Communal Services of Ukraine. – Kyiv, 2019. – 185 p. {In Ukrainian}.

15. Hileta L.A. Integrated distribution of acoustic load and identification of acoustic geosystems in the urban system of Lviv // Constructive Geography and Geoecology. Scientific Notes. – 2012. – No. 1. – P. 199-204. {In Ukrainian}.

16. Tsaryk L.P., Tsaryk P.L., Yanovska L.V., Kuzyk I.R. Geoecological parameters of environmental components of the city of Ternopil // Constructive Geography and Geoecology. Scientific Notes. – 2019. – No. 1. – P. 198-210. {In Ukrainian}.

17. Stepova O., Kornishyna A., Lutsenko I., Kondratov D., Borysov A., Sydorenko V. Ecological Questions. – 2022. – Vol. 33, No. 3. – [Online]. Available: https://apcz.umk.pl/EQ/article/view/38354 Accessed on: January 10,2025. {In English}.

18. Hrynchyshyn N.M., Shuplat T.I., Zhorina O.O. Noise pollution of the main streets in the central part of Lviv // Bulletin of LDU BZhD. – 2021. – No. 24. – P. 6-11. {In Ukrainian}.

19. Shylova T.O. Analysis of the acoustic environment in the city of Kyiv // Urban Planning and Territorial Planning. – 2005. – Issue 20. – P. 392-395. {In Ukrainian}.

20. Konytsula T.Ya. Environmental pollution by transport flows and determination of zones with increased noise levels in the Kyiv urban agglomeration // Collection of scientific papers of the Institute of Geological Sciences of the NAS of Ukraine. – 2009. – Issue 2. – P. 166-171. {In Ukrainian}.

21. LUN. City [Online]. Available: https://lun.ua/misto/imap Accessed on: January 10,2025. {In Ukrainian}.

DOI: 10.32347/2786-7269.2025.11.74-88
УДК 728/747

доктор філософії **Емаміанфар Алі,**
emamianfar.al@knuba.edu.ua, ORCID: 0000-0002-2729-3590,
Третяк Ю.В.,
tretiak.iuv@knuba.edu.ua, ORCID: 0000-0002-7537-5929,
Косаревська Р.О.,
kosarevska.ro@knuba.edu.ua, ORCID: 0000-0003-1076-0364,
Київський національний університет будівництва і архітектури

ІСТОРИЧНА ЕВОЛЮЦІЯ АРХІТЕКТУРНИХ РІШЕНЬ ОСВІТНІХ УСТАНОВ ДОІСЛАМСЬКОГО ІРАНУ В АСПЕКТІ СУЧАСНОЇ ЕНЕРГОЕФЕКТИВНОСТІ

Досліджено еволюцію енергоефективних архітектурних рішень в освітніх установах доісламського Ірану. Проаналізовано традиційні освітні простори, зокрема перші навчальні заклади, з точки зору використання природних енергоресурсів. Розглянуто архітектурні методи оптимізації мікроклімату, що включають використання води, вітру, ґрунту, вогню та світла. Проведено аналіз архітектурних характеристик перших навчальних закладів, таких як зикурат і храм вогню, а також вивчено принципи просторової організації, що сприяли енергоефективності.

Стаття містить огляд підходів в архітектурному проєктуванні і будівництві, які застосовувалися в освітніх установах різних історичних періодів доісламського Ірану, а також демонструє, як традиційні біокліматичні енергоефективні технології можуть бути адаптовані до сучасного архітектурного проєктування шкільних комплексів.

Ключові слова: архітектурні рішення; традиційна архітектура Ірану; система освіти; освітні простори; енергоефективність; природні елементи; зикурат; храм вогню; школа; університет.

Постановка проблеми. Використання природної енергії було невід'ємною складовою зодчества ще з часів Стародавнього Ірану. Архітектори минулого активно застосовували природні ресурси — воду, вітер, ґрунт, вогонь та сонячне світло — для створення комфортного середовища в освітніх просторах.

Формування архітектурних рішень для навчальних приміщень у минулому ґрунтувалося на певних стандартах, що враховували необхідність організації навчального процесу, проведення релігійних церемоній та масових зібрань у великих залах або класних приміщеннях. Застосування природних

факторів відігравало ключову роль у створенні ефективних систем освітлення, опалення та охолодження, що дозволяло адаптувати будівлі до кліматичних умов та особливостей місцевості.

У даній статті досліджуються підходи до архітектурного проєктування навчальних просторів у контексті історичних та сучасних принципів використання природної енергії, а також їхній вплив на функціональність та комфорт освітнього середовища.

Актуальність теми. Освітні простори, що існували до Різдва Христового, мали форму храмів або святинь і слугували першими навчальними закладами в періоди Ахеменідів (550-330 рр. до н.е.) і Сасанідів (224-651 рр. н.е.) у Стародавньому Ірані. Хоча в них ще не застосовувалися енергоефективні підходи в сучасному розумінні, архітектурні рішення того часу вже містили елементи раціонального використання природних ресурсів. Давні архітектори враховували кліматичні особливості регіону та використовували природну енергію, зокрема воду, вітер і дощ, для створення комфортного навчального середовища [1].

Вивчення архітектури освітніх просторів цих періодів, проєктних і будівельних методів їх створення та взаємозв'язку з природними ресурсами дозволяє простежити історичний розвиток підходів до проєктування навчальних закладів. Подальший аналіз виявлених закономірностей дає змогу оцінити можливість адаптації стародавніх архітектурних рішень, в аспекті органічного поєднання традиційних та сучасних концепцій енергоефективності і сталого розвитку.

Аналіз останніх досліджень та публікацій. На сьогодні існує значна кількість досліджень, присвячених традиційній іранській архітектурі освітніх просторів. Вагомий внесок у вивчення цієї тематики зробили наступні праці: «*Традиційна іранська архітектура*» (2013) Хоссейні Могадам Бахаре [2], «*Відродження забутих мистецтв*» (2020) Рісзаде Махназ, Мофід Хоссейн [3], «*Знайомство з мовою цегли та ґрунту*» (2014) Вазірі Сае Ред [4], «*Посібник із збереження цегляної архітектури*» (2024) Аббасі Харфатех Мохсен, Табатабаї Сейєд Мохаммад Амін [5], «*Сліди мистецтва*» (2021) Мардані Аргаван [6].

Наведені дослідження висвітлюють різні аспекти архітектури історичних освітніх будівель, включаючи прийоми проєктування і будівництва, застосовані матеріали, просторову організацію, а також питання їх збереження та адаптації до сучасних потреб. Окремі роботи акцентують увагу на ролі природних енергетичних ресурсів у традиційному будівництві, зокрема використанні води, вітру та сонячного світла для створення комфортного середовища.

Зважаючи на це, дана стаття зосереджується на вивченні закономірностей, що пов'язують біокліматичні прийоми в архітектурі

історичних будівель та сучасну енергоефективну архітектуру освітніх просторів на прикладі Ірану. Аналіз існуючих наукових досліджень дозволяє оцінити можливості використання традиційних методів у розробці сталих архітектурних рішень і визначити їхню адаптивність до сучасних викликів енергоефективного будівництва.

Метою даної статті є порівняльний аналіз низки традиційних будівель історичної архітектури Ірану, що містять освітні простори, з точки зору використання природних елементів – сонячного світла, вітру, води, ґрунту та вогню, які традиційно використовувалися для підвищення енергоефективності. Дослідження спрямоване на виявлення принципів інтеграції цих природних факторів як у архітектурні рішення минулого, так і їхню адаптацію до сучасних потреб сталого будівництва освітніх закладів.

Методи дослідження. Дослідження базується на комплексному підході, що поєднує загальнонаукові, міждисциплінарні та спеціальні методи для аналізу історичної іранської архітектури та її застосування в сучасних освітніх просторах. Зокрема, використано: системний та системно-синергетичний підходи, метод переходу від абстрактного до конкретного, методи ідеалізації та уявного експерименту, методи аксіоматичного та дедуктивного аналізу, методи аналізу та синтезу. Практична частина дослідження здійснювалася за допомогою таких методів: натурне обстеження, фотофіксація, аналоговий метод проєктування, графоаналітичний метод тощо.

Виклад основного матеріалу.

Зикурат Чоґа Занбіл. Зикурат Чоґа Занбіл розташований на південному заході Ірану, в місті Суза, провінція Хузестан, поблизу стародавнього поселення Хафт Тапе. Релігійно-ритуальний комплекс Дураванташ був зведений близько 1250 р. до н.е. (1240–1275 рр. до н.е.) під час правління еламського царя Унванташа Напіріші на честь Іншушинака, божества-охоронця Сузи. Спочатку ця споруда належала до шумерської архітектурної традиції, зведеної для поклоніння богам, подібні споруди широко розповсюджені в Месопотамії. До числа збережених зикуратів належать: Зикурат Ура, Зикурат Атмананкі, Зикурат Енліля, Зикурат Ларси та Зикурат Дур-Шаррукін в Іраку.

Первісна висота зикурату Чоґа Занбіл становила 52 метри, він складався з 5 рівнів, насьогодні його висота складає 25 метрів, проте, збереглися лише 2,5 рівня. Фундамент зикурату має квадратну форму розміром 105,20×105,20 метрів, що вдвічі перевищує площу стандартного футбольного поля [7].

Функціональне використання зикурату Чоґа Занбіл включало виконання культових обрядів, проведення молитов, поклоніння вогню, ритуальне очищення води, а також освітні заняття, зокрема навчання релігійним ритуалам. Цей храмовий комплекс є одним із найдавніших релігійних центрів Ірану, який

також виконував освітню функцію. На планах споруди чітко простежується зонування освітніх просторів: верхній рівень храму був відведений для навчання та проведення колективних молитов, тоді як нижні рівні виконували функцію водоочищення, забезпечуючи потреби мешканців прилеглої території.

Архітектура зикурату Чоґа Занбіл демонструє використання традиційних іранських будівельних матеріалів — цегли, води та вогню. Як зазначено вище, подібні місця поклоніння поширювалися в західному Ірані ще в давнину, а цей регіон вважається одним із перших, заселених парфянами. Характерною рисою цих будівель була глинобитна архітектура з використанням квадратної цегли, відомої як «хешт» (Рис. 1).

Енергоефективність зикурату забезпечували масивні глинобитні стіни з високою тепловою інерційністю, що зменшували температурні коливання. Просторові рішення сприяли збереженню прохолоди влітку та тепла взимку, а природна вентиляція підтримувала комфортний мікроклімат у посушливих умовах.

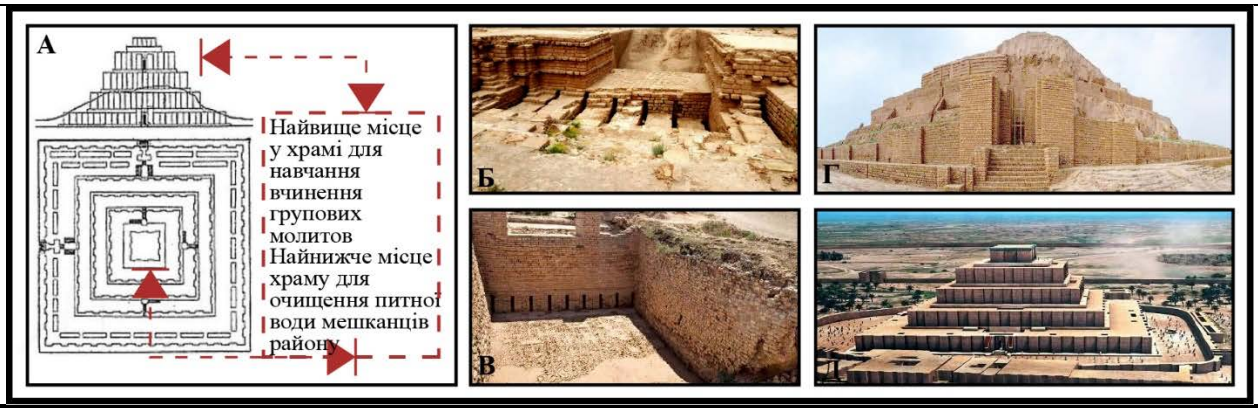


Рис. 1. А – План і фасад зикурату; Б, В – Система очищення води;
Г, Д – Об'ємно-просторове рішення та перспектива [8, 9].

Освіта в період Ахеменідів (550-330 рр. до н.е.). Система освіти в епоху Ахеменідів базувалася на трьох основних навчальних осередках: сім'ї, храмах вогню та придворних школах при царських палацах. Навчальний процес розпочинався у віці 5-7 років, коли дитина завершувала перший етап виховання в родинному середовищі та готувалася до вступу в школу або на загальноосвітні курси, еквівалентні сучасному дитячому садку.

Структура освіти у Стародавньому Ірані була поділена на три послідовні етапи, які відповідали рівню фізичного, розумового та емоційного розвитку особистості, а також соціальним і національним потребам. *Сімейне виховання* складав перший етап, що формував основні життєві навички та моральні цінності. *Народне виховання* – другий етап, що тривав з 7 до 14-15 років і передбачав базову освіту в освітніх осередках. *Спеціалізоване навчання* виступало третім етапом, що збігався з періодом дозрівання та мав на меті

професійну підготовку відповідно до соціального статусу та майбутньої ролі в суспільстві.

Учнів поділяли на три основні категорії відповідно до їхнього соціального походження та майбутніх обов'язків. *Перша група є особливою (елітарною) в освіті*: до неї входили князі та дворяни, яких навчали політики, військової справи та державного управління. *Другу групу складала професійна освіта*: сюди приходили навчатися діти жерців, ремісників, торговців та представників цехових організацій, які проходили підготовку у своїй професійній сфері, здебільшого продовжуючи справу своїх батьків. *Третя група – загальна освіта*: в цю категорію учнів входили діти вчителів, придворних службовців і купців, які здобували знання у сферах культури, адміністративного управління та економіки. Освітні заклади розділяли учнів за статевою ознакою – навчання хлопців та дівчат відбувалося окремо [10].

Архітектура Персеполя. Персеполь – один із найвизначніших архітектурних ансамблів періоду Ахеменідів, розташований у місті Марвдашт, провінція Фарс. Цей грандіозний комплекс включав монументальні палаци, зали для урочистостей і численні адміністративні споруди.

Однією з ключових особливостей архітектури Персеполя є унікальний вхід, виконаний із натурального каменю, а також масивні кам'яні колони, що надавали будівлі монументальності та величі. Важливим аспектом проєктування є використання золотого перетину – математичної пропорції, що широко застосовувалася в давній архітектурі. У Персеполі співвідношення висоти дверних прорізів до їхньої ширини, а також висоти колон до відстані між ними відповідає цій гармонійній пропорції, що забезпечувало естетичну досконалість конструкцій.

Архітектурне середовище комплексу також характеризується вдалим поєднанням будівельних природних матеріалів і просторових рішень. Використання каменю та організація відкритих, добре освітлених просторів сприяли комфортному мікроклімату в будівлях. Окрім основних функцій адміністративного й церемоніального центру, Персеполь виконував роль освітнього осередку, де розміщувалися приміщення для навчання солдатів та дітей придворної знаті [11] (Рис. 2).

Система освіти в Ірані в сасанідський період. Сасаніди правили Іраном протягом 427 років, з 224 по 651 рік. Освітня система зберегла основні характеристики, успадковані від Ахеменідської епохи, зокрема усний метод навчання, де головний акцент робився на запам'ятовуванні та відтворенні матеріалу. Протягом цього періоду значно розширилася сфера освіти, що було зумовлено релігійними та культурними реформами. Відродження традиційних іранських звичаїв, а також зростання інтересу до науки та знань сприяли

поширенню освітніх практик по всій території держави Сасанідів. Одним із ключових факторів розвитку освіти стало релігійне суперництво між зороастризмом та іншими віруваннями, такими як маніхейство, маздакізм та християнство, що набуло особливої гостроти після 265 року.

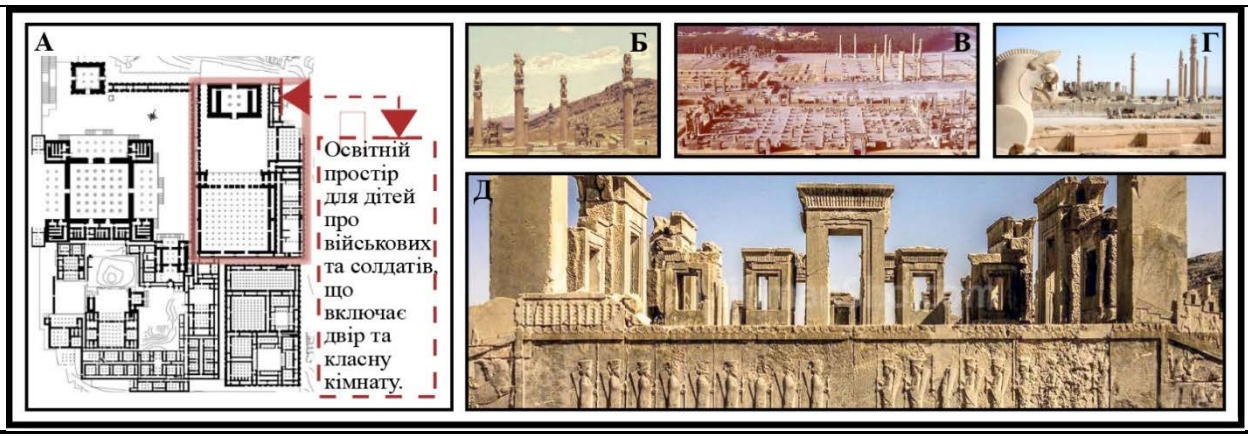


Рис. 2. А – План комплексу Персеполя; Б, В, Г – Загальний вигляд архітектурного ансамблю; Д – Вид з головного входу [12, 13].

У цей час у східному Середземномор'ї почали з'являтися освітні центри, пов'язані з іранською культурою. Близько 320 року була заснована школа в Нусайбіні, а в 363 році іранці створили знамениту школу Реха (на території сучасної Туреччини), що стала провідним центром елліністично-сирійської культури в Азії. Подальші зміни відбулися в 489 році, коли імператор Зенон закрив безкоштовну школу в Едессі через її несторіанську спрямованість. Це змусило її викладачів емігрувати до Ірану, де вони заснували оновлений освітній центр у Нусайбіні. Згодом ця школа стала одним із найважливіших наукових центрів свого часу, сприяючи поширенню знань серед іранських інтелектуальних кіл [10, 14, 15]. (Рис. 3.)

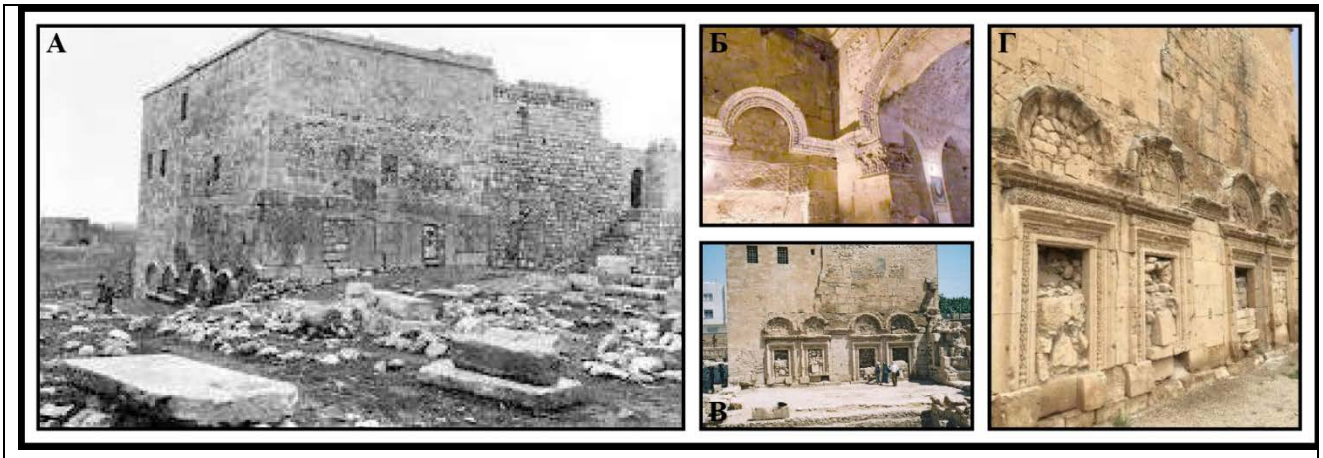


Рис. 3. А – Загальний вигляд будівлі Нусайбіні; Б, В, Г – Використання каменю в обробці фасадів та інтер'єру приміщень [16, 17].

Аналізуючи розвиток історичних освітніх просторів в Ірані, можна констатувати, що на теренах Сходу, Центральної Азії та Іранського плато формування цих просторів відбувалося в межах храмів, палаців, академій, мечетей та шкіл. Енергоефективність у її сучасному розумінні не була визначальним критерієм проєктування, однак традиційні архітектурні рішення передбачали раціональне використання природних ресурсів. Водні ресурси, вітер, ґрунти, сонячна енергія та вогонь для опалення та освітлення відігравали ключову роль у формуванні архітектурного простору, забезпечуючи комфортні умови для навчання та проживання.

У більшості випадків освітні центри будували поблизу річок або морських узбережь, що забезпечувало доступ до прісної води для мешканців храмів і навчальних закладів. Вітер враховувався як природний регулятор мікроклімату, а орієнтація будівель дозволяла створювати ефективні системи природної вентиляції, особливо у великих залах для спільних молитов чи лекцій. Ґрунт використовувався як основний будівельний матеріал, що формував конструктивну систему споруд та слугував природним ізоляційним шаром для підтримки комфортного мікроклімату всередині приміщень. Вогонь, окрім сакрального значення, мав практичне застосування – його використовували для приготування їжі, обігріву та освітлення, що забезпечувало життєдіяльність освітніх комплексів.

Архітектура храму вогню та їх значення. Згідно зі священною книгою «Авеста», зороастрійці вважали чотири основні стихії — повітря, землю, воду та вогонь — очисними та священними. Особливе значення надавалося вшануванню цих елементів через архітектурні споруди, що проявилося у створенні культових споруд, так званих храмів вогню. Будівництво таких храмів поблизу річок, джерел або морів мало на меті об’єднання всіх чотирьох стихій в єдиному сакральному просторі, що відповідало релігійним уявленням зороастрійців.

Попри регіональні варіації, всі храми вогню мають подібну структурну організацію. Базовий архітектурний тип — це чотирикутна споруда з чотирма арочними входами, розташованими по всіх сторонах будівлі, що обумовило альтернативну назву цих храмів — «чотириаркові». Центральну частину споруди увінчував купол, який не лише підкреслював сакральний характер будівлі, а й забезпечував акустику для молитовних обрядів. Окрім базової архітектурної форми, існували й більш складні типи храмів вогню. Наприклад, чотирикамерний храм вогню в Каср-е-Ширіні мав додаткові криті коридори та замкнені приміщення. Хоча частина цих конструкцій не збереглися до наших днів, їхні сліди свідчать про складну організацію простору та адаптацію до кліматичних умов регіону [18].

Основними матеріалами, використовуваними для зведення храмів вогню, були цегла та камінь. Купол слугував не лише архітектурною домінантою, а й функціональним елементом для підтримання вентиляції та забезпечення оптимального мікроклімату всередині будівлі. Високі арочні прорізи та правильна орієнтація храмів сприяли максимальному використанню сонячного світла, що було важливим для ритуальних обрядів.

Окрему роль відігравали зони для омовіння — вони розміщувалися у внутрішніх дворах або коридорах, що гарантувало постійний доступ до води. Така організація простору сприяла дотриманню ритуальної чистоти, що мало важливе значення для зороастрійських традицій. Одним із зразків храмів вогню, що зберігся до наших днів, є Ніасарський храм вогню, зведений у сасанідський період. Сьогодні ця архітектурна пам’ятка є важливим історичним об’єктом, доступним для відвідувачів (Рис. 4).

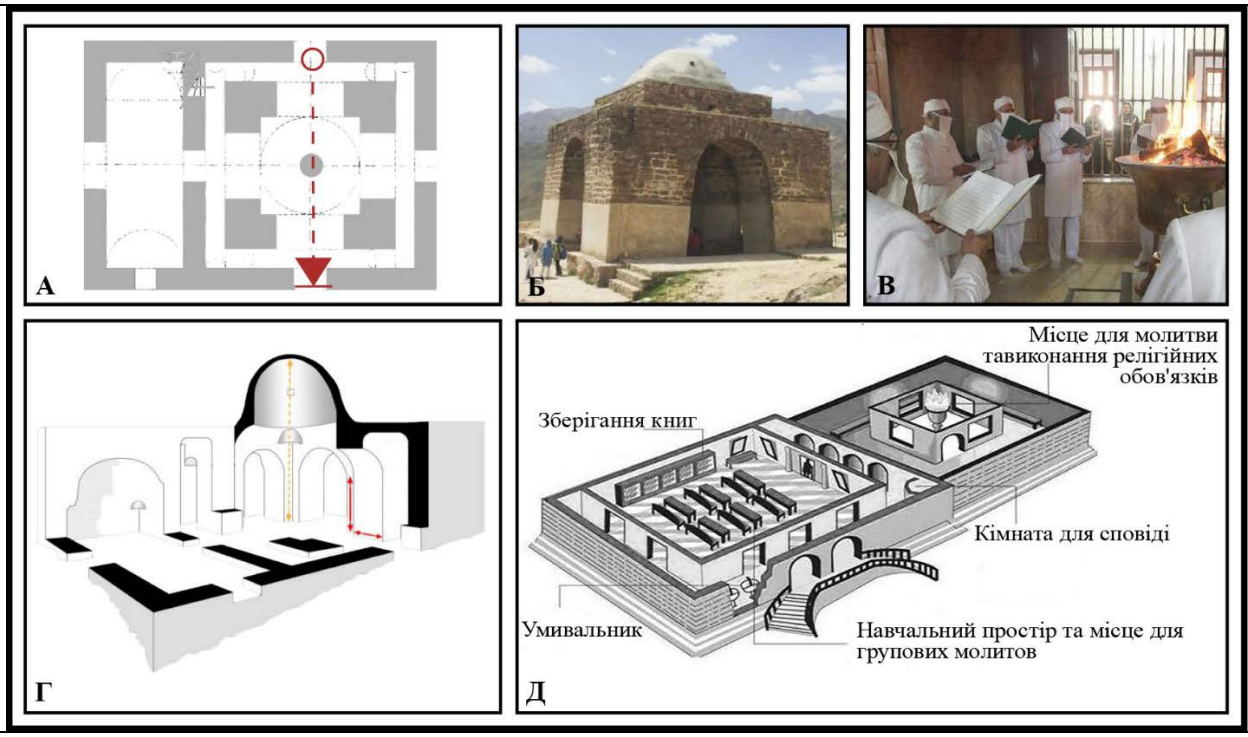


Рис. 4. А – План храму вогню; Б – Загальний вигляд будівлі; В – Молитовна церемонія; Г – Конструктивна схема будівлі; Д – 3D-візуалізація внутрішніх приміщень. [19, 20].

Основним будівельним матеріалом для храмів вогню був камінь, що забезпечував міцність та довговічність споруди. У регіонах, де транспортування каменю було ускладненим, застосовувалися місцеві матеріали, такі як цегла та саман, які були поширеними в традиційній іранській архітектурі. Для підвищення міцності конструкції в зовнішній обробці використовували випалену цеглу, тоді як для внутрішніх стін застосовувався сирець. Особливістю будівельної технології храмів вогню було використання великих

монолітних каменів, висота яких у деяких випадках досягала семи метрів. Колони храму часто виготовляли з мармуру, що надавало споруді естетичної виразності та довговічності. Для перекриття даху використовували дрібні камені, дерев'яні балки та інші доступні природні матеріали, які забезпечували необхідну міцність і термоізоляцію конструкції [18].

Окрім релігійного значення, храми вогню відігравали важливу освітню роль. Вони слугували місцями навчання релігійних догматів, традицій та ритуалів, а також сприяли розвитку системи освіти, особливо серед дітей та молоді. Таким чином, освітні функції храмів вогню можна розглядати як один із перших етапів формування навчальних закладів у культурному просторі Стародавнього Ірану.

Створення перших спеціалізованих навчальних закладів у Стародавньому Ірані. У 489 році християнська школа Урфа (християнська школа в Туреччині) була закрита, що призвело до втрати її статусу як євангельського центру. Цим скористався Барсія (Барсума), один із сасанідських правителів, який заснував новий навчальний заклад у місті Нусайбін. Ця школа стала спадкоємцем історичної школи Урфі, надаючи освіту учням з усієї країни. Основною її метою було навчання біблійним традиціям, після чого учні поверталися на батьківщину, поширюючи отримані знання.

З кінця V ст. до середини VI ст. несторіанська школа, яка виникла на основі цієї традиції, значно вплинула на поширення християнського вчення на Іранському плато та в гірських районах Курдистану. Наслідком цього стало формування ассирійських спільнот у Західному Азербайджані, які зберігають свої релігійні традиції до сьогодні.

Культурні обміни в давнину відбувалися здебільшого через торгові маршрути або під час військових зіткнень між державами. Одним із найвідоміших центрів освіти та науки в період Сасанідів став університет Ганді Шапур (Джундішапур). Він розташовувався неподалік сучасних міст Суз, Дезфул і Шуштар, а свого розквіту досяг за правління шаханшаха Хосрова I Анушірвана (531–579 рр.). Завдяки унікальному поєднанню перських, грецьких та індійських знань Ганді Шапур став не лише осередком освіти, але й важливим науковим центром античного світу [10].

Архітектура університету Джундішапур в Ахвазі. Університет Джундішапур був одним із найзначніших освітніх центрів Сасанідського періоду, що вирізнявся унікальною архітектурою, адаптованою до його наукового значення. Просторове планування комплексу передбачало розподіл будівель відповідно до напрямів викладання та наукових досліджень, що створювало сприятливі умови для навчання та академічних досліджень. Архітектурні рішення університету відображали характерні риси сасанідського

стилю, такі як симетричність композиції, масивність форм, використання арок та купольних перекрить. Завдяки цьому комплекс слугував не лише навчальним осередком, а й демонстрацією розвиненої будівельної традиції того періоду.

У середині XX століття, в період правління династії Пехлеві, було прийнято рішення про відродження історичного значення Джундішапура як освітнього центру. У 1953 році (1332 рік за іранським сонячним календарем) на його основі було засновано сучасний університет Джундішапур. У 1957 році в Ахвазі відкрилася медична філія університету, яка продовжила традицію вивчення медичних наук. Після Ісламської революції 1979 року університет продовжив свою діяльність, ставши одним із провідних центрів медичної освіти в південному регіоні Ірану та у країні загалом [21].

Збережені залишки комплексу університету демонструють орієнтацію архітектурних просторів з урахуванням переважаючих вітрів та природної вентиляції. Центральна будівля, виконана у вигляді циліндричної форми, слугувала просторовим ядром для освітнього процесу. Крім того, розташування комплексу поблизу водних джерел свідчить про активне використання природних ресурсів для забезпечення комфортного мікроклімату та оптимізації енергоспоживання (Рис. 5).

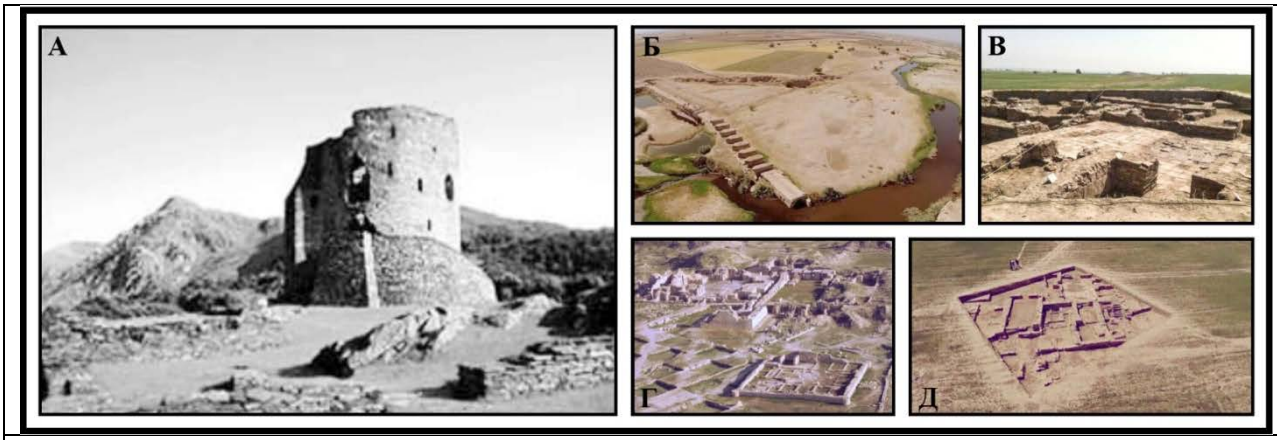


Рис. 5. А – Загальний вигляд архітектурного комплексу Джундішапур; Б – Взаємозв'язок архітектурного планування з водними ресурсами (розташування річки поруч із комплексом); В – Використання цегли як основного конструкційного матеріалу; Г, Д – Архітектурне планування міського простору Джундішапура [22].

Висновки. Еволюція освітніх просторів у Стародавньому Ірані відображає не лише високий рівень цивілізаційного розвитку, а й глибокий зв'язок з природними ресурсами, духовними традиціями та суспільними потребами. Освітні простори формувалися як місця для групових зібрань, навчання та релігійних практик, що сприяло їхньому поширенню та вдосконаленню впродовж століть.

Архітектурне вирішення навчальних приміщень базувалося на використанні природних елементів: сонячного світла, енергії вітру, природної

вентиляції, води та термічних властивостей місцевих матеріалів. Використання в будівництві природних матеріалів, таких як глина, камінь і цегла, сприяло створенню енергоефективних, з точки зору сучасності, просторів, адаптованих до кліматичних умов регіону. Відповідний розподіл простору, застосування куполів, аркових склепінь, вентиляційних отворів, що спрямовували напрямок вітру, а також стратегічне розташування будівель поблизу джерел води (річок, озер) забезпечували оптимальні умови для навчального процесу.

Просторове планування, розроблене з урахуванням архітектурних принципів того часу, сприяло створенню навчальних утворень, що відповідали як освітнім, так і культурно-соціальним потребам. У цих приміщеннях навчалися не лише звичайні громадяни, а й представники правлячих династій. Застосування масштабних просторів та їх гармонійна інтеграція в довкілля забезпечували комфортні умови для навчання та громадських зібрань.

Таким чином, досвід архітектурного проєктування та будівництва навчальних просторів у Стародавньому Ірані демонструє значний потенціал для адаптації традиційних методів у сучасній практиці енергоефективного будівництва.

Список літератури:

1. Канбаран Абдул Хамід, Хоссейнпур Мохаммад Амін. Дослідження факторів, що впливають на енергоефективність освітніх приміщень в кліматі міста Тегеран. Академічний дослідницький журнал: Публікації університету Тарбіат Модарес, 2017. 54 с. URL: https://bsnt.modares.ac.ir/article-2-2728-fa.html/ (дата звернення 01.02.2025)

2. Хоссейні Могадама Бахаре. Традиційна іранська архітектура. Книга: Берга, Тегран, 2013. 44 с. URL: https://www.gisoom.com/book/1849083/کتاب-معماری-سنتی-ایرانی/ (дата звернення 02.02.2022)

3. Рісзаде Махназа, Мофід Хоссейн. Відродження забутих мистецтв. Книга: Шапак, Тегран, 2020. 73 с. URL: https://www.gisoom.com/book/11547805/کتاب-احیای-هنرهای-از-یاد-رفته-مبانی-معماری-سنتی-در-ایران-به-روایت-استاد-حسین-لرزاده/ (дата звернення 03.02.2025)

4. Вазірі Сае ред. Знайомство з мовою цегли та ґрунту. Книга: Назари, Тегран, 2014. 67 с. URL: https://www.gisoom.com/book/1947303/کتاب-آشنایی-با-زبان-خاک-و-خشت-معماری-سنتی-در-ایران/ (дата звернення 04.02.2025)

5. Аббасі Харфатех Мохсен, Табатабаї Сейєд Мохаммад Амін. Посібник із збереження цегляної архітектури. Книга: Яздський університет 2024. 101 с. URL: https://www.gisoom.com/book/44848872/کتاب-راهنمای-حفاظت-معماری-خشتی-باتمرکز-بر-شهر-تاریخی-یزد/(дата звернення 05.02.2025)

6. Мардані Аргаван. Сліди мистецтва. Книга: Джерело створення, 2021. 111 с. URL: http://gisoom.com/book/11754803/کتاب-ردپای-هنر-بررسی-قابلیت-های-هنری-بناهای-میدان-نقش-جهان-

(дата /اصفهان-و-شیوه-های-استفاده-از-نقوش-آن-در-جهت-زیباسازی-فضاهای-عمومی-و-مدارس-با-هدف-تقویت-هویت-مل звернення 06.02.2025)

7. Інформація про історичну забудову Чогха Занбіл. Матеріал з Вікіпедії — вільної енциклопедії. URL: https://fa.wikipedia.org/wiki/چغازنبیل (дата звернення 07.02.2025)

8. www.karnaval.ir. Веб-сайт архітектурної освіти. URL: https://www.karnaval.ir/things-to-do/chogha-zanbil-shush (дата звернення 08.02.2025)

9. www.karnaval.ir. Веб-сайт архітектурної освіти. URL: https://abin.ir/mag/article/ چغازنبیل-کهن-ترین-تصفیه-خانه-آب-در-دنیا (дата звернення 09.02.2025)

10. vista.ir. Веб-сайт новин. URL: https://vista.ir/m/a/jug0x/-فریده-موسوی-منبع-روزنامه حمایت (дата звернення 10.02.2025)

11. Інформація про історичну забудову Персеполь. Матеріал з Вікіпедії — вільної енциклопедії. URL: https://fa.wikipedia.org/wiki/تخت_جمشید (дата звернення 11.02.2025) www.fa.nody.ir Веб-сайт архітектурної освіти. URL: https:// fa.nody.ir/عکس-های-تخت-جمشید/ (дата звернення 12.02.2025)

12. Джодакі Азізі Асадолла, Мусаві Хаджі Сейєд Расул. Роздуми про значення та функцію слова «Ападана» в збірках Ахеменідів про Персеполь і Сузи. Академічний дослідницький журнал, Публікації: Університет Шахіда Бехешті. факультет архітектури та міського планування. Журнал міського планування та архітектури, 2021. 118 с. URL: https://soffeh.sbu.ac.ir/article_100317.html (дата звернення 13.02.2025)

13. www.radiofarhang.ir. Веб-сайт новин. URL: http://radiofarhang.ir/NewsDetails/?m=060001&n=298102 (дата звернення 14.02.2025)

14. Інформація про школу Аль-Раха. Матеріал з Вікіпедії — вільної енциклопедії. URL: https://ar.wikipedia.org/wiki/مدرسة_الرها (дата звернення 14.02.2025)

15. Інформація про школу Нусайбін. Матеріал з Вікіпедії — вільної енциклопедії. URL: https://www.wikiwand.com/ar/articles/نصيبين (дата звернення 14.02.2025)

16. Інформація про школу Нусайбін. Матеріал з facebook. URL: https://www.facebook.com/OurSyriacChurch/posts/1001250310011687/?locale=ar_AR

17. Інформація про Храми вогню сасанідського періоду. Матеріал з Вікіпедії — вільної енциклопедії. URL: https://fa.wikipedia.org/wiki/آتشکدههای_دوره_ساسانی

18. memarifa.ir. Інформація про Храми вогню сасанідського періоду. Веб-сайт архітектурної освіти. URL: https://memarifa.ir/what-is-atashkade/

19. things2.do. Інформація про Храми вогню сасанідського періоду. Веб-сайт Перська культура. URL: https://things2.do/blogs/whats-inside-a-parsi-temple-a-mystery-for-all/

20. Інформація про університет Джундішапур. Матеріал з Вікіпедії — вільної енциклопедії. URL: https://fa.wikipedia.org/wiki/دانشگاه_گندی_شاپور

21. www.kojaro.com. Інформація про університет Джундішапур . Веб-сайт архітектурної освіти. URL: https://www.kojaro.com/attraction/24681-دانشگاه-جندی-شاپور

Ph.D. of Architecture, Associate Professor **Ali Emamianfar**,
Doctor of Sciences of Architecture, Professor **Yuliia Tretiak**,
Candidate of Sciences, Associate Professor **Raddamila Kosarevska**,
Kyiv National University of Construction and Architecture

HISTORICAL EVOLUTION OF ARCHITECTURAL SOLUTIONS OF EDUCATIONAL INSTITUTIONS OF PRE-ISLAMIC IRAN IN THE ASPECT OF MODERN ENERGY EFFICIENCY

This study explores the evolution of energy-efficient architectural solutions in educational institutions of pre-Islamic Iran, emphasizing the role of fire temples, ziggurats, religious schools, and early universities in shaping sustainable architectural practices. The research examines traditional educational spaces in terms of their integration of natural energy sources, such as sunlight, wind, water, and geothermal elements, which contribute to passive heating, natural cooling, and climate-responsive design.

A special focus is placed on educational buildings' spatial organization and natural elements' role in ensuring thermal comfort and environmental sustainability. The architectural characteristics of ziggurats and fire temples are analyzed as early examples of structured learning environments. At the same time, the University of Jundishapur is considered a significant historical case of institutionalized education. The study evaluates the orientation of buildings, construction techniques, use of local materials, and energy-saving principles that were employed in these institutions to enhance their efficiency.

Additionally, the article provides a historical perspective on architectural evolution, demonstrating how sustainable strategies were inherent in ancient Persian architecture. These findings highlight key architectural principles that remain relevant to modern energy-efficient design, offering insights into the integration of traditional ecological methods with contemporary educational architecture.

By bridging historical architectural wisdom with modern design approaches, this study underscores the enduring relevance of passive energy strategies in educational spaces. It suggests that reviving and adapting traditional architectural knowledge can contribute to creating more sustainable and efficient learning environments today.

Keywords: architectural solutions; traditional architecture of Iran; education system; educational spaces; energy efficiency; natural elements; ziggurat; fire temple; school; university.

REFERENCES

1. Kanbaran Abdul Hamid, Hosseinpour Mohammad Amin. A Study of Factors Affecting the Energy Efficiency of Educational Facilities in the Climate of Tehran City. Academic Research Journal: Tarbiat Modares University Publications, 2017. 54 p. URL: https://bsnt.modares.ac.ir/article-2-2728-fa.html/ (accessed 01.02.2025) {in Persian}.

2. Hosseini Moghadam Bahare. Traditional Iranian Architecture. Book: Berga, Tehran, 2013. 44 p. URL: https://www.gisoom.com/book/1849083/-کتاب-معماری-سنتی-ایرانی/ (accessed 02.02.2022) {in Persian}

3. Riszadeh Makhnaza, Mofid Hossein. The Revival of Forgotten Arts. Book: Shapak, Tehran, 2020. 73 p. URL: https://www.gisoom.com/book/11547805/-کتاب-احیای-هنر های-از-یاد-رفته-مبانی-میماری-سنتی-در-یاران-به-روایت-استاد-حسین-لورزاده/ (accessed 03.02.2025) {in Persian}

4. Vaziri Sae ed. Introduction to the Language of Brick and Soil. Book: Nazari, Tehran, 2014. 67 p. URL: https://www.gisoom.com/book/1947303/ -کتاب-آشنایی-با-زبان-خاک-و-خشت-معماری-سنتی-در-ایران/ (accessed 04.02.2025) {in Persian}

5. Abbasi Kharfateh Mohsen, Tabatabai Seyed Mohammad Amin. A Guide to the Preservation of Brick Architecture. Book: Yazd University 2024. 101 p. URL: https://www.gisoom.com/book/44848872/ -کتاب-راهنمای-حفاظت-معماری-خشتی-باتمرکز-بر-شهر-تاریخی-یزد/(accessed 05.02.2025) {in Persian}

6. Mardani Argavan. Traces of Art. Book: Source of Creation, 2021. 111 p. URL: http://gisoom.com/book/11754803/ -کتاب-ردپای-هنر-بررسی-کابلیت-های-هنری-بناهای-میدان-نکش-جهان-اسفهان-و-شیوه-های-إفشان-در-جهت-زیبازی-فزاهای-عمومی-و-مدارس-با-هفد-تقویت-هویت-مل/(accessed on 06.02.2025) {in Persian}

7. Information about the historical building of Chogha Zanbil. Material from Wikipedia - the free encyclopedia. URL: https://fa.wikipedia.org/wiki/ چغازنبیل (accessed on 07.02.2025) {in Persian}

8. www.karnaval.ir. Website of architectural education. URL: https://www.karnaval.ir/things-to-do/chogha-zanbil-shush (accessed 08.02.2025) {in Persian}

9. www.karnaval.ir. Architectural education website. URL: https://abin.ir/mag/article/ چغازنبیل-کهن-ترین-تصفیه-خانه-آب-در-دنیا (accessed 09.02.2025) {in Persian}

10. vista.ir. News website. URL: https://vista.ir/m/a/jug0x/-فریده-موسوی-منبع-روزنامه-حمایت (accessed 10.02.2025) {in Persian}

11. Information about the historical buildings of Persepolis. Material from Wikipedia, the free encyclopedia. URL: https://fa.wikipedia.org/wiki/ تخت_جمشید (accessed 11.02.2025) {in Persian}

12. www.fa.nody.ir Architectural Education Website. URL: https://fa.nody.ir/عکس-های-تخت-جمشید/ (accessed 12.02.2025) {in Persian}

13. Jodaki Aziz Asadollah, Mousavi Haji Seyed Rasul. Reflections on the Meaning and Function of the Word "Apadana" in the Achaemenid Collections of Persepolis and Susa. Academic Research Journal, Publications: Shahid Beheshti University. Faculty of Architecture and Urban Planning. Journal of Urban Planning and Architecture, 2021. 118 p. URL: https://soffeh.sbu.ac.ir/article_100317.html (accessed 13.02.2025) {in Persian}

14. www.radiofarhang.ir. News website. URL: http://radiofarhang.ir/NewsDetails/?m=060001&n=298102 (accessed 14.02.2025) {in Persian}

15. Information about Al-Raha School. Material from Wikipedia, the free encyclopedia. URL: https://ar.wikipedia.org/wiki/ مدرسة_الرها (accessed 14.02.2025) {in Persian}

16. Information about Nusaybin School. Material from Wikipedia, the free encyclopedia. URL: https://www.wikiwand.com/ar/articles/ نسيبين (accessed 14.02.2025) {in Persian}

17. Information about the Nusaybin School. Material from facebook. URL: https://www.facebook.com/OurSyriacChurch/posts/1001250310011687/?locale=ar_AR. {in English}

18. Information about the Sassanid Fire Temples. Material from Wikipedia, the free encyclopedia. URL: https://fa.wikipedia.org/wiki/ اتشکدههای_دوره_ساس. {in Persian}

19. memarifa.ir. Information about the Sassanid Fire Temples. Architectural Education Website. URL: https://memarifa.ir/what-is-atashkade/. {in Persian}

20. things2.do. Information about the Sassanid Fire Temples. Persian Culture Website. URL: https://things2.do/blogs/whats-inside-a-parsi-temple-a-mystery-for-all/. {in English}

21. Information about Jundishapur University. Material from Wikipedia, the free encyclopedia. URL: https://fa.wikipedia.org/wiki/ دانشگاه_گندی_شاپور {in Persian}

22. www.kojaro.com. Information about Jundishapur University. Architectural education website. URL: https://www.kojaro.com/attraction/24681-دانشکاه-جندی-شاپور {in Persian}

DOI: 10.32347/2786-7269.2025.11.89-101
УДК 711.4/712

к.арх., доцент **Зінов'єва О.С.,**
zinovieva.os@knuba.edu.ua, ORCID: 0000-0001-5453-2924,
Чернятевич Н.Г.,
cherniatevych.ng@knuba.edu.ua, ORCID: 0000-0003-0699-677X,
Київський національний університет будівництва і архітектури

УМОВИ ТА ФАКТОРИ ОРАНІЗАЦІЇ АРХІТЕКТУРНО-МІСЬКОГО СЕРЕДОВИЩА ДЛЯ ЗАХИСТУ ВІД ПОВЕНЕЙ ВОДНО-БОЛОТНИХ УГІДЬ

Представлено детальний аналіз факторів і умов, які впливають на проєктування житлових районів у складних середовищах. Визначається п'ять ключових категорій міркувань: захист навколишнього середовища, соціальна динаміка, економічна доцільність, технологічні інновації та практика управління.

Значна увага приділяється інтеграції водно-болотних угідь у міське планування, враховуючи міжнародний досвід та існуючі дослідження. У статті розглядаються різноманітні стратегії захисту від повеней і збереження водно-болотних угідь, включаючи встановлення буферних зон, передових систем управління водними ресурсами та створення екологічних коридорів. Автори виступають за перспективу, яка визнає водно-болотні угіддя не лише як зони збереження, але й як значні компоненти природної інфраструктури, які покращують управління міськими водними ресурсами.

У дослідженні ретельно вивчено наукову літературу, тематичні теоретичні джерела та практичний досвід в архітектурі та містобудуванні. Стаття пропонує системні підходи до зменшення наслідків повеней і територіального розвитку, враховуючи як інноваційні технічні рішення, так і стратегії збереження навколишнього середовища. Автори наголошують на важливості гармонізації екологічних, соціальних та інженерних аспектів у практиці містобудування.

У статті є ретельний розгляд різних умов, необхідних для успішної реалізації проєктів. Це включає в себе вирішення технологічних, екологічних, соціально-культурних, економічних і регулятивних факторів. Підкреслюється важливість балансу між цілями розвитку та охороною навколишнього середовища, пропонуються підходи до створення стійких міських просторів, здатних адаптуватися до мінливих екологічних проблем.

Висновки пропонують для міських планувальників, архітекторів і політиків прагматичне розуміння ситуації, забезпечуючи методологічні

принципи житлової забудови в районах, схильних до повеней. Автори заохочують інтегрувати ці принципи в містобудівні документи та стратегії розвитку вразливих територій.

Ключові слова: *сталий розвиток; поселення, екосистема; архітектурне середовище; міське середовище; повінь, житлова забудова; підтоплення.*

Постановка проблеми. В Україні, як у всьому світі, продовжується процес урбанізації. Одна з ключових екологічних проблем міського середовища- ставлення до ландшафту, як до вільної території, призводить до забудови нових ділянок, включаючи заплави річок та заболочені зони. Раніше це були недоступні місця, але технологічний прогрес дозволяє перетворити їх в придатні для забудови райони. Зменшення територій водно-болотяних угідь мають значний вплив на глобальну проблему зміни клімату та зменшення біологічного різноманіття. Деградація екосистем прибережних територій та міських районів, як наслідок порушення екологічної рівноваги водно-болотяних угідь та глобальної зміни клімату простежується у вигляді конкретних катаклізмів, як, наприклад, збільшення паводків, обміління річок та озер, посухи. З огляду на це, запобігання негативного впливу забудови даних територій та створення стійкого та комфортного середовища для мешканців стають важливими завданнями сучасної архітектурно-містобудівної діяльності.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Дослідження на дану тему проводили такі автори в наступних роботах: В’язовська А.В. «Методичні засади планувальної організації водно-зелених територій міста»; О. О. Михайлик. «Природні фактори впливу на прибережні території»; МакІннес Р. «Розвиток міст, біорізноманіття та управління водно-болотними угіддями: UN-Habitat»; Дональд Л. Тілтон «Інтеграція водно-болотних угідь у проектовані ландшафти»[2, 11, 4, 5].

Мета публікації. Одна з головних цілей сталого розвитку для архітектури та містобудування є забезпечення стійкості міст. Вона може бути досягнута шляхом використання методики, заснованої на основі аналізу наукового та практичний досвіду архітектурно-планувальної організації житлової забудови та стійкого проектування архітектурно- міського середовища на підтоплюваних територіях, та виявлення сучасних тенденцій формування житлової забудови у межах територій паводків.

Природні екосистеми в містах, відіграють ключову роль у регулюванні екологічної складової сталого розвитку, зокрема: фільтрації повітря та води, підтримці мікроклімату та зменшенні викидів та ін.. Врахування кліматичних та ландшафтних трансформацій сприяє покращенню здоров'я мешканців, зменшенню ризику захворювань та підвищенню загального добробуту.

Використання принципу відновлення екосистеми для досягнення максимальних цілей щодо здоров’я, цілісності та благополуччя середовища спирається на ідею відновлення та збереження природних процесів та біорізноманіття, що мають критичне значення для забезпечення здорового та стійкого середовища. [12, 13]

Основна частина. У зв'язку з активними процесами урбанізації, обтяженими військовими подіями останнього часу, певні території можуть стати деградованими або системно обмеженими у своєму розвитку. Проте вони часто мають вже певне сформоване архітектурно-міське середовище та ресурси, що можуть бути використані для трансформації способів їх життєздатності та стимулювання розвитку міст та їх частин.

Заходи для поліпшення інтеграції житлового простору до підтоплюваних територій.

У своєму звіті «Розвиток міст, біорізноманіття та управління водно-болотними угіддями: UN-Habitat» Р. Макіннес дійшов висновку, що проектувальникам слід розглядати підтоплювані території не просто як заповідні зони, що сприяють збереженню біорізноманіття, а як важливу природну інфраструктуру, яка може оптимізувати управління водними ресурсами в міському середовищі (Рис.1) [4]

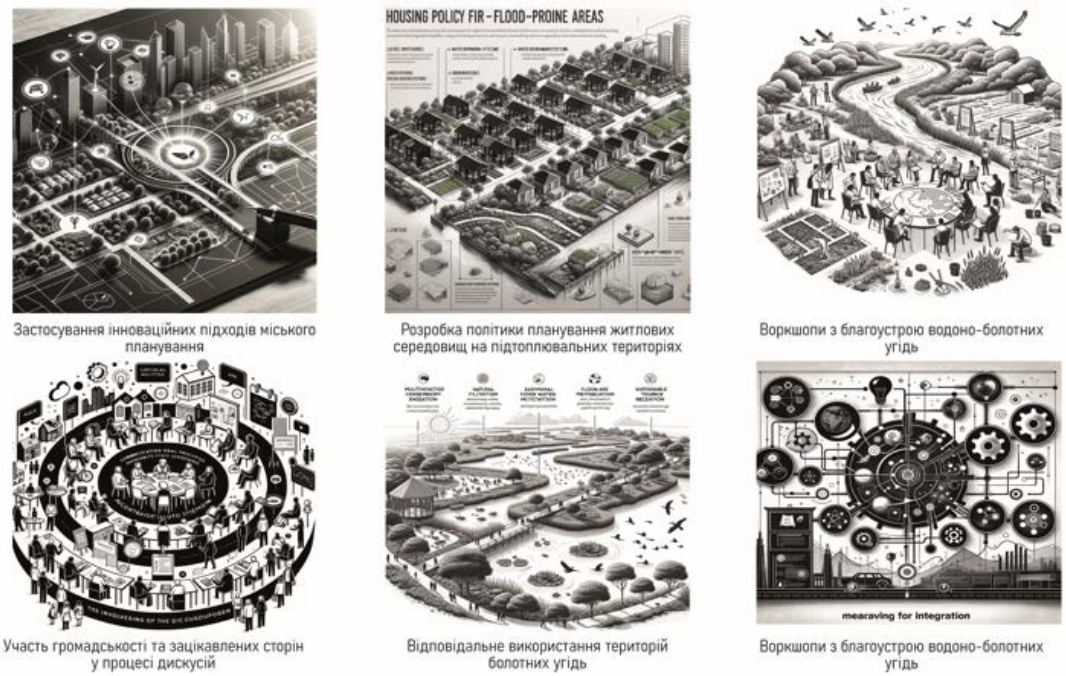


Рис.1. Заходи з поліпшення інтеграції (за Р. Макіннес) [4]

Дональд Л. Тілтон в роботі "Інтеграція водно-болотних угідь у проєктовані ландшафти" розглядає інтеграцію водно-болотних угідь у міську забудову. Це вимагає розуміння екології водно-болотних угідь, а також

розуміння людського сприйняття природного середовища. Автор формує проєктувальні рішення, що матимуть позитивний вплив на проєкт, який поєднує водно-болотні угіддя із громадським ландшафтом та житловою забудовою. До переліку входять такі заходи як: регулювання кількості стічних вод, що надходять до водно-болотного угіддя (до рівня, що існував до початку забудови), збереження або покращення озеленення, створення буферних зон та сполучення окремих водно-болотних угідь у мережу коридорами водно-болотних угідь. (Рис. 2)[5]

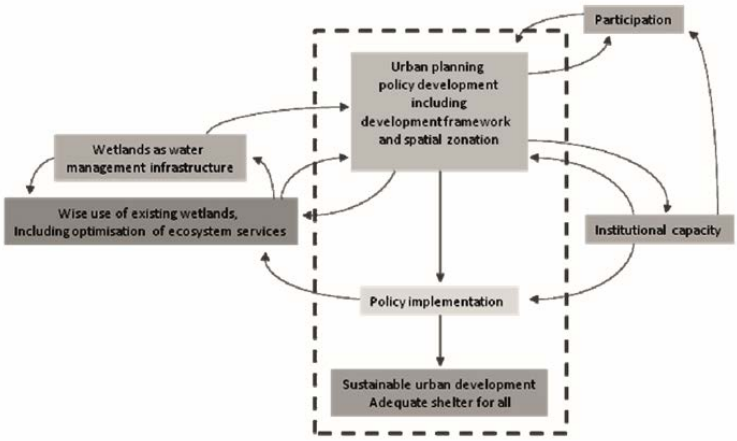


Рис. 2. Заходи з поліпшення інтеграції (за Д. Л. Тілтон) [5]

Принципи організації житлової забудови на підтоплюваних територіях.

У статті "Планування в міських районах, схильних до повеней: Зосередьтеся на шести принципах для зменшення вразливості міст" автором якої є *Anne-Laure Moreau* обговорюються стратегії міського планування в районах, схильних до повеней. Вона наголошує на шести принципах зниження вразливості до повеней, включаючи інтеграцію дамб у міський розвиток, залишення більше місця для води, розподіл землі на основі вразливості до повеней, проєктування стійких будівель, забезпечення функціонування інфраструктури під час повеней та створення розумних укриттів. Ці принципи виведено з аналізу міських проєктів у різних країнах, спрямованих на скерування розвитку міст таким чином, щоб врахувати та пом’якшити ризики повеней [6].

А. В’язовська у своєму дослідженні аналізує науково-практичний досвід та встановлює сучасні тенденції щодо формування міських водно-зелених територій. Також удосконалює існуючі принципи і методи планувальної організації водно-зелених територій міста. Вона підкреслює, що існує необхідність системного дослідження водяно-зелених територій міста, як складного ландшафтного об’єкту, що функціонує на різних територіальних

рівнях, виконує низку містобудівних завдань і функцій – планувальних, соціальних, екологічних та інженерних (Рис. 3) [7]

Рис. 3. Принципи планувальної організації водно-зелених територій у складі житлової забудови (за А. В'язовською) [7]

Причини підтоплень та методи захисту територій від впливу підтоплення.

У документі «Методика оцінки змін стану та прийняття рішень для захисту території від підтоплення та затоплення», автором якого є Шевчук С. А., представлено методику ефективного моніторингу виникнення підтоплення та затоплення поверхневих вод, оцінки зміни еколого-меліоративного стану території, оцінки ефективності осушувальних систем, обґрунтування рішень щодо проведення відповідних інженерно-технічних, організаційних, технологічних заходів, та економічні розрахунки ефективності цих заходів. Методика спрямована на отримання достовірної інформації про стан та розвиток затоплення для оперативного реагування та проведення невідкладних робіт з його ліквідації, запобігання, таким чином, надзвичайним ситуаціям та зменшення шкідливої дії води (Рис. 4) [8].

З огляду на висновки, які зробили в свої роботах вищезазначені автори можна зазначити, що в про процесі проєктування житла на підтоплюваних

територіях особливу увагу слід приділити врахуванню конкретних факторів і умов, які забезпечують стійкість та ефективність таких проектів. Фактори та умови в даному контексті відіграють різні ролі: фактори є стимулами до змін, причинами адаптації проєктних рішень, тоді, як умови представляють собою обставини, які необхідно враховувати при проєктуванні.

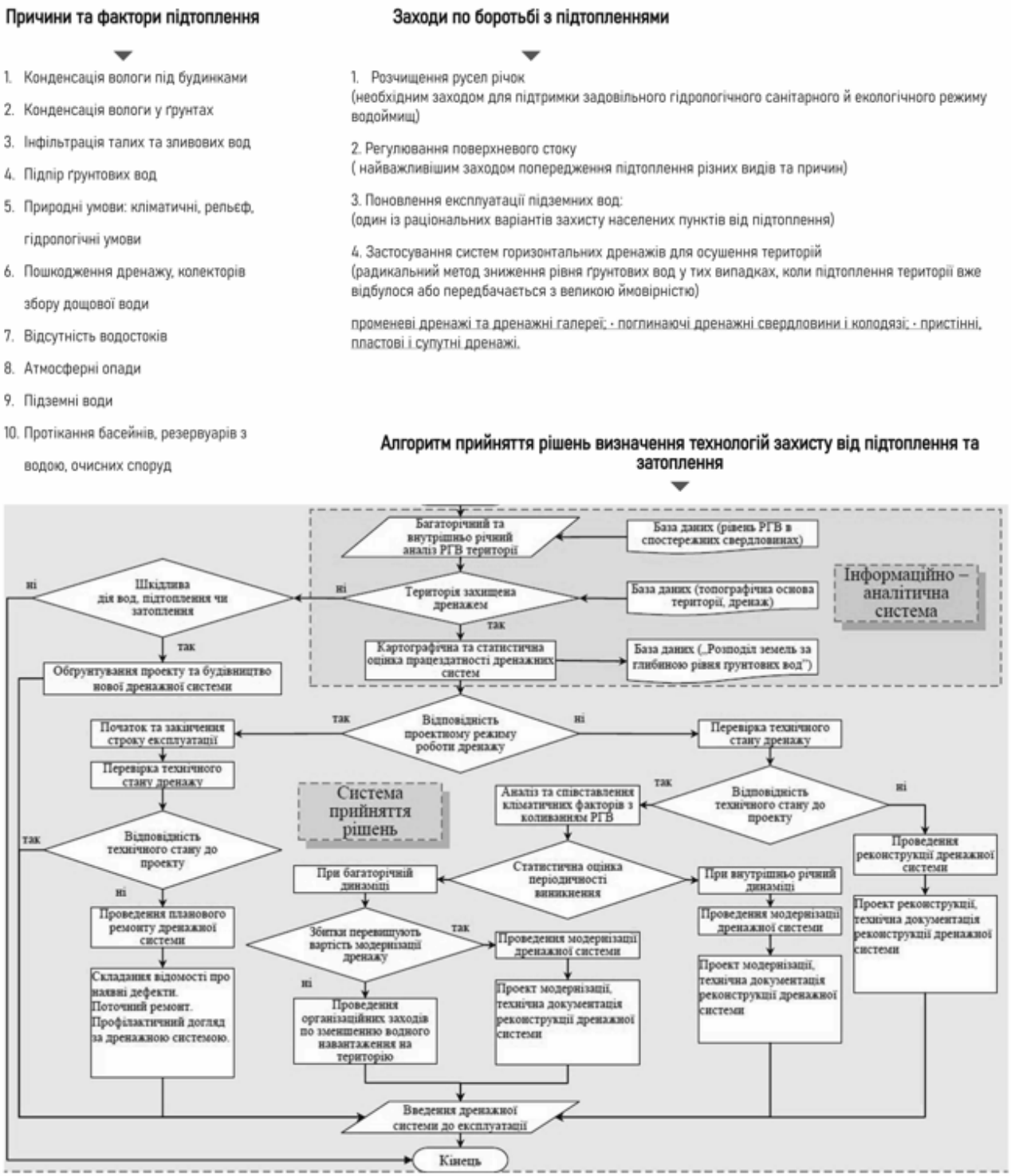


Рис. 4. Систематизація та захист від підтоплень (за С.А. Шевчук) [8]

Можна виділити п'ять основних груп факторів, що впливають на проектування житлових зон на підтоплюваних територіях:

1. Природоохоронні фактори: включають зміну кліматичних умов, збільшення частоти та інтенсивності підтоплень, значення болотних угідь. Ця група підкреслює необхідність врахування змін водного режиму, забезпечення біорізноманіття та мінімізації впливу на природне середовище.

2. Соціальні фактори: охоплюють динаміку населення, міграційні потоки, демографічні зрушення, соціальну інтеграцію. Важливість цієї групи полягає в створенні безпечних, здорових та інклюзивних просторів, що сприяють формуванню спільноти.

3. Економічні фактори: включають вартість реалізації проєкту, економічну вигоду та ефективність інвестицій. Зосередження на цих аспектах допомагає забезпечити економічну стійкість проєкту.

4. Технологічні фактори: відображають роль інновацій, сучасних матеріалів та методів будівництва. Ця група спрямована на підвищення ефективності та адаптивності житлових зон до підтоплень.

5. Управлінські фактори: стосуються планування, координації проєкту, управління ризиками. Важливість цієї групи полягає в забезпеченні гнучкості та відповідності проєкту змінним умовам.

Для ефективного проектування необхідно врахувати наступні умови:

1. Технологічні умови: включають матеріально-технічне забезпечення, технологій будівництва та інфраструктурних рішень; необхідність враховувати можливості локального виробництва та місцеві особливості.

2. Екологічні умови: охоплюють характеристики ландшафту, водного режиму та природні особливості. Умови навколишнього середовища вимагають ретельного аналізу для забезпечення сталості проєкту.

3. Соціально-культурні умови: відображають специфіку громади, традиції, культурні цінності. Ці умови важливі для забезпечення соціальної прийнятності та інтеграції проєкту в соціальне середовище.

4. Економічні умови: включають бюджет проєкту, доступність фінансування, економічний контекст регіону. Економічні умови визначають можливості проєкту та його фінансову стійкість.

5. Правові та регуляторні умови: включають законодавчу базу, стандарти, нормативи. Врахування цих умов є обов'язковим для забезпечення легальності та відповідності проєкту вимогам.

Висновки. Аналіз процесів підтоплення, значення водно-болотних угідь для екосистеми та містобудівні стратегії підкреслюють необхідність інтеграції екологічних, соціальних та інженерних аспектів у планування. Необхідно проводити вдосконалення методів захисту міських територій, використання

водно-болотних угідь як природної інфраструктури, а також розробку стійких до повені проєктів. Зазначені умови та фактори дозволять виявити принципи та сформувати методи для створення стійкого, безпечного і комфортного архітектурно-міського середовища, адаптованого до трансформованих умов навколишнього середовища та сприяють довгостроковій життєздатності урбанізованих територій.

Врахування природних умов, гідрологічних характеристик, соціальних потреб, економічних ресурсів, сучасних будівельних технологій та ефективного управління є основою для забезпечення стійкості забудови. Дотримання правових та регуляторних вимог, а також інтеграція екологічних, соціально-культурних і економічних аспектів у проєктні рішення дозволяють створювати безпечні та комфортні житлові простори, здатні адаптуватися до змінних умов навколишнього середовища, що є запорукою успішної реалізації житлових зон на підтоплюваних територіях. Результати впровадження майбутньої методики, сформованої на аналізі досвіду проєктування поселень на підтоплюваних територіях мають потенціал для застосування в подальших дослідженнях, в проєктній діяльності, в академічній підготовці майбутніх архітекторів і магістрів у вищих навчальних закладах. Методичні рекомендації для планування житлової забудови на території підтоплюваних територій можуть бути впроваджені в містобудівні документи, такі як генеральні плани міст і програми розвитку підтоплюваних територій.

Список використаних джерел

1. Про схвалення Стратегії відновлення, сталого розвитку та цифрової трансформації малого і середнього підприємництва на період до 2027 року та затвердження операційного плану заходів з її реалізації у 2024-2027 роках. Офіційний вебпортал парламенту України. URL: https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/821-2024-p#Text. (дата звернення: 10.01.2025).

2. Михайлик О.О. Природні фактори впливу на прибережні території / О.О. Михайлик // Сучасні проблеми архітектури та містобудування. - 2015. - Вип. 39. - С. 224-231. - Режим доступу: http://nbuv.gov.ua/UJRN/Spam_2015_39_33. (дата звернення 10.11.2024).

3. Баїк О.І., Баїк М.Р. Про водно-болотні угіддя міжнародного значення та їх закріплення в містобудівній документації / О.І. Баїк, М.Р. Баїк // Національний університет "Львівська політехніка". – Львів, 2021. – С. 254-257.

4. McInnes, R. (2010). Urban Development, Biodiversity, and Wetland Management: Expert Workshop Report. Naivasha, Kenya: Bioscan (UK) Ltd., January 2010 Режим доступу:

https://staging.unhabitat.org/downloads/docs/ExpertWorkshopWetlands.pdf. (дата звернення 10.12.2024).

5. Donald L. Tilton, Integrating wetlands into planned landscapes, Landscape and Urban Planning, Volume 32, Issue 3, 1995, Pages 205-209 Режим доступу: https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/016920469507001B. (дата звернення 9.11.2024).

6. Anne-Laure Moreau. Planning in urban flood-prone areas: Focus on six principles to reduce urban vulnerability E3S Web Conf., 7 (2016) 13011 DOI: https://doi.org/10.1051/e3sconf/20160713011.

7. В'язовська А.В. Методичні засади планувальної організації водно-зелених територій міста: автореф. дис. ... канд. арх.: 18.00.04. Київ, 2019. 20 с.

8. Шевчук С. Методика оцінки зміни стану та прийняття рішень для захисту територій від підтоплення та затоплення 2010 Режим доступу https://www.researchgate.net/publication/342443618_metodika_ocinki_zmini_stanu_ta_prijnatta_risen_dla_zahistu_teritorij_vid_pidtoplenna_ta_zatoplenna (дата звернення 10.11.2024).

9. Piątek, Łukasz & Wojnowska-Heciak, Magda. (2020). Multicase Study Comparison of Different Types of Flood-Resilient Buildings (Elevated, Amphibious, and Floating) at the Vistula River in Warsaw, Poland. Sustainability. https://doi.org/10.3390/su12229725.

10. Буравченко С.Г. Визначення та ієрархія об'єктів архітектури засновані на сценарних методах проєктування. Сучасні проблеми архітектури та містобудування. К.: КНУБА, 2022. Вип. 64. С.14–30. https://doi.org/10.32347/2077-3455.2022.64.14-30.

11. Ecosystem Assessment. 2005. Ecosystem and Human Well-being: Synthesis. Island Press, Washington, DC. [електронний ресурс]. – Режим доступу: - http://www.maweb.org/documents/document.791.aspx.pd. (дата звернення 9.11.2024).

12. Урбаністика: Навч. посібник/ О.С. Безлюбченко, О.В. Завальний. – Харків: ХДАМГ, 2003.- 254 с.

13. What is a Sustainable Community? [Електронний ресурс]/The President's Councilon Sustainable Development published ISC's Elements of a Sustainable Community in its 1997 Sustainable Communities Task Force Report.Режим доступу:https://sustain.org. (дата звернення 2.12.2024).

14. FAO Knowledge Repository. URL: https://openknowledge.fao.org/server/api/core/bitstreams/90ed5439-59f7-4e7c-8a46-17059065aadb/content (дата звернення: 10.01.2025).

15. UN Decade on Restoration. UN Decade on Restoration. URL: https://www.decadeonrestoration.org/ (дата звернення: 10.01.2025).

16. Olena Zinovieva. Sustainable development and comparison of the indicator system in Ukraine. Містобудування: проблеми і перспективи розвитку: тези доповідей II науково-практичної конференції (Київ, 25 березня 2020 р.). – Київ: КНУБА, 2020. – С. 68.

17. Шрамко С.В., Зінов'єва О.С. Принципи відновлення міської прибережної екосистеми на прикладі м. Ірпінь/ Матеріали VIII міжнародної науково-практичної конференції здобувачів вищої освіти і молодих учених. Перспективи розвитку територій: теорія і практика. Поствоєнне відновлення. Харків 2024.
/http://repositsc.nuczu.edu.ua/bitstream/123456789/23799/1/Zbirnik%20tez%202024%20rik%202003.pdf#page=172.

18. Чернятевич Н.Г. Понтонні поселення як засіб відновлення екологічної рівноваги водосховищ/ Сучасні проблеми архітектури та містобудування. Випуск 60.2021 - С. 142-151 DOI: https://doi.org/10.32347/2077-3455.2021.60.

19. Чернятевич Н.Г. Вплив природнього середовища на формування понтонних поселень в акваторії водосховищ України. Сучасні проблеми архітектури та містобудування. Випуск 54 2019 - С. 341- 351.

20. Чернятевич Н.Г. Вплив економічних факторів на формування понтонних поселень в акваторії водосховищ/The 5th International scientific and practical conference “Global science: prospects and innovations” (December 28-30, 2023) Cognum Publishing House, Liverpool, United Kingdom. 2023. 1042 p. С. 345-348.

Ph.D., Associate Professor **Olena Zinovieva,**
Senior Lecturer **Nataliia Cherniatevych,**
Kyiv National University of Construction and Architecture

CONDITIONS AND FACTORS OF ARCHITECTURAL AND URBAN ENVIRONMENT ORGANIZATION FOR FLOOD PROTECTION OF WETLANDS

The authors present a nuanced analysis of the various factors and conditions that influence the design of residential areas in these sensitive environments. They identify five key categories of considerations: environmental protection, social dynamics, economic feasibility, technological innovations, and management practices. Each category is examined in detail to appreciate its role in fostering sustainable urban development.

Significant emphasis is placed on integrating wetlands into urban planning, drawing insights from international experiences and existing research. The article discusses diverse strategies for flood protection and wetland conservation, including establishing buffer zones, advanced water management systems, and creating ecological corridors. The authors advocate for a perspective that recognizes wetlands not solely as conservation zones but as critical components of natural infrastructure that enhance urban water resource management.

The research methodology thoroughly examines scientific literature, case studies, and practical experiences in architecture and urban planning. The study puts forth systematic approaches to flood mitigation and territorial development, considering both innovative technical solutions and strategies for environmental preservation. The authors emphasize the significance of harmonizing ecological, social, and engineering aspects in urban planning practices.

A notable contribution of this article is its careful consideration of the various conditions required to successfully implement projects. This includes addressing technological, ecological, socio-cultural, economic, and regulatory factors. The research underscores the importance of striving for a balance between development goals and environmental stewardship, suggesting approaches for creating resilient urban spaces capable of adapting to evolving environmental challenges.

The conclusions offer pragmatic insights for urban planners, architects, and policymakers, providing methodological principles for residential development in flood-prone areas. The authors encourage the integration of these principles into urban planning documents and development strategies for vulnerable territories. The research has potential practical applications in project initiatives, academic curricula, and future urban development and environmental conservation studies.

Keywords: sustainable development; settlement; ecosystem; architectural environment; urban environment; flood, residential development; flooding

REFERENCES

1. Pro skhvalennia Stratehii vidnovlennia, staloho rozvytku ta tsyfrovoi transformatsii maloho i serednoho pidpryiemnytstva na period do 2027 roku ta zatverdzhennia operatsiinoho planu zakhodiv z yii realizatsii u 2024-2027 rokakh. Ofitsiinyi vebportal parlamentu Ukrainy. URL: https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/821-2024-r#Text. (data zvernennia: 10.01.2025) {in Ukrainian}

2. Mykhailyk O.O. Pryrodni faktory vplyvu na pryberezhni terytorii / O. O. Mykhailyk // Suchasni problemy arkhitektury ta mistobuduvannia. - 2015. - Vyp. 39. - S. 224-231. - Rezhym dostupu: http://nbuv.gov.ua/UJRN/Spam_2015_39_33. (data zvernennia 10.11.2024) {in Ukrainian}

3. Baik O.I., Baik M.R. Pro vodno-bolotni uhiddia mizhnarodnoho znachennia ta yikh zakriplennia v mistobudivnii dokumentatsii / O.I. Baik, M.R. Baik // Natsionalnyi universytet "Lvivska politekhnika". – Lviv, 2021. – S. 254-257. {in Ukrainian}

4. McInnes, R. (2010). Urban Development, Biodiversity, and Wetland Management: Expert Workshop Report. Naivasha, Kenya: Bioscan (UK) Ltd., January 2010 Rezhym dostupu: https://staging.unhabitat.org/downloads/docs/ExpertWorkshopWetlands.pdf (data zvernennia 10.12.2024) {in English}

5. Donald L. Tilton, Integrating wetlands into planned landscapes, Landscape and Urban Planning, Volume 32, Issue 3, 1995, Pages 205-209 Rezhym dostupu: https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/016920469507001B (data zvernennia 9.11.2024). {in English}

6. Anne-Laure Moreau. Planning in urban flood prone areas: Focus on six principles to reduce urban vulnerability E3S Web Conf., 7 (2016) 13011 DOI: https://doi.org/10.1051/e3sconf/20160713011. {in English}

7. Viazovska A.V. Metodychni zasady planuvalnoi orhanizatsii vodno-zelenykh terytorii mista: avtoref. dys. ... kand. arkh.: 18.00.04. Kyiv, 2019. 20 s. {in Ukrainian}

8. Shevchuk S. Metodyka otsinky zminy stanu ta pryiniattia rishen dlia zakhystu terytorii vid pidtoplennia ta zatoplennia 2010 Rezhym dostupu https://www.researchgate.net/publication/342443618_metodika_ocinki_zmini_stanu_ta_prijnatta_risen_dla_zahistu_teritorij_vid_pidtoplenna_ta_zatoplenna. (data zvernennia 10.11.2024) {in Ukrainian}

9. Piątek, Łukasz & Wojnowska-Heciak, Magda. (2020). Multicase Study Comparison of Different Types of Flood-Resilient Buildings (Elevated, Amphibious, and Floating) at the Vistula River in Warsaw, Poland. Sustainability. https://doi.org/10.3390/su12229725. {in English}

10. Buravchenko S.H. Vyznachennia ta iierarkhiia obiektiv arkhitektury zasnovani na stsenarnykh metodakh proiektuvannia. Suchasni problemy arkhitektury ta mistobuduvannia. K.: KNUBA, 2022. Vyp. 64. S. 14–30. https://doi.org/10.32347/2077-3455.2022.64.14-30. {in Ukrainian}

11. Ecosystem Assessment. 2005. Ecosystem and Human Well-being:Synthesis. Island Press, Washington, DC. [електронний ресурс].- Rezhym dostupu: - http://www.maweb.org/documents/document.791.aspx.pd. (data zvernennia 9.11.2024) {in English}

12. Urbanistyka: Navch. posibnyk/ O.S. Bezliubchenko, O.V. Zavalnyi. – Kharkiv: KhDAMH, 2003.- 254 s. {in Ukrainian}

13. Whatis a Sustainable Community? [Elektronnyi resurs]/The Presidents Councilon Sustainable Development published ISCs Elements of a Sustainable Community in its 1997 Sustainable Communities Task Force Report.Rezhym dostupu:https://sustain.org. (data zvernennia 2.12.2024) {in English}

14. FAO Knowledge Repository. URL: https://openknowledge.fao.org/server/api/core/bitstreams/90ed5439-59f7-4e7c-8a46-17059065aadb/content (data zvernennia: 10.01.2025) {in English}

15. UN Decade on Restoration. UN Decade on Restoration. URL: https://www.decadeonrestoration.org/. (дата звернення: 10.01.2025). {in English}

16. Olena Zinovieva. Sustainable development and comparison of the indicator system in Ukraine Mistobuduvannia: problemy i perspektyvy rozvytku: tezy dopovidei II naukovo-praktychnoi konferentsii (Kyiv, 25 bereznia 2020 r.). – Kyiv: KNUBA, 2020. – s. 68. {in English}

17. S.V. Shramko, O.S. Zinovieva Pryntsypy vidnovlennia miskoi pryberezhnoi ekosystemy na prykladi m.Irpin/ Materialy VIII mizhnarodnoi naukovo-praktychnoi konferentsii zdobuvachiv vyshchoi osvity i molodykh uchenykh. Perspektyvy rozvytku terytorii: teoriia i praktyka. Postvoienne vidnovlennia. Kharkiv 2024 /http://repositsc.nuczu.edu.ua/bitstream/123456789/23799/1/Zbirnik%20tez%202024%20rik%202003.pdf#page=172. {in Ukrainian}

18. Cherniatevych N.H. Pontonni poselennia yak zasib vidnovlennia ekolohichnoi rivnovahy vodoskhovyshch/ Suchasni problemy arkhitektury ta mistobuduvannia. Vypusk 60.2021 - S. 142-151 DOI: https://doi.org/10.32347/2077-3455.2021.60. {in Ukrainian}

19. Cherniatevych N.H. Vplyv pryrodnoho seredovyshcha na formuvannia pontonnykh poselen v akvatorii vodoskhovyshch Ukrainy. Suchasni problemy arkhitektury ta mistobuduvannia. Vypusk 54 2019 - S. 341- 351.{in Ukrainian}

20. Cherniatevych N.H. Vplyv ekonomichnykh faktoriv na formuvannia pontonnykh poselen v akvatorii vodoskhovyshch/The 5th International scientific and practical conference “Global science: prospects and innovations” (December 28-30, 2023) Cognum Publishing House, Liverpool, United Kingdom. 2023. 1042 p. St. 345-348. {in Ukrainian}

DOI: 10.32347/2786-7269.2025.11.102-114
УДК 72.01:271.2-74

Ключнікова А.М.,
anastasiaurakina@gmail.com, ORCID: 0000-0001-8057-1310,
Білоус П.К.,
Architectpavel@gmail.com, ORCID: 0009-0008-1468-8885,
Київський національний університет будівництва і архітектури

ОСОБЛИВОСТІ ПРАВОСЛАВНОЇ ЦЕРКВИ СЕРЕДНЬОГО ПОДНІПРОВ'Я ЯК ВИРАЗНИКИ НАЦІОНАЛЬНОЇ ІДЕНТИЧНОСТІ

Визначено характерні особливості православних храмів Середнього Подніпров'я доби «козацького бароко» як виразників національної ідентичності. Зазначено, що на відміну від Чернігівщини, Полтавщини і Слобожанщини Середнє Подніпров'я постійно переживало збройні конфлікти, що спричиняло хвилі переселень. Саме тому на цій території однаково поширились різні композиційні схеми церков. Водночас домінував тип триверхої церкви як символу Божественної Трійці. Православна церква Середнього Подніпров'я втілила в собі ті ознаки, які трактуються як виразники української культури і національно стильової архітектури: це баштоподібний тип композиції, коли кожний об'єм має власне завершення у вигляді бані і відкритий в інтер'єрі до зеніту бані, грушовидні куполи з перехватом-«ковніром», традиційна поліхромія (куполи золоті, зелені, сині з золотими зірками, стіни білі з білим декором, зрідка блакитні з білим декором), наявність стінописів в інтер'єрах, багатоярусні різьблені іконостаси, народно стильовий декор переважно фітоморфного характеру (рідше тератологічний), архітектурний декор у вигляді ордерів, розвинутих розкріпованих карнизів великого виносу.

Ключові слова: особливості; православна церква; Середнє Подніпров'я; національна ідентичність; виразники.

Вступ.

Повномасштабна війна з Росією загострила ті проблеми ствердження національної української ідентичності, які існували з 1654 року, періодично затихаючи чи загострюючись. Особливо з часів правління Катерини ІІ починається системне викорінення всього українського, яке трактувалось як «малоросійське». Ця політика тривала і при наступних російських імператорах і всіляко заперечувала будь-які прояви української культури. Якщо проаналізувати ситуацію в православному будівництві, то останнім стилем архітектури і мистецтва з національними проявами став стиль бароко, особливо

на його високій стадії, оскільки на етапі пізнього бароко відбувається різка зміна вектору стильових уподобань в бік класицизму, а згодом ампіру. Забороною Синоду 1801 року був остаточно перерваний процес становлення національної школи православного будівництва, були розроблені альбоми типових двоглавих церков, а для індивідуальних проектів вимагалась віза самого імператора. Включно до другої половини XIX століття і цивільна архітектура також залежала від типових «зразкових проектів», а індивідуальні проекти затверджувались багатьма інстанціями, а наприкінці імператором.

Починаючи з другої половини XIX століття функцію узгодження проектів перебирають на себе міські управи, що означало початок відходу від однотипності забудови. Втім, це не сприяло проявам національних ознак. Нові церкви зводились в псевдовізантійському, псевдоруському або руско-візантійському стилях.

Зростання інтересу до національної культури розпочалось лише наприкінці XIX століття і активізувалось в першому десятилітті XX століття, причому основний поштовх цим процесам надала Полтавщина.

Роки радянської влади також призвели до втрат національної архітектури, передусім церковної. По всій території Радянської України в містах і селах були знищені сотні мурованих і дерев'яних храмів, а ті, що залишилися, були перетворені на музеї атеїстичної пропаганди, клуби та комори. Значна кількість храмів була втрачена в роки Другої світової війни та в післявоєнний період.

Фактично, відродження національної культури і архітектури розпочалося зі здобуттям незалежності, однак і досі цей процес свідомо гальмується тією частиною духовенства, яка визнає тільки руско-візантійський стиль церковної архітектури.

Сьогодні на тлі тих процесів в Україні, свідками яких ми є, важливою складовою становлення нації стає запровадження української культури в різних її проявах – в мові, в творчості, в побуті, в національній церкві.

І тут ми підходимо до проблемного аспекту. Якою візуально має стати сучасна українська церква? Спадкоємність розвитку православного будівництва Київської Русі була перервана татаро-монгольською навалою 1240 року, тому православне будівництво доби козацького бароко в основному засновувалось на зовсім інших традиціях, передусім на традиціях дерев'яної архітектури і на народному мистецтві. В свою чергу, і ці традиції були перервані насильницькою забороною будівництва церков в українському стилі. Далі були два століття будівництва церков в стилі класицизму, ампіру, руско-візантійському чи псевдоруському. І досі значна частина духовенства намагається будувати нові церкви в тих самих традиціях.

На наш погляд, незалежна держава повинна мати церкви, де відчуваються національні традиції, можливо, в модернізованих формах і в сучасних матеріалах. Нам можуть дорікнути: наприклад, в сусідній Польщі сучасні костьоли зведені в модернізованих формах без національних ознак. Але в Польщі не було такого системного знищення об'єктів-виразників національної ідентичності, як це було в Україні. На даному етапі для згрунтування, об'єднання суспільства Україна потребує архітектурних форм, які асоціюються з Україною.

Завдання дослідження полягали в наступному:

- на прикладі київської школи козацького бароко проаналізувати набір національних ознак, втілених в архітектурі православних храмів;

- визначити, які з цих ознак можуть бути використані для створення сучасної української школи православного будівництва.

Для вирішення завдань дослідження була опрацьована відповідна джерельна база:

- видання, присвячені загальним реставраційним аспектам – публікації S. Baiandin et al. [1], M. Dyomin, Y. Ivashko [2], Y. Ivashko et al. [3], M. Orlenko, Y. Ivashko [12], M. Orlenko et al. [13-15];

- видання, присвячені видатним храмам – публікації М.Орленко [4-11], реставраційні звіті [16-19], Сіткарьової О.В. [20].

Основна частина.

Характерні ознаки храмів Києва доби козацького бароко – виразники національної ідентичності

Період бароко поділяється на такі три періоди (Рис.1):

- раннє бароко (1648-1680) - характеризується перехідним характером, який поєднує риси Ренесансу і бароко в одних об'єктах;

- високе бароко (1680-1740) - це період максимального вираження ознак стилю зі складними архітектурними формами, поширення грушоподібних куполів з перехватом-«ковніром» і складне декорування;

- пізнє бароко (1740-ві – кінець 1770-х) - відзначається поступовим зменшенням характерних ознак бароко та переходом до класицизму, півциркульні куполи без перехвату, симетричну композицію, відсутність декору, стриманість та рустований нижній поверх.

Всі періоди відзначаються притаманними їм архітектурними рисами та типовими схемами храмів. Період бароко характеризується більшою різноманітністю композицій храмів та їх планувальною структурою порівняно з давньоруським періодом.

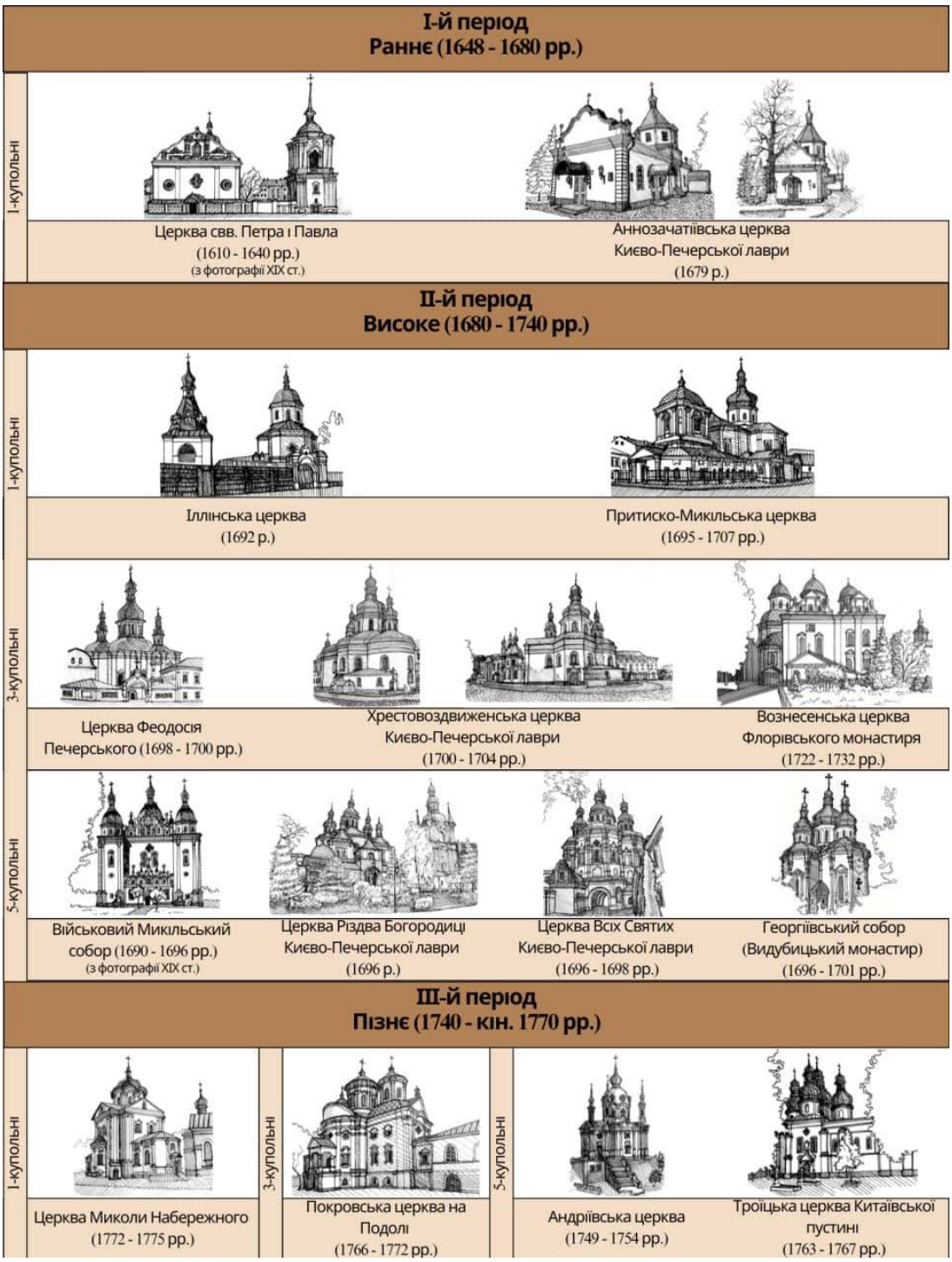


Рис.1. Церкви Києва трьох періодів бароко. Схема А. Ключнікової

В типах планів церков Києва доби бароко немає одного домінуючого типу плану. Так само немає домінуючої кількості ознак європейського бароко в великій кількості храмів, кількість таких визначальних ознак за класифікатором варіюється. Водночас можна встановити, що більша кількість ознак, притаманних об'єктам західноєвропейського бароко, відмічена в церквах Києва в 1685-1729 роках, причому в основному це перебудовані давньоруські храми або перебудовані католицькі храми.

Порівняння кількості ознак візантійської архітектури в храмах Києва давньоруської доби і ознак європейського бароко в храмах українського бароко доводить, що в давньоруському періоді загалом зберігалася візантійська архітектурна традиція, прояви регіональної своєрідності спостерігаються на другому і третьому періодах, в основному в конструктивних схемах і типах мурування, натомість в період Гетьманату стиль українського бароко хоча і перейняв частину ознак європейського католицького бароко, однак більшою мірою засновувався на національних традиціях і дерев'яній церковній архітектурі. Відповідно, можна стверджувати, що стильовою основою для давньоруської архітектури на всіх трьох періодах була візантійська архітектура, натомість такою стильовою основою для архітектури українського бароко була дерев'яна архітектура, модифікована під впливом європейського бароко.

Отже, прояви регіональної своєрідності, коли кожна школа на території Гетьманату відрізнялася специфічними особливостями церков, вираженими в об'ємно-просторовій композиції і розпланування, спостерігалися саме в період українського бароко.

Для київської школи бароко ця регіональна особливість полягала в відсутності домінуючого типу планування і кількості ознак європейського бароко.

Оскільки, як доведено за класифікатором, лише незначна кількість київських церков мала більшу кількість ознак європейського бароко, це засвідчує, що стиль, який поширено називають українським бароко, не був провінційною версією європейського бароко і відзначався своєрідністю.

Характеристика київської школи бароко свідчить про наступне:

- при загальному впливі традицій європейського бароко кількість запозичених ознак була від середньої до незначної, що доводить факт своєрідності українського бароко як окремого явища;

- найбільша кількість ознак за класифікатором європейського бароко зафіксована в перебудованих давньоруських соборах і в колишніх уніатських храмах;

- в Києві були досить поширені приклади церков бароко з мінімальною кількістю характерних ознак європейського бароко.

Окремо проаналізовано композицію храмів Києва трьох періодів бароко:

- на ранньому періоді храми виглядають більш монументальними через обмеженість зовнішнього декорування фасадів;

- на високому періоді подекуди спостерігається надмірне декорування площин стін дрібномасштабним декором, через що храми здаються більш витонченими, але менш монументальними (цьому враженню сприяє плавна грушоподібна форма куполів різного розміру);

- на пізньому періоді зменшується кількість зовнішнього декору, а класичний ордер і рустовка нижнього поверху знов створюють ефект монументальності (це враження строгості додатково підсилює півциркульна форма куполів).

Від першого до третього періоду бароко кут при вершині зменшився в окремих випадках вдвічі.

Так само було досліджено зміну співвідношення ширини західного фасаду до висоти київських перебудованих барокових церков.

Серед мурованих храмів Києва доби бароко виділяються три основні групи:

- похідні від європейського бароко;
- похідні від давньоруської архітектури (в плануванні) з елементами бароко;
- похідні від зрубного дерев'яного будівництва з модифікацією під мурована архітектуру.

На ранньому етапі бароко в Києві поширені трьохкамерні, хрещаті, трьохнавні церкви та церкви змішаного типу з додатковими спорудами. На пізньому етапі розвитку стали більш поширеними трьохнавні храми і храми з планами змішаного типу з додатковими спорудами.

Поряд з новим типом хрещатої церкви з планом у вигляді рівнораменного грецького хреста виникає і набуває поширення на Наддніпрянщині та Лівобережжі під час Гетьманщини тип триконхової церкви, де розміри бічних екседр варіювалися.

Важливим чинником впливу була уніфікація форми. Тобто для Київської Русі це півциркульна яйцеподібна форма, яка тиражувалась в різних церквах, а для періоду бароко – це грушовидна форма з перехватом-«ковніром». Втім, якщо зміни в куполах часів Київської Русі стосувались передусім зменшення їх кількості і вертикалізму пропорцій, то в часи бароко можна говорити про більш помітний процес еволюції форми куполу від півциркульного ренесансного через місцевий грушоподібний тип з перехватом до класицизованої стриманої півциркульної правильної форми.

Висновки.

Було визначено такі ознаки мурованого церковного будівництва, спільні для Києва, Середньої Наддніпрянщини і Лівобережжя під управлінням Гетьманату:

- симетричність об'ємно-просторової композиції;
- масштабність і монументальність;
- врівноважених складових частин цілісного об'єму;

- активний силует за рахунок баштової композиції, ярусних верхів, фронтонів і розкріпованих карнизів великого виносу (Рис.2);

- спільний з дерев'яним будівництвом прийом церкви з кількох окремих об'ємів, кожен з яких увінчаний ступінчастим ярусним верхом;

- розкритість внутрішнього простору до зеніту бані.

Рис.2. Відтворена за архівними матеріалами дзвініця Михайлівського Золотоверхого монастиря, Фото А. Ключнікової

При цьому на кожному з трьох періодів бароко виробились свої прийоми створення масштабу об'єкту:

- на ранньому періоді храми виглядають більш монументальними через обмеженість зовнішнього декорування фасадів;

- на високому періоді подекуди спостерігається надмірне декорування площин стін дрібномасштабним фітоморфним, антропоморфним і геральдичним декором, через що храми здаються більш витонченими, але менш монументальними (цьому враженню сприяє плавна грушоподібна форма куполів різного розміру);

- на пізньому періоді зменшується кількість зовнішнього декору, а класичний ордер і рустовка нижнього поверху знов створюють ефект монументальності (це враження строгості додатково підсилює півциркульна форма куполів).

Такий безпосередній вплив декору на масштаб об'єкту видно на прикладі таких об'єктів пізнього періоду бароко як церква Різдва Богородиці і дзвіниці на Дальніх печерах авторства архітектора С. Ковніра, які мають менший розмір у порівнянні з Софійською дзвіницею, Великою дзвіницею Лаври арх. І.-Г. Шеделя, Андріївською церквою арх. Ф.-Б. Растреллі та І. Мічуріна, однак справляють враження монументальності через відсутність надмірного декорування фасадів. Іллінська церква в Суботові виглядає більш монументальною, ніж, скажімо, Троїцька надбрамна церква Києво-Печерської Лаври з фасадним фресковим стінописом і ліпним декором.

Дослідження існуючих і зруйнованих київських храмів доби українського бароко дозволило виявити ті особливості, які власне і зумовлювали ефект масштабності, активного силуету, камерності і втілювали національні ознаки православної архітектури:

1) експресія композиції і активний силует.

Більшою експресією об'ємно-просторової композиції і активним силуетом відзначались храми з планом у вигляді рівнораменного грецького хреста або тридільні, споріднені за композицією з дерев'яними зрубними церквами, натомість храми з планами на основі хрестово-купольної базиліки, або перебудовані давньоруські, або новозбудовані, відзначались меншою експресією композиції і силуету;

2) масштабність і монументальність.

Цей ефект зумовлювався не тільки фізичними розмірами храму, а й співвідношенням складових частин форми (стіни, верхи, поділ на яруси) та кількістю декору (дрібномасштабний декор візуально зменшував масштаб об'єкту, відсутність декору збільшувала масштаб). Виключенням є декорування лиштв вікон і дверей, яке менше спливало на створення ефекту масштабності будівлі;

3) ефект піднесення, тріумфу православ'я і національної ідеї в розвиненій багатокупольній об'ємно-просторовій композиції;

4) всефасадність (якої немає в католицькому бароко, де головний фасад – західний, найбільш виразний);

5) відповідність зовнішньої форми і внутрішнього простору, відкритого до зеніту бані, причому до зеніту бані відкритий кожен баштовий об'єм з окремим багатоярусним верхом;

6) поширене пропорціональне співвідношення частин церкви – висота стін першого ярусу дорівнює часто 1/3 загальної висоти, висота верху з трьох частин, або рівних між собою, або двох однакових, а третьої вдвічі меншої (в такому випадку менша частина – це маківка з хрестом).

Таким чином, це доводить, що козацьке бароко може стати джерелом наслідування для сучасної архітектурної школи православного будівництва в Україні. На наш погляд, повинні бути наслідувані такі знакові особливості, які асоціюються з українською культурою:

- баштовість об'ємів;
- спорідненість з народною церковною архітектурою;
- куполи на основі модифікованих національних форм;
- декор на основі народно стильових орнаментів.

Список джерел

1. S. Baiandin, Y. Ivashko, A. Dmytrenko, I. Bulakh, M. Hryniewicz Use of Historical Painting Concepts by Modern Methods in the Restoration of Architectural Monuments / International Journal of Conservation Science, Volume 13, Issue 2, 2022. Pp. 381-394.

2. M. Dyomin, Y. Ivashko. Research, preservation and restoration of wooden churches in Ukraine. / Wiadomości Konserwatorskie • Journal of Heritage Conservation • 61/2020. Pp.85 -90.

3. Y. Ivashko, I. Buzin, I.G. Sandu, D. Kuśnierz-Krupa, J. Kobylarczyk, A. Dmytrenko, L. Bednarz. State-of-the-art Technologies of Imitation of Mural Painting from the Kyivan Rus and Baroque Periods in the Reconstructed St. Michael Golden-domed Cathedral in Kyiv. / International Journal of Conservation Science Volume 13, Issue 1, 2022. Pp. 147-162.

4. Орленко М.І. Михайлівський Золотоверхий монастир: методичні засади і хронологія відтворення. Київ, 2002. 160 с.

5. Орленко М. Успенський собор Києво-Печерської Лаври: методичні засади і хронологія відтворення. Київ, 2015. 832 с.

6. Орленко М.І. Історія Успенського собору Києво-Печерської Лаври – головної святині східного православ'я / Сучасні проблеми архітектури та містобудування: Наук.-техн.збірник / Відпов. ред. М.М. Дьомін. К.: КНУБА, 2015. Вип. 40. С. 97-112.

7. Орленко М.І. Комплексні науково-реставраційні дослідження, науково-проектні роботи 1981-1990 рр. і програма наукових досліджень Успенського собору 1981 року / Сучасні проблеми архітектури та містобудування: Наук.-техн. збірник / Відповід.ред. М.М. Дьомін. К.: КНУБА, 2015. Вип. 41. С. 166-175.

8. Орленко М.І. Успенський собор Києво-Печерської Лаври: історико-архівні і бібліографічні дослідження / Містобудування та територіальне планування: Наук.-техн. збірник / Відповід. ред. М.М. Осєтрін. К.: КНУБА, 2015. Вип. 58. С. 322-329.

9. Орленко М.І. Специфіка і складнощі відтворення Успенського собору Києво-Печерської лаври / Містобудування та територіальне планування: Наук.-техн. збірник / Відповід. ред. М.М. Осєтрін. К.: КНУБА, 2016. Вип. 61. С. 6-12.

10. Орленко М.І. Огляд історії Михайлівського Золотоверхого монастиря / Містобудування та територіальне планування: Наук.-техн. збірник / Відповід. ред. М.М. Осєтрін. К.: КНУБА, 2016. Вип. 60. С. 259-266.

11. Орленко М.І. Архітектурно-археологічні дослідження Михайлівського Золотоверхого монастиря / Архітектурний вісник КНУБА: Наук.-вироб.збірник / Відповід. ред. Куліков П.М. К.: КНУБА, 2016. Вип. 10. С. 177-182.

12. M. Orlenko, Y. Ivashko. The concept of art and works of art in the theory of art and in the restoration industry. / Art Inquiry. Recherches sur les arts, 2019, vol. XXI. Pp.171-190.

13. M. Orlenko, Y. Ivashko, J. Kobylarczyk, D. Kuśnierz-Krupa. The influence of ideology on the preservation, restoration and reconstruction of temples in the urban structure of post-

totalitarian states. / Wiadomości Konserwatorskie • Journal of Heritage Conservation" • 61/2020. Pp. 67-79.

14. M. Orlenko, Y. Ivashko, Y. Ding Fresco Wall Painting and its Regional Modifications. / International Journal of Conservation Science, Volume 13, Issue 1, 2022. Pp. 57-72.

15. M. Orlenko, I. Buzin, Y. Ivashko, A. Dmytrenko, D. Kuśnierz-Krupa, D. Mykhailovskyi, S. Belinskyi, A. Urakina. Reproduction and Restoration of Iconostases of Ukrainian Churches. / International Journal of Conservation Science. Volume 14, Issue 2, June 2023. Pp. 511-526.

16. Отчет о разборке руин Успенского собора Госзаповедника "Киево-Печерская Лавра". РНРПМ Научно-исследовательский и проектный сектор. Киев,1954. С. 1-67.

17. Отчет о разборке руин Успенского собора-памятника архитектуры 11-18 вв. в Киево-Печерском ГИКЗ в1962-63 гг., РСНРПМ. Киев,1964. С. 1-45.

18. Пам'ятка архтектури охор. №4/1. Національний Києво-Печерський історико-культурний заповідник. Пам'ятка архітектури XI-XIX ст. Успенський собор Києво-Печерської Лаври. Історична довідка. Київ,1998. С. 1-34.

19. Пам'ятка архітектури XI-XIX ст. Успенський собор. Науково-реставрацйне обгрунтування концепції відтворення Успенського собору Києво-Печерської Лаври. Київ,1998. С. 1-47.

20. Сіткарьова О.В. Успенський собор Києво-Печерської Лаври. Київ, 2000. 232 с.

21. Urakina A. Transformation of the church architectural composition of Ukraine in the 10th – 18th centuries as the theoretical basis of restoration. / Wiadomości Konserwatorskie / Journal of Heritage Conservation, № 69/2022. Pp. 15-25.

Anastasiia Kliuchnikova, Pavlo Bilous,
Kyiv National University of Construction and Architecture

CHARACTERISTICS OF THE ORTODOX CHURCH OF THE MIDDLE DNIEPER REGION AS EXPRESSIONS OF NATIONAL IDENTITY

The article identifies the characteristic features of Orthodox churches of the Middle Dnieper region of the "Cossack Baroque" era as expressions of national identity. It is noted that, unlike Chernihiv Oblast, Poltava Oblast, and Slobozhan Oblast, the Middle Dnieper Region was constantly experiencing armed conflicts, which caused waves of resettlement.

That is why different compositional schemes of churches spread equally in this territory. At the same time, the type of three-story church dominated as a symbol of the Divine Trinity.

The Orthodox Church of the Middle Dnieper embodied those features that are interpreted as expressions of Ukrainian culture and nationally styled architecture: it is a tower-like type of composition, when each volume has its own completion in the form of a bathhouse and is open in the interior to the zenith of the bathhouse, pear-shaped domes with an interception-"cove", traditional polychromy (golden, green, blue domes with gold stars, the walls are white with white decor, sometimes blue with white decor), the presence of wall paintings in the interiors, multi-tiered carved iconostases, folk-style decor of a mostly phytomorphic character (rarely

teratological), architectural decor in the form of orders, developed unfastened cartouches of great importance.

The following features of brick church construction, common to Kyiv, the Middle Dnieper region and the Left Bank under the administration of the Hetmanate, were determined:

- symmetry of the volume-spatial composition;
- scale and monumentality;
- balanced component parts of a complete volume;
- an active silhouette due to the tower composition, tiered tops, gables and unfastened eaves of a large overhang;
- the reception of the church from several separate volumes shared with the wooden construction, each of which is crowned with a stepped tiered top;
- openness of the internal space to the zenith of the bath.

At the same time, each of the three baroque periods developed its own techniques for creating the scale of an object.

In the early period, the temples look more monumental due to the limited external decoration of the facades;

- in the high period, excessive decoration of the wall planes with small-scale phytomorphic, anthropomorphic and heraldic decor is sometimes observed, due to which the temples seem more refined, but less monumental (the smooth pear-shaped shape of domes of different sizes contributes to this impression);
- in the late period, the amount of external decoration decreases, and the classical order and rustication of the lower floor again create the effect of monumentality (this impression of austerity is additionally reinforced by the semicircular shape of the domes.

Key words: features; Orthodox Church; Middle Dnieper; national identity; expressions

REFERENCES

1. S. Baiandin, Y. Ivashko, A. Dmytrenko, I. Bulakh, M. Hryniewicz Use of Historical Painting Concepts by Modern Methods in the Restoration of Architectural Monuments. / International Journal of Conservation Science, Volume 13, Issue 2, 2022. Pp. 381-394. {in English}

2. M. Dyomin, Y. Ivashko. Research, preservation and restoration of wooden churches in Ukraine. / Wiadomości Konserwatorskie • Journal of Heritage Conservation • 61/2020. Pp. 85-90. {in English}

3. Y. Ivashko, I. Buzin, I.G. Sandu, D. Kuśnierz-Krupa, J. Kobylarczyk, A. Dmytrenko, L. Bednarz. State-of-the-art Technologies of Imitation of Mural Painting from the Kyivan Rus and Baroque Periods in the Reconstructed St. Michael Golden-

domed Cathedral in Kyiv. / International Journal of Conservation Science Volume 13, Issue 1, 2022. Pp. 147-162. {in English}

4. Orlenko M.I. Mykhaylivs′kyy Zolotoverkhyy monastyr: metodychni zasady i khronolohiya vidtvorennya. Kyiv, 2002. 160 s. {in Ukrainian}

5. Orlenko M. Uspens′kyy sobor Kyevo-Pechers′koyi Lavry: metodychni zasady i khronolohiya vidtvorennya. Kyiv, 2015. 832 s. {in Ukrainian}

6. Orlenko M.I. Istoriya Uspens′koho soboru Kyevo-Pechers′koyi Lavry – holovnoyi svyatyni skhidnoho pravoslav″ya / Suchasni problemy arkhitektury ta mistobuduvannya: Nauk.-tekhn.zbirnyk / Vidpov. red. M.M. Dyomin. K.: KNUBA, 2015. Vyp. 40. C. 97-112. {in Ukrainian}

7. Orlenko M.I. Kompleksni naukovo-restavratsiyni doslidzhennya, naukovo-proektni roboty 1981-1990 rr. i prohrama naukovykh doslidzhen′ Uspens′koho soboru 1981 roku / Suchasni problemy arkhitektury ta mistobuduvannya: Nauk.-tekhn. zbirnyk / Vidpovid.red. M.M. Dyomin. K.: KNUBA, 2015. Vyp. 41. C. 166-175. {in Ukrainian}

6. Orlenko M.I. Arkhitekturno-arkheolohichni ta petrohrafichni doslidzhennya / Arkhitekturnyy visnyk KNUBA: Nauk.-vyrob. zbirnyk/ Vidpovid. red. Kulikov P.M. K.: KNUBA, 2015. Vyp. 7. C. 111-127. {in Ukrainian}

7. Orlenko M.I. Uspens′kyy sobor Kyevo-Pechers′koyi Lavry: istoryko-arkhivni i bibliohrafichni doslidzhennya / Mistobuduvannya ta terytorial′ne planuvannya: Nauk.-tekhn. zbirnyk / Vidpovid. red. M.M. Osyetrin. K.: KNUBA, 2015. Vyp. 58. C. 322-329. {in Ukrainian}

8. Orlenko M.I. Spetsyfika i skladnoshchi vidtvorennya Uspens′koho soboru Kyyevo-Pechers′koyi lavry / Mistobuduvannya ta terytorial′ne planuvannya: Nauk.-tekhn. zbirnyk / Vidpovid. red. M.M. Osyetrin. K.: KNUBA, 2016. Vyp. 61. C. 6-12. {in Ukrainian}

9. Orlenko M.I. Obraz Uspens′koho soboru v davn′orus′kiy arkhitekturi / Suchasni problemy arkhitektury ta mistobuduvannya: Nauk.-tekhn. zbirnyk / Vidpovid. red. M.M. Dyomin. K.: KNUBA, 2016. Vyp. 44. C. 64-69. {in Ukrainian}

10. Orlenko M.I. Ohlyad istoriyi Mykhaylivs′koho Zolotoverkhoho monastyrya / Mistobuduvannya ta terytorial′ne planuvannya: Nauk.-tekhn. zbirnyk / Vidpovid. red. M.M. Osyetrin. K.: KNUBA, 2016. Vyp. 60. C. 259-266. {in Ukrainian}

11. Orlenko M.I. Arkhitekturno-arkheolohichni doslidzhennya Mykhaylivs′koho Zolotoverkhoho monastyrya / Arkhitekturnyy visnyk KNUBA: Nauk.-vyrob.zbirnyk / Vidpovid. red. Kulikov P.M. K.: KNUBA, 2016. Vyp. 10. C. 177-182. {in Ukrainian}

12. M. Orlenko, Y. Ivashko. The concept of art and works of art in the theory of art and in the restoration industry. / Art Inquiry. Recherches sur les arts, 2019, vol. XXI. Pp. 171-190. {in English}

13. M. Orlenko, Y. Ivashko, J. Kobylarczyk, D. Kuśnierz-Krupa. The influence of ideology on the preservation, restoration and reconstruction of temples in the urban structure of post-totalitarian states. / Wiadomości Konserwatorskie • Journal of Heritage Conservation • 61/2020. Pp. 67-79. {in English}

14. M. Orlenko, Y. Ivashko, Y. Ding Fresco Wall Painting and its Regional Modifications. / International Journal of Conservation Science, Volume 13, Issue 1, 2022. Pp. 57-72. {in English}

15. M. Orlenko, I. Buzin, Y. Ivashko, A. Dmytrenko, D. Kuśnierz-Krupa, D. Mykhailovskyi, S. Belinskyi, A. Urakina. Reproduction and Restoration of Iconostases of Ukrainian Churches. / International Journal of Conservation Science, Volume 14, Issue 2, June 2023. Pp. 511-526. {in English}

16. Otchet o razborke ruyn Uspenskoho sobora Hoszapovednyka "Kyevo-Pecherskaya Lavra". RNRPM Nauchno-issledovatel′skyy y proektnyy sektor. Kyev,1954. S. 1-67. {in Ukrainian}

17. Otchet o razborke ruyn Uspenskoho sobora-pamyatnyka arkhytektury 11-18 vv. v Kyevo-Pecherskom HYKZ v1962-63 hh., RSNRPM. Kyev,1964. S. 1-45. {in Ukrainian}

18. Pam'yatka arkhtektury okhor. №4/1. Natsional′nyy Kyyevo-Pechers′kyy istoryko-kul′turnyy zapovidnyk. Pam'yatka arkhitektury KHI-KHIKH st. Uspens′kyy sobor Kyyevo-Pechers′koyi Lavry. Istorychna dovidka. Kyiv, 1998. S. 1-34. {in Ukrainian}

19. Pam'yatka arkhitektury KHI-KHIKH st. Uspens′kyy sobor. Naukovo-restavratsyne obhruntuvannya kontseptsiyi vidtvorennya Uspens′koho soboru Kyyevo-Pechers′koyi Lavry. Kyiv, 1998. S. 1-47. {in Ukrainian}

20. Sitkariova O.V. Uspens′kyy sobor Kyyevo-Pechers′koyi Lavry. Kyiv, 2000. 232 s. {in Ukrainian}

21. Urakina A. Transformation of the church architectural composition of Ukraine in the 10th – 18th centuries as the theoretical basis of restoration. Wiadomości Konserwatorskie / Journal of Heritage Conservation, № 69/2022. Pp. 15-25. {in English}

DOI: 10.32347/2786-7269.2025.11.115-123
УДК 711.553.4

Кондратюк В.М.,
vovakondratyukk@gmail.com, ORCID: 0000-0002-2457-2949,
Одеська державна академія будівництва та архітектури

ЕКОЛОГІЧНА СТІЙКІСТЬ У ПОРТОВІЙ АРХІТЕКТУРІ: СТРАТЕГІЇ ТА ІННОВАЦІЇ

Екологічна стійкість портової архітектури стала критично важливою сферою в більш широкому контексті глобальних зусиль по боротьбі зі зміною клімату та сприянню сталому розвитку. Порти, як життєво важливі компоненти міжнародної торгівлі та логістики, історично сприяли значному погіршенню стану навколишнього середовища, включаючи забруднення повітря та води, руйнування середовища проживання та значні викиди парникових газів. У цій статті досліджуються інноваційні стратегії і практики в проектуванні та експлуатації портів, які надають пріоритет екологічному управлінню, спираючись на останні світові дослідження і публікації. Вона висвітлює успішні міжнародні приклади, а також фокусується на унікальних викликах і можливостях України в контексті післявоєнного відновлення та сталого розвитку. Висновки підкреслюють важливість інтеграції зелених технологій, відновлюваних джерел енергії та сталої логістики в портову архітектуру для мінімізації впливу на навколишнє середовище та підвищення операційної ефективності. Вивчаючи як світовий досвід, так і конкретні українські ініціативи, ця стаття має на меті надати комплексний огляд того, як порти можуть перейти до більш сталих практик, що в кінцевому підсумку сприятиме стійкому майбутньому як для місцевих громад, так і для глобального довкілля.

Ключові слова: екологічна стійкість; сучасні порти; розвиток сучасних портів; екосистема портових інновацій; портова архітектура; зелені технології; відновлювана енергетика; сталий розвиток.

Вступ. Порти слугують важливими вузлами у глобальних торговельних мережах, сприяючи переміщенню товарів на великі відстані. Однак їхня діяльність часто призводить до значного погіршення стану навколишнього середовища. Вплив включає забруднення повітря суднами та вантажно-розвантажувальним обладнанням, забруднення води стоками та розливами, руйнування середовища існування через розширення портів, а також викиди парникових газів, пов'язані з важкою технікою та транспортом. Оскільки світ бореться зі зміною клімату, існує нагальна потреба в тому, щоб порти

впроваджували сталі практики, які відповідають Цілям сталого розвитку ООН (ЦСР). У цій статті розглядаються останні досягнення в галузі портової архітектури, які сприяють екологічній стійкості, аналізуються глобальні тенденції, визначаються ключові виклики та проводиться фокусована дискусія щодо портового сектору України.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Сучасні наукові публікації підкреслюють зростаюче визнання необхідності впровадження сталих практик у портових операціях. Систематичний огляд ініціатив «зелених» портів свідчить про те, що порти в усьому світі вживають заходів, спрямованих на зменшення впливу на навколишнє середовище. Ключові стратегії включають підвищення енергоефективності, вдосконалення управління відходами та зусилля зі збереження біорізноманіття.

Енергоефективність: Порти все більше інвестують у відновлювані джерела енергії, такі як сонячні батареї та вітряки, для забезпечення своїх операцій. Наприклад, дослідження показують, що електрифікація портової техніки значно скорочує викиди, пов'язані з обробкою вантажів. Порт Роттердама впровадив комплексний план енергетичного переходу, спрямований на досягнення вуглецевої нейтральності до 2050 року. Цей план включає використання відновлюваних джерел енергії для своєї діяльності та просування електромобілів на своїх об'єктах.

Управління відходами: Ефективна практика управління відходами має важливе значення для мінімізації забруднення. Порти впроваджують програми переробки відходів та технології перетворення відходів на енергію для сталого управління відходами. Порт Лос-Анджелеса прийняв План дій щодо чистого повітря (CAAP), який включає ініціативи зі скорочення викидів парникових газів на 80% до 2050 року порівняно з рівнем 1990 року. CAAP наголошує на екологічно чистих технологіях для вантажно-розвантажувального обладнання, а також заохочує використання альтернативних видів палива.

Збереження біорізноманіття: Багато портів включають в свої проекти рішення, засновані на природі, щоб підвищити біорізноманіття. Це включає створення зелених зон і коридорів дикої природи, які пом'якшують втрату середовища існування через розширення порту. Сінгапурський порт інвестував значні кошти в інтелектуальні технології, які оптимізують логістику, мінімізуючи вплив на навколишнє середовище. Ці ініціативи відображають ширшу тенденцію до інтеграції принципів сталого розвитку в портову діяльність у всьому світі.

Постановка проблеми. Незважаючи на ці досягнення, на шляху досягнення екологічної стійкості портової архітектури залишається багато проблем. Основні проблеми включають непослідовність нормативно-правової

бази в різних регіонах, що може перешкоджати впровадженню сталих практик; фінансові обмеження, які стримують інвестиції в зелені технології; і технологічні бар'єри, які обмежують доступ до передових рішень, необхідних для скорочення викидів і підвищення операційної ефективності.

Вирішення цих проблем має вирішальне значення для сприяння більш сталому майбутньому портових операцій. Регуляторні органи повинні розробити узгоджені керівні принципи, які надають пріоритет екологічним міркуванням, забезпечуючи при цьому фінансові стимули для портів інвестувати в екологічно стійку інфраструктуру. Крім того, співпраця між державним і приватним секторами може сприяти обміну знаннями та технологічним досягненням, необхідним для ефективного впровадження.

Мета і завдання дослідження. Метою цього дослідження є вивчення та аналіз дій, які вживають сучасні портові комплекси для створення привабливого меридовища для мешканців і відвідувачів. У статті буде розглянуто значення громадських просторів в портових комплексах світу і більшості портів України.

Основний матеріал і результати дослідження.

Екологічна стійкість портової архітектури все частіше визнається критично важливим компонентом у вирішенні екологічних проблем, пов'язаних з діяльністю портів. Порти, як життєво важливі вузли світової торгівлі, стикаються зі значними екологічними викликами, що загрожують морським екосистемам та прибережним громадам. Ці виклики включають викиди парникових газів від суден і техніки, хімічне забруднення від скидання стічних вод і розливів, руйнування середовища існування внаслідок днопоглиблювальних робіт і рекультивації земель, а також накопичення морського сміття. Інтенсивність роботи портів призводить до значного забруднення повітря та води, що може негативно впливати як на здоров'я людей, так і на морське біорізноманіття. Наприклад, викиди з суден сприяють глобальному потеплінню і погіршують якість повітря, а хімічні забруднювачі порушують водне життя і забруднюють джерела морепродуктів. [1]

У відповідь на ці нагальні екологічні проблеми з'явилися сучасні архітектурні та інженерні рішення для підвищення стійкості при проектуванні та експлуатації портів. Інтеграція відновлюваних джерел енергії, таких як сонячна, вітрова та енергія припливів і відпливів, в портову інфраструктуру є ключовою стратегією. Порти все частіше впроваджують електрифікацію своїх операцій, щоб зменшити залежність від викопних видів палива. Наприклад, деякі порти використовують гібридні електричні силові установки для суден і впроваджують транспортні засоби з низьким рівнем викидів для наземного транспорту в межах портових об'єктів. Крім того, впроваджуються інноваційні

методи управління відходами, включаючи застосування підходу «ієрархії відходів», який надає пріоритет переробці та збору плаваючого сміття. [2]

Успішні приклади цих стратегій можна спостерігати в усьому світі. Порт Кочин в Індії має на меті повністю перейти на сонячну енергію до 2030 року, з планами щодо кранів на сонячних батареях та берегових електростанцій для суден. Аналогічно, Hutchison Ports BEST в Іспанії зобов'язався використовувати 100% відновлюваної енергії для своїх операцій, значно зменшивши свій вуглецевий слід. У Сполучених Штатах Порт Лос-Анджелеса реалізував різні зелені ініціативи, спрямовані на скорочення викидів за допомогою передових технологій і сталих практик. [3]

Кілька міжнародних прикладів ілюструють успішні стратегії підвищення сталості портової архітектури:

Порт Роттердам (Нідерланди): Як один з найбільших портів Європи, Роттердам впровадив широкі заходи зі сталого розвитку, спрямовані на досягнення вуглецевої нейтральності до 2050 року через свій план енергетичного переходу (рис. 1). [4]

Рис. 1. Порт Гамбурга, Німеччина

Порт Лос-Анджелеса (США): CAAP позиціонує цей порт як лідера у сфері скорочення викидів, просуваючи більш чисті технології для вантажно-розвантажувального обладнання (рис. 2). [5]

Рис. 2. Порт Лос-Анджелеса, США

Порт Сінгапуру: інвестиції в «розумні» технології дозволили порту Сінгапуру оптимізувати логістику, одночасно значно скоротивши викиди, пов'язані з його діяльністю (рис. 3). [6]

Рис. 3. Порт Гамбурга, Німеччина

Ці приклади демонструють, як порти можуть впроваджувати інноваційні стратегії, які не лише зменшують їхній вплив на довкілля, а й підвищують операційну ефективність.

Забігаючи наперед, можна сказати, що перспективи сталої портової архітектури є багатообіцяючими, але вимагають постійних зусиль та інновацій. Майбутні розробки, ймовірно, будуть зосереджені на підвищенні енергоефективності за допомогою розумних технологій, таких як пристрої Інтернету речей, які контролюють роботу обладнання в режимі реального часу, тим самим оптимізуючи використання енергії. Крім того, очікується, що порти дедалі більше застосовуватимуть принципи циркулярної економіки, спрямовані на мінімізацію відходів і максимізацію ефективності використання ресурсів за рахунок практики сталого проектування. Створення комплексних систем екологічного менеджменту матиме важливе значення для постійного поліпшення показників сталого розвитку. [7]

Український портовий сектор стикається з унікальними викликами, які посилюються постійною геополітичною напруженістю та нещодавньою війною. Однак існують значні можливості для інтеграції сталого розвитку в зусилля з післявоєнного відновлення. Оскільки Україна починає відновлювати свою інфраструктуру після руйнувань, спричинених конфліктом, існує критична можливість включити принципи сталого проєктування в нові портові об'єкти. Такий підхід відповідає міжнародним зобов'язанням, спрямованим на скорочення викидів парникових газів і водночас сприяє розвитку стійкої інфраструктури.

Одеські порти: Одеські порти досліджують інноваційні підходи для підвищення свого профілю сталого розвитку на тлі поточних викликів. Ініціативи включають впровадження рішень з відновлюваної енергетики, таких як сонячні панелі на портових будівлях, та вдосконалення систем управління відходами, покликаних зменшити забруднення від судноплавної діяльності. (рис. 4, 5, 6). [8]

Відновлення біорізноманіття: Докладаються зусилля для відновлення прибережних екосистем, що постраждали від промислової діяльності навколо українських портів. Ці ініціативи спрямовані не лише на покращення місцевого біорізноманіття, але й на створення природних бар'єрів для захисту від кліматичних впливів, таких як повені та ерозія. [9]

Використовуючи ці стратегії під час реконструкції, Україна може позиціонувати свої порти як лідерів сталого розвитку в регіоні, одночасно роблячи позитивний внесок у досягнення глобальних екологічних цілей.

Рис. 4. Одеський порт, Україна

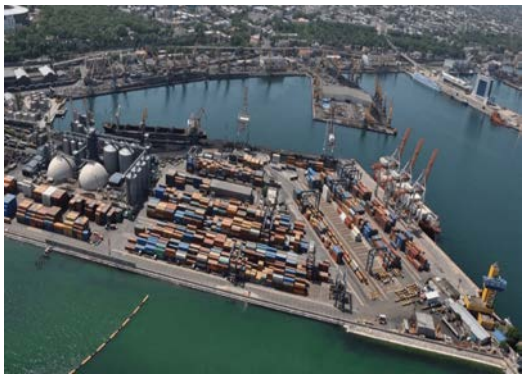


Рис. 5. Порт Чорноморськ, Україна

Рис. 6. Порт «Південний», Україна

З розвитком динаміки світової торгівлі та підвищенням екологічної свідомості роль портів як провідників сталого розвитку буде ставати все більш важливою. Перехід до сталої портової архітектури не тільки вирішує нагальні екологічні проблеми, а й позиціонує порти як лідерів у глобальних зусиллях по боротьбі зі зміною клімату, забезпечуючи при цьому економічну життєздатність для майбутніх поколінь. [10]

Висновки. Шлях до екологічної стійкості портової архітектури є складним, але важливим для забезпечення балансу між економічним зростанням та екологічною відповідальністю. Впроваджуючи інноваційні стратегії, такі як інтеграція відновлюваних джерел енергії, вдосконалення управління відходами та збереження біорізноманіття, порти можуть значно зменшити свій вплив на навколишнє середовище, одночасно підвищуючи операційну ефективність. Для України використання цих стратегій під час реконструкції надає можливість не лише відновити, а й створити більш стійку морську інфраструктуру, що відповідає глобальним цілям сталого розвитку.

Література

1. Костюк І., Федоренко О. *Сучасні тенденції розвитку портових міст*. Чернівці: ЧНУ. 2021 р.

2. Гончарук В., Лисенко С.*Проблеми реконструкції водних просторів в Україні*. Запоріжжя: ЗНУ. 2023 р.

3. Порт Кочі. ВікіпедіЯ. Вільна енциклопедія. (дата звернення 24.05.2023) Електронний ресурс] URL:https://uk.wikipedia.org/wiki/Порт_Кочі.

4. Порт Роттердама. ВікіпедіЯ. Вільна енциклопедія. (дата звернення 24.05.2023) [Електронний ресурс] URL: https://uk.wikipedia.org/wiki/Порт_Роттердама.

5. Port of Los Angeles Photo Gallery [Електронний ресурс] URL: https://www.portoflosangeles.org/news/photo-gallery.

6. Порт Сінгапура. ВікіпедіЯ. Вільна енциклопедія. (дата звернення 17.01.2024) [Електронний ресурс] URL:https://uk.wikipedia.org/wiki/Порт_Сінгапура.

7. Одеський морський торговельний порт. ВікіпедіЯ. Вільна енциклопедія. (дата звернення 01.09.2024) [Електронний ресурс] URL: https://uk.wikipedia.org/wiki/Одеський_морський_торговельний_порт.

8. Екологічні проекти Одеського порту. [Електронний ресурс] URL: https://odesa.uspa.gov.ua/ua/.

9. Мінвідновлення готує порт Чорноморськ до концесії. (липень 2024) [Електронний ресурс] URL:https://usm.media/minvidnovlennya-gotue-port-chornomorsk-do-konczesii/.

10. Степаненко В., Грищенко А. *Портові міста як центри культурного розвитку*. Чернівці: ЧНУ. 2023 р.

Kondratyuk Volodymyr,
Odesa State Academy of Civil Engineering and Architecture

PUBLIC SPACES IN PORT COMPLEXES: CREATING AN ATTRACTIVE ENVIRONMENT FOR RESIDENTS AND VISITORS

The environmental sustainability of port architecture has become a critical area in the broader context of global efforts to combat climate change and promote sustainable development. As vital components of international trade and logistics, ports have historically contributed to significant environmental degradation, including air and water pollution, habitat destruction, and significant greenhouse gas emissions. This article explores innovative strategies and practices in port design and operation that prioritise environmental management, drawing on the latest global research and publications. It highlights successful international examples and also focuses on the unique challenges and opportunities in Ukraine in the context of post-war reconstruction and sustainable development. The findings highlight the

importance of integrating green technologies, renewable energy and sustainable logistics into port architecture to minimise environmental impact and increase operational efficiency. By examining both global experience and specific Ukrainian initiatives, this article aims to provide a comprehensive overview of how ports can move towards more sustainable practices, ultimately contributing to a sustainable future for both local communities and the global environment.

Keywords: environmental sustainability; modern ports; development of modern ports; port innovation ecosystem; port architecture; green technologies; renewable energy; sustainable development.

REFERENCES

1. Kostiuk I., & Fedorenko O. Modern trends in the development of port cities. Chernivtsi: CHERNIVTSI UNIVERSITY. 2021 p. {in Ukrainian}

2. Goncharuk V., & Lysenko S. Problems of reconstruction of water spaces in Ukraine. Zaporizhzhia: ZNU. 2023 p. {in Ukrainian}

3. Port of Kochi. Wikipedia, the free encyclopedia. (accessed 24.05.2023) [Electronic resource] URL: https://uk.wikipedia.org/wiki/Порт_Кочі. {in Ukrainian}

4. Port of Rotterdam. Wikipedia, the free encyclopedia. (accessed 24.05.2023) [Electronic resource] URL: https://uk.wikipedia.org/wiki/Порт_Роттердама. {in Ukrainian}

5. Port of Los Angeles Photo Gallery [Electronic resource] URL: https://www.portoflosangeles.org/news/photo-gallery. {in English}

6. Port of Singapore. Wikipedia, the free encyclopedia. (accessed 17.01.2024) [Electronic resource] URL: https://uk.wikipedia.org/wiki/Порт_Сінгапура. {in Ukrainian}

7. Odesa Commercial Sea Port. Wikipedia, the free encyclopedia. (accessed 01.09.2024) [Electronic resource] URL: https://uk.wikipedia.org/wiki/Одеський_морський_торговельний_порт. {in Ukrainian}

8. Environmental projects of the Odesa port. [Electronic resource] URL: https://odesa.uspa.gov.ua/ua/.{in Ukrainian}

9. The Ministry of Reconstruction is preparing the port of Chornomorsk for concession. (July 2024) [Electronic resource] URL: https://usm.media/minvidnovlennya-gotue-port-chornomorsk-do-konczesii/.{in Ukrainian}

10. Stepanenko V., Hryshchenko A. Port cities as centres of cultural development. Chernivtsi: CHERNIVTSI: CHERNIVTSI NATIONAL UNIVERSITY. 2023 p. {in Ukrainian}

DOI: 10.32347/2786-7269.2025.11.124-142
УДК 721,725.728

д.арх., професор **Кравченко І.Л.,**
kravchenko.il@knuba.edu.ua, ORCID: 0000-0002-3972-5215,
Оніщук О.В.,
onishchuk_ov-2022@knuba.edu.ua, ORCID: 0009-0007-8552-5525,
Київський національний університет будівництва і архітектури

АНАЛІТИЧНИЙ ОГЛЯД ПРАКТИК ЗАСТОСУВАННЯ КОНЦЕПЦІЇ ГНУЧКОСТІ В АРХІТЕКТУРІ. СУЧАСНИЙ ДОСВІД

Розглядаються сучасні практики застосування концепції гнучкості в архітектурі. Це дослідження вивчає основні принципи і тенденції формування гнучких архітектурних об'єктів, досліджуючи ключові концепції, які лежать в основі реалізованих будівель і споруд, здатних пристосовуватись до мінливих потреб і обставин. В ході аналізу розглядаються різні підходи до досягнення гнучкості, включаючи модульне будівництво, відкриті планування, інтеграцію смарт-технологій, використання адаптивних матеріалів і систем. У дослідженні вивчається, як ці принципи проявляються в сучасній архітектурній практиці, аналізуються приклади успішних гнучких будівель та визначаються нові тенденції в цій галузі. Вивчаючи сучасні практики та визначаючи нові тенденції, це дослідження має на меті надати цінну інформацію для архітекторів, планувальників та дослідників, які прагнуть проектувати та будувати гнучкі багатофункціональні комплекси орієнтованих на майбутнє.

Ключові слова: гнучкість; адаптивність; функціональне призначення; багатофункціональні комплекси; гнучкість в архітектурі.

Актуальність теми та постановка проблеми. З найдавніших часів люди створюють будівлі для задоволення своїх найфундаментальніших потреб, таких як захист від стихій, соціальна взаємодія, культура, робота і відпочинок. Задоволення цих потреб породжує вимоги, які знаходять своє вираження у функції (функціональному призначенні) будівель і споруд. Функція стає головною умовою, рушійною силою, першопричиною процесу створення будь-якого архітектурного об'єкта. Процес будівництва завжди виходив з наявних, часто обмежених ресурсів та оточення в якому знаходиться. Часто, протягом історії існування міст кліматичне, економічне, соціальне середовище зазнавало змін, і ставило питання до того чи іншого об’єкту архітектури про його відповідність тому середовищу в якому знаходиться, і саме можливість пристосуватись до змін визначало успіх або занепад окремих будинків та

споруд, в цілому міст, і навіть культур та цивілізацій. Проблема зумовлена традиційними архітектурними практиками, які зосереджуються на створенні класичних, монофункціональних будівель та споруд. Такий підхід часто призводить до того, що цілком фізично справні споруди, морально старіють або використовуються не повністю, коли їхнє первісне призначення втрачає актуальність. Це, в свою чергу, запускає цикл знесення та нового будівництва. Така модель призводить до втрати культурної спадщини, нераціонального використання обмежених ресурсів і негативного впливу на навколишнє середовище. У сучасному середовищі міста, яке характеризується високою динамічністю, застосування прийомів гнучкої архітектури може стати передовою концепцією для задоволення швидкозмінних потреб жителів та суспільства в цілому. Актуальність гнучкої архітектури полягає в її здатності забезпечувати стійкі, гнучкі та ефективні рішення, які можуть задовольнити різноманітні потреби сучасності так і нові ще не створенні вимоги майбутнього.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Завдяки знаковим проектам таких відомих архітекторів як - Ле Корбюзьє (Le Corbusier), Френка Ллойда Райта (Frank Lloyd Wright), Г. Рітвельда (Gerrit Rietveld), Седрік Прайс (Cedric Price), Жана Нувеля (Jean Nouvel), Рема Колгаса (Rem Koolhaas) та інших, стала можлива формалізація концепцій гнучкості та адаптивності в архітектурі. В частині теоретико-аналітичної основи заслуговує на увагу внесок нідерландських архітекторів - Н. Джон Хабракен (N. John Habraken) –який створив основу для концепції «відкрита будівля» (Open Building) своєю книгою «De Dragers en de Mensen» («Опори та люди»). Хабракен ввів термін «підтримка» (або: базова будівля) та «наповнення» (індивідуальні функціональні можливості) [20,21], та Г. Хертцбергера (Herman Hertzberger) - автора концепції «полівалентності» втілена в будинках «Diagoon» [22].

Питання змін в архітектурі в ширшому контексті було предметом досліджень таких науковців, як С. Кендел (Stephen Kendall) [23], Б. Леупен (Bernard Leupen) [24], Т. Шайдер (T. Scheider) та Д. Тіл (Jeremy Till) [26], Р. Кроненбург (Robert Kronenburg) [27], Д. Піндер (James Pinder) та Р. Шмідт-III (Robert Schmidt-III) [25], Д. Дуглас (James Douglas) [28] та інші. Останнім часом прогностичні моделі набувають все більшого значення в контексті гнучкості та адаптивності в архітектурі та містобудуванні. Такі автори як, Г. Ватт, Б. Девісон (Harry Watt, Buick Davison) досліджують адаптивність у забудованому середовищі [9], Р. Аскар, Л. Браганса (Rand Askar, Luís Bragança) розглядають дизайн для адаптивності, рамки та моделі оцінювання для покращення циркулярності в будівлях [10]. Л.А. Ван Еллен, Б.Н. Брідгенс (L.A. van Ellen, B.N. Bridgens) пропонують стратегію ритмічних будівель для майбутнього адаптивного проектування [11]. У статті Д.М. Камара (John M. Kamara) [12],

представлено дослідження, метою якого було моделювання змін у будівлях для кращого розуміння викликів, пов'язаних з їхньою адаптивністю.

Цій тематиці присвячено значний блок публікацій у науковій літературі України. Такі дослідники, як Шаталюк Ю.В. [13,14], Кравченко І.Л. [16], Буравченко С.Г. [17], Яненко О.І. [15], Габрель М.М., [18], Шевченко А.В. [19], зробили значний внесок у наукові дослідження, пов'язані з розумінням гнучкості та адаптивності в архітектурній сфері.

Мета статті. Аналітичний огляд сучасних прикладів гнучкої архітектури в сучасній архітектурній практиці та виявлення характерних тенденцій їх розвитку.

Основна частина. Гнучкість стала центральною темою в архітектурному дискурсі, що відображає зростаючі потреби сучасного суспільства в гнучких, орієнтованих на потреби людей, просторах, які можна легко пристосовувати до різних цілей. Седрік Прайс (1934-2003), британський архітектор і теоретик, відіграв ключову роль у формулюванні та просуванні концепції гнучкості та адаптивності. Його проекти вольєру Лондонського зоопарку, палацу розваг та гончарної фабрики Thinkbelt справили величезний вплив на розвиток архітектури [5]. Його підхід - це архітектура як здатна динамічно реагувати на мінливі соціальні, технологічні та екологічні умови, знайшов своє відображення в проекті палацу розваг 1964 року який можна розглядати як прототип гнучкого, багатофункціонального комплексу. Палац розваг був задуманий як багатогранний простір, призначений для проведення різноманітних заходів. У ньому передбачалось такі зони, як:

– розважальна зала, наповнена іграми та тестами;

– музична зона, обладнана інструментами та бібліотекою класичної, народної, джазової та поп-музики, у вечірній час програма змінювалась і передбачала джазові фестивалі, поезію та танці, як формальні, так і неформальні;

– наукова зона призначена для лекції та демонстрації, що супроводжуватимуться навчальними фільмами, вночі зона функціонує як форум або кав'ярня;

– акторська зона пропонуватиме театральну терапію для всіх охочих;

– зона пластики пропонує простір для гри з різноманітними матеріалами, такими як дерево, метал, фарба, глина, камінь та текстиль.

Виділені «зони» не є ізольованими об'єктами, а, радше, взаємопов'язаними компонентами єдиного цілого [6]. Усередині будівлі люди пересуватимуться комплексом за допомогою пандусів, рухомих доріжок, подіумів та ескалаторів. Ця інфраструктура призначена для полегшення перегрупування, дозволяючи відвідувачам рухатися в різних напрямках.

Відсутність дверних прорізів у комплексі сприяє автономії у виборі маршруту та рівня залученості, дозволяючи людям пристосовувати свій досвід відповідно до їхніх уподобань та цілей. Незважаючи на незмінний розмір структури, загальний об'єм, що використовується, може змінюватися, створюючи динамічну сцену, яка залишається новою навіть для постійних користувачів. У той час як окремі простори, такі як театральні зали, майстерні або ресторани, (Рис.1.) характеризуються своїм власним середовищем, загальний об'єм спроектований таким чином, щоб витримувати несприятливі кліматичні умови та адаптуватися до них.

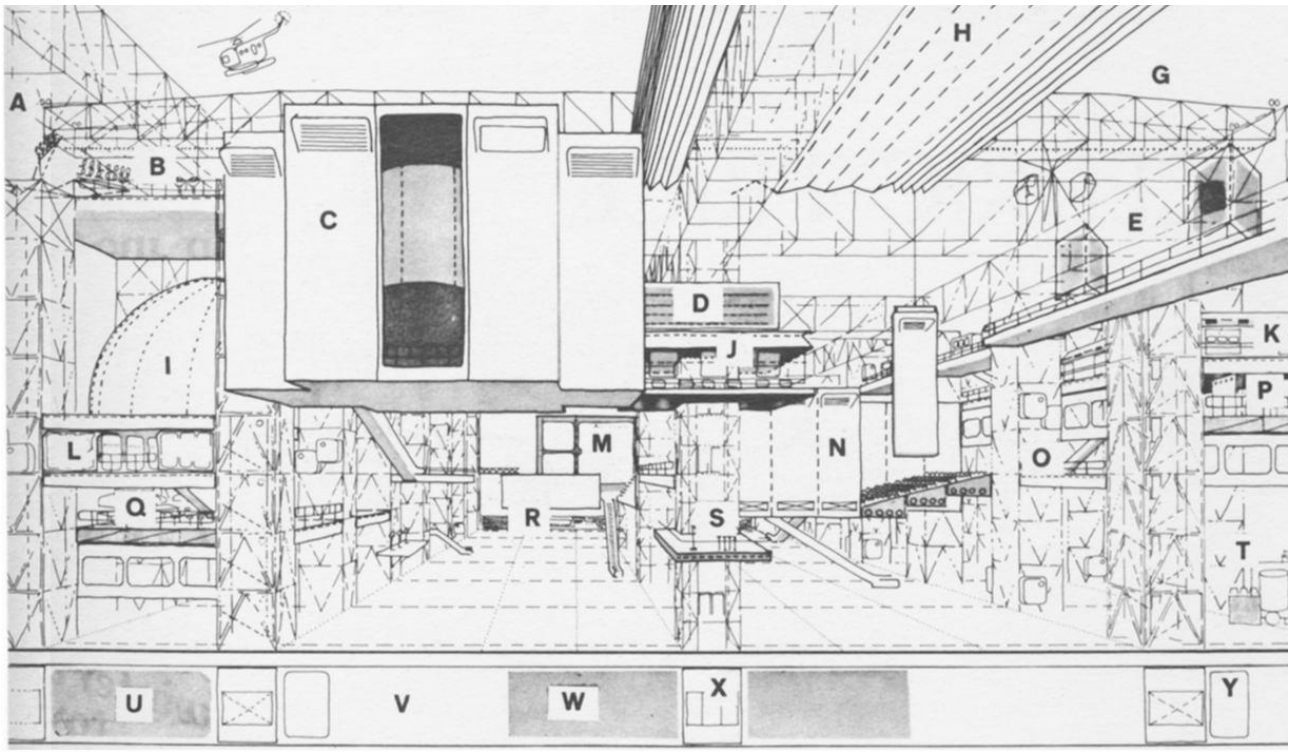


Рис. 1. Палац розваг, Седрік Прайс, Розріз [6]:
a – освітлення ; b – оглядовий майданчик; c – круговий театр; d – панель новин; e – інформаційні екрани; f – рухомий подіум; g – кран; h – регульована штора; i – надувний конференц-зал; j – громадське спостереження; k – ресторан; l – майстерні; m – кінотеатр; n – аудиторія; o – оглядова; p – відкрита виставка; a – їжа та пиття; r – доступ до річкових суден; s – майданчик; t – дитяче містечко; u – очисні споруди; v – сервіс; w – сховище; x – вертикальне обслуговування; y – опалення.

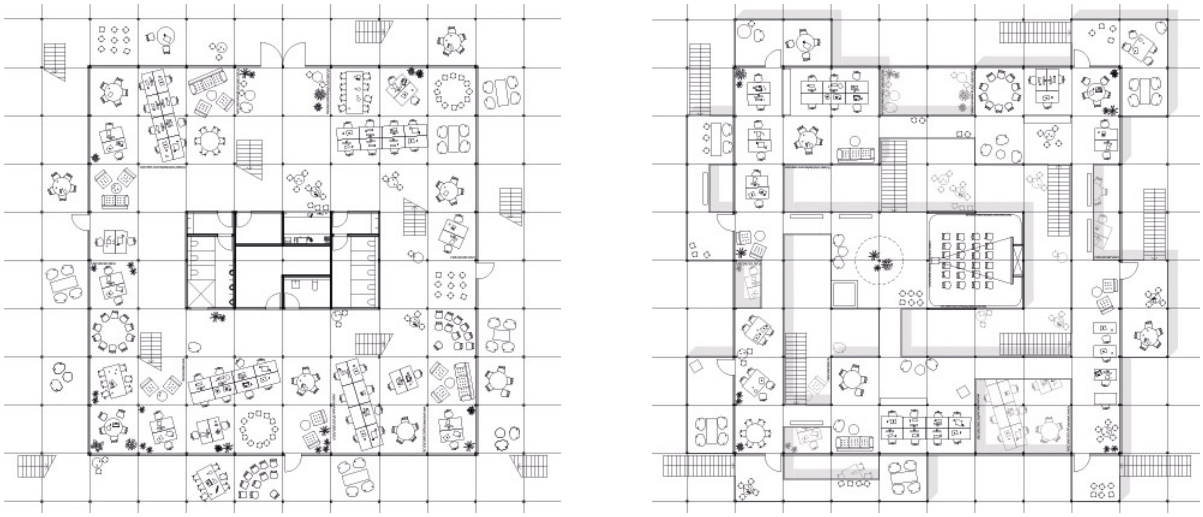
Складність і адаптивність цих конструкцій проявляється в їх різноманітному застосуванні, яке охоплює такі заходи, як мітинги, концерти, конференції, театральні вистави та кінопокази. Потреба в окремих приміщеннях, кожне з яких складається з окремих компонентів, таких як стіни, підлога і стеля, продиктована унікальним характером кожної події. Також використовуються надувні конструкції. Невеликі павільйони частіше є автономними, для них характерні стандартні «коробки» з армованого пластику та алюмінію, які встановлюються і обслуговуються з відкритих «палуб».

Переміщення і позиціонування обладнання здійснюється за допомогою стаціонарного крана, який охоплює всю конструкцію [6]. Дослідження автора були зосереджені на концепції тимчасової архітектури, яка мала полегшити організацію численних заходів та забезпечити швидку адаптацію просторової конфігурації до мінливих потреб. Запропонований палац розваг був задуманий як динамічний об'єкт, що характеризується безперервним потоком подій, який буде просторово адаптований до численних і невизначених видів використання [8]. Палац розваг не був звичайною будівлею, а радше соціально інтерактивною машиною, яка демонструвала неабияку гнучкість до мінливих культурних і соціальних умов своєї епохи. Палац розваг був середовищем, яке постійно взаємодіяло зі своєю аудиторією, реагуючи на її дії та взаємодію в реальному часі. Ця архітектура бездоганно інтегрувала мистецтво і технології, кидаючи виклик обмеженням традиційних архітектурних форматів, таких як музеї, школи, театри чи ярмарки. Він послужив моделлю для Центру Помпіду в Парижі в 1976 році [7]. Хоча Палац розваг так і не був побудований, він мав значний вплив на архітектурну теорію і практику. Він вплинув на подальший розвиток гнучкої та інтерактивної архітектури.

1. Гнучкий навчальний павільйон. Навчальний павільйон Технічного університету Брауншвейга - будівля, спроектована берлінськими архітекторами Густавом Дюссінгом і Максом Хаке, в 2023 році, удостоєна престижною премією Європейського Союзу в галузі сучасної архітектури - нагорода Міс ван дер Рое [2]. Інноваційна гібридна конструкція зі сталі та дерева є повністю розбірною, дотримуючись принципу «дизайн для розбирання». Основна несуча конструкція будівлі, що складається з балок і колон на сітці 3х3 м, є модульною, що дозволяє легко реконструювати або перемістити будівлю в межах нового кампусу на тривалий період. Концепція будівлі як «майбутнього складу матеріалів» доповнюється можливістю повторного використання архітектурних елементів, таких як фасадні панелі, сходи і платформи, що сприяє практиці кругового будівництва. Інтеграція 3-метрової вбудованої аркади з навісом і балконами служить подвійній меті: вона забезпечує тінь в літні місяці і збирає сонячне тепло взимку [1]. Будівля легко інтегрується в існуючу інфраструктуру, функціонуючи як соціальний хаб. Вона пропонує різноманітні робочі простори, від комунікативної відкритої зони на першому поверсі до індивідуальних навчальних острівців на верхньому поверсі, кожен з яких має власний вхід. Серія з'єднаних між собою балконів слугує для переплетення будівлі із зовнішнім середовищем, створюючи таким чином додаткові робочі простори на відкритому повітрі. Навчальний павільйон - це імплементація відкритого простору, призначена для проведення різноманітних студентських заходів. Концепція павільйону базується на принципі добудови,

що полегшує адаптацію та реконфігурацію поверхового плану будівлі, тим самим відповідаючи на динамічні та постійно змінювані вимоги середовища кампусу, що швидко розширюється. Високий ступінь гнучкості плану павільйону робить його ефемерним і, відповідно, гнучким, забезпечуючи тим самим його постійну актуальність як нової типології кампусу, що розвивається [3]. Створення відчуття спільності, що виходить за межі окремих предметів, було досягнуто завдяки забезпеченню однакової цінності всього простору, відсутності просторового розділення між поверхами та рівному доступу до денного світла (Рис.2.) [2].

а



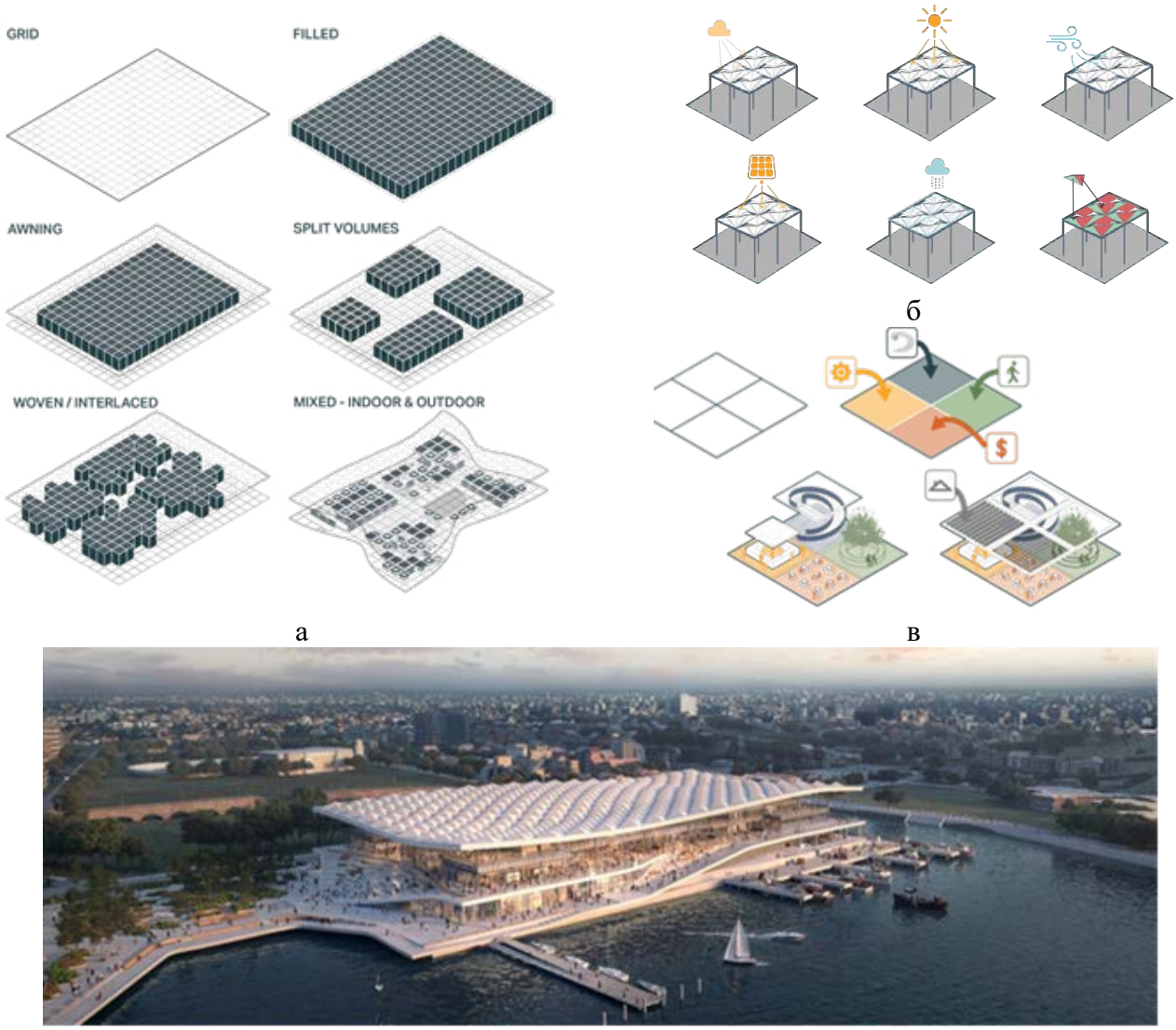
б в

Рис. 2. Навчальний павільйон кампусу Технічного університету Брауншвейга, Німеччина [2]: а - загальний вигляд; б – план першого поверху; в – план другого поверху.

Замість використання стаціонарних бар'єрів було створено окремі зони, до кожної з яких можна потрапити через окремі сходові клітки та входи. Такий підхід призвів до створення безлічі зон, кожна з яких призначена для сприяння різноманітним видам діяльності. Будівля заохочує інноваційне та гнучке навчальне середовище, яке сприяє соціальному обміну та міждисциплінарному генеруванню знань як між студентами, так і між викладачами. Павільйон являє

собою контр-модель простору ієрархічної передачі знань [2].Основною метою проекту було створення доступного та універсального простору, який би задовольняв потреби студентів різних дисциплін, пропонуючи сучасне навчальне середовище, що доповнює існуючі типології кампусу. Концепція відкритого простору сприяє різноманітним видам студентської діяльності та забезпечує гнучкі умови для роботи в групах, проведення семінарів, лекцій та відпочинку [1].

2. Одна покрівля – шість функцій. Рибний ринок Сіднея це - інноваційна будівля площею 80 тис. м^2, від данського архітектурного бюро 3XN, будівництво планують завершити в 2025 році. Проект відзначений архітектурними нагородами, зокрема , The Plan Award 2019; Architizer A+ Award; MIPIM Future Project Award 2019 (Рис.3) [4].



а б в

г

Рис. 3. Рибний ринок від бюро 3XN, у м. Сідней, Австралія [4]:
а – модульна система; б – модулі покриття; в – функціональні модулі. г - загальний вигляд.

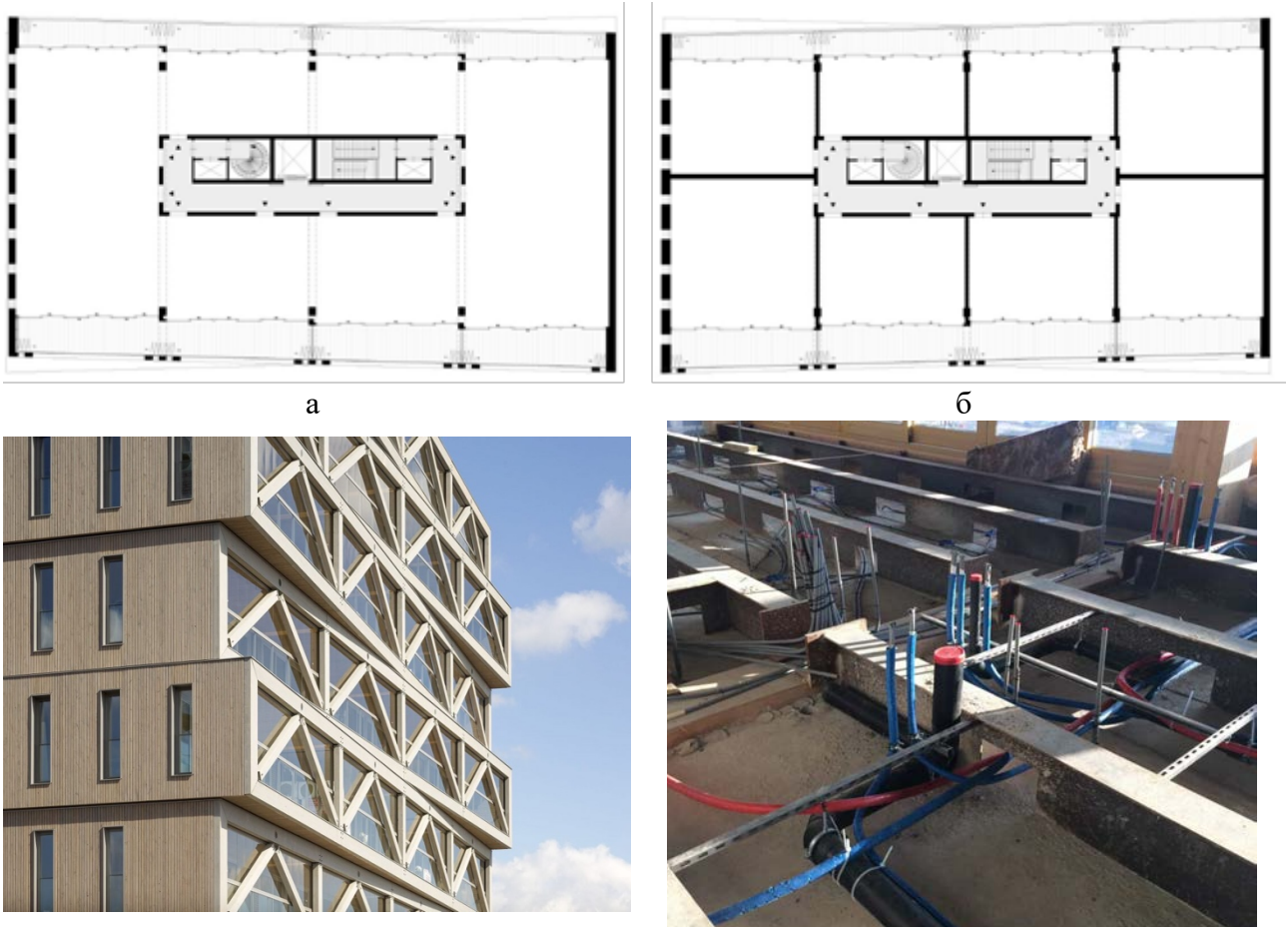
Мета проекту - створити модель інтеграції публічної сфери та сучасного ринкового простору, встановивши орієнтир у міському просторі Сіднея. Об’єкт буде максимально використовувати потенціал сталих джерел енергії, застосовуючи при цьому інноваційні методи скорочення та утилізації енергоресурсів. Дах нового Рибного ринку Сіднея є важливим архітектурним елементом ринку, який був спроектований, щоб функціонувати як стійке ціле, що визначає виразність і продуктивність ринку. Таким чином, він втілює прагнення до сталого розвитку в рамках проекту, що досягається за допомогою модульної конструкції - касети. Геометрія кожного модуля ретельно продумана, щоб відбивати природне світло в простір, водночас блокуючи прямі промені. Окремі модулі сконструйовані таким чином, щоб під ними циркулювало повітря за рахунок різниці тисків, і оснащені інтегрованою дренажною системою для відводу і збору дощової води. Конструкція блоків - модулів спрощує будівництво та обслуговування. Було змодельовано ряд геометричних форм даху, щоб отримати єдиний дизайн, здатний виконувати кілька функцій, включаючи відвід дощових вод, генерацію сонячної енергії, природну вентиляцію і затінення. Дах був спроектований таким чином, щоб спрямовувати дощову воду до визначених точок збору, звідки вона буде збиратися і використовуватися всередині рибного ринку.

Основний аспект дизайну рибного ринку - це пристосування до зростання та змін. Модульна система будівництва враховує майбутні зміни як частину логіки проектування. Механічні та гідравлічні системи розміщені таким чином, щоб їх можна було встановлювати, демонтувати або замінювати після завершення будівництва, не порушуючи основну структуру будівлі. Модульна структура застосована також для об’ємно-просторового рішення та лежить в основі функціональних стратегій об'єкту. Гнучкість модульної системи дозволяє просторам і місцям перекриватися, змінювати форму і обриси, створювати нові та різноманітні зони для різних видів діяльності під одним дахом. Будівля може бути запрограмована на різні внутрішні та зовнішні функції, залежно від соціальних потреб користувачів ринку. Висока частка громадських приміщень у будівлі може сприяти соціальній стійкості в її оточенні та створювати відчуття місця. Модулі можуть бути запрограмовані індивідуально або згруповані в кластери, щоб забезпечити різноманітність не лише у використанні, але й у масштабі та формі. Це дозволяє внутрішнім і зовнішнім просторам гнучко змінюватися, збільшуватися і зменшуватися відповідно до потреб. Будівля стає гнучким елементом, який змінюється, щоб задовольнити поточні та майбутні потреби різних груп користувачів і зацікавлених сторін [4].

На цьому прикладі ми можемо побачити два аспекти гнучкого підходу до архітектури, які органічно доповнюють один одного. По-перше, це закладена гнучкість конструкцій покриття яка являється модульною касетою конструкцію даху. Касета покриття підтримує безліч функцій, включаючи управління дощовою водою, генерацію сонячної енергії та природну вентиляцію. Така конструкція спрощує будівництво та обслуговування, відображаючи прихильність проекту до сталого розвитку. Модульна система будівництва враховує майбутні зміни. По-друге, це функціональна гнучкість яка дозволяє гнучке просторове планування, дозволяючи просторам перекриватися, змінювати форму та пристосовуватися до різноманітних видів діяльності. Дизайн будівлі сприяє соціальній стійкості, оскільки включає велику частку громадських просторів і вміщує різні внутрішні та зовнішні функції відповідно до потреб користувачів. Така адаптивність гарантує, що ринок може розвиватися відповідно до мінливих потреб користувачів і зацікавлених сторін.

3. Сталий розвиток - гнучке використання. PATCH22 - це 30-метрова будівля, де використана деревина, відновлюваний матеріал, як основний матеріал для конструкції та фасаду. «Найвищий дерев'яний житловий будинок у Нідерландах» був завершений у 2016 році, автори: архітектор Том Францен та Клаус Уссорен. Об’єкт розташований на півночі Амстердама, Нідерланди [29]. Проект отримав нагороди, серед яких World Architecture News Residential Award 2016, та нагорода Green Good Design [30]. Висотна секція будівлі може бути переобладнана з комерційного простору в житловий і навпаки без будь-яких змін у конструкції. Поверхи, які грайливо переходять один в одного, можна використовувати як великі лофт-квартири до 540 м з величезними балконами, або як до вісім менших квартир або як відкритий офісний простір, що займає весь поверх завдяки відсутності структурних перегородок, завдяки великій висоті поверху в 4 м і високому навантаженню на перекриття в 4 кН (Рис.4.) [29]. Щоб досягти гнучкості протягом життєвого циклу будівлі, автори спроектували секції не тільки для розміщення квартир у будь-який спосіб, який тільки можна собі уявити, але й завдяки висоті поверху 4 м можлива реалізація багатьох інших сценаріїв. Застосовуючи правила планування евакуаційних шляхів для житлових будинків, а також для офісних будівель, PATCH22 можна використовувати навіть для розміщення офісів. Можливість альтернативного використання в майбутньому, нормативно урегульовано в співпраці з містом Амстердам. У Patch22 «сталість» досягається завдяки енергоефективності, використанню відновлюваних матеріалів і великій гнучкості у варіантах планування поверхів. Проект також включає численні інновації у використовуваних технологіях і застосуванні технічних правил, спрямовані на досягнення гнучкості. Завдяки порожнистим підлогам зі знімним верхнім

шаром власники квартир можуть проектувати і встановлювати власну схему прокладання трубопроводів і кабелів. Пізніше вони можуть легко вносити зміни. Трубопроводи та кабелі прокладені горизонтально до центральної шахти в ядрі. Перегородки між квартирами, з невеликим зазором з акустичних міркувань, можуть бути легко додані або прибрані. Це означає, що квартири можуть бути розділені або об'єднані, і поділ на квартири залишатиметься гнучким і в майбутньому. Вимога вогнестійкості 120 хв. для основної несучої конструкції була виконана шляхом додавання 80 мм додаткової деревини до дерев'яної конструкції з боку пожежних навантажень [29].



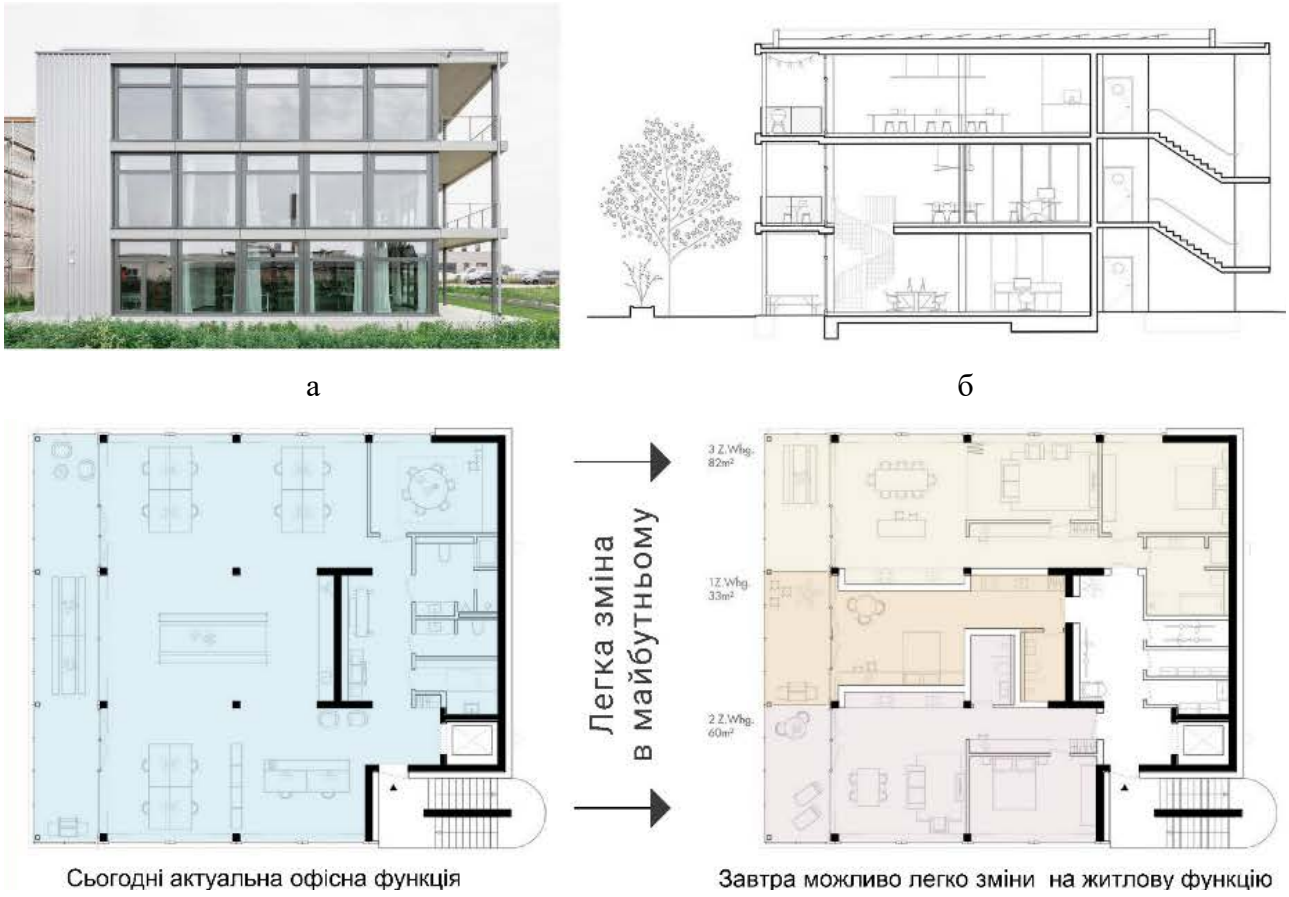
а б в г

Рис. 4. Житловий будинок PATCH22 Амстердам, Нідерланди [29]:
а – план типового поверху; б – можливий варіант планування поверху;
в – загальний вигляд; г – порожниста підлога.

Об’єкт, що розглядається, являється успішним прикладом підходу до планування та використовує об’ємно-просторову гнучкість. Плани поверхів легко змінюються, що дозволяє переобладнати будівлю з житлового на комерційний простір без необхідності структурних змін. Високі стелі та вільний план дозволяє створювати різноманітні житлові та робочі простори. Мешканці можуть налаштувати свій простір, адже пустотілі перекриття

дозволяють легко переносити комунікації, що створює безпрецедентну варіативність планувальних рішень поверху. Архітектори, використавши принципи гнучкого підходу, надали своєму твору самобутнє оригінальне фасадне рішення, яке показує, що підхід може бути репліковий до великої кількості об'єктів та не вимагає дотримуватись рамок архітектурного стилю в роботі з фасадом.

4. Офісна будівля готова до майбутніх змін. У місті Брайзах на захід від Фрайбурга, Німеччина, бюро STUDIO SOZIA спроектували офісну будівлю – TINA площею 835 м². Архітектори розробили ідею офісної будівлі, яку можна було б перетворити на житловий будинок з невеликим втручанням в майбутньому (Рис.5.) [31].



а б в г

Рис. 5. Житловий будинок PATCH22 Амстердам, Нідерланди [29]:
а – загальний вигляд; б – розріз; в – план поверху, офісна функція;
г – план поверху, житлова функція.

Триповерхова будівля, що стоїть окремо, була розроблена з урахуванням геометрії ділянки та майбутньої забудови нового промислового району. Для того, щоб забезпечити гнучкість розмірів офісів і квартир у довгостроковій перспективі, навіть за межами фактичної поверховості, і, таким чином, пізніше розділити дві, заплановані в даний час одиниці використання, на три, зовнішній

доступ був інтегрований у північно-східній частині будівлі, що виходить на під'їзну дорогу. Консольна напівкругла сходова площадка порушує чітку геометрію об'єму, позначає входи до окремих приміщень і слугує комунікатором з навколишнім міським простором. Безбар'єрний доступ також забезпечується ззовні через наскрізний вантажний ліфт на північному фасаді.

Завдяки конструктивній сітці, розміром 5 х 5 метрів, будівля трансформується від закритої стінової плити на півночі, через окремо стоячу стіну в центрі, до відкритої колонної конструкції на півдні з прилеглою просторою відкритою зоною.

Незважаючи на високі статичні вимоги сейсмічної зони, ця структурна трансформація дозволила створити ресурсоефективну, довговічну несучу конструкцію, яка також забезпечує максимальну гнучкість з точки зору використання та зонування [31].

Відповідно до функціональної концепції, службові приміщення, такі як туалети, складські та технологічні, розташовані вздовж закритої північної стіни. Всі робочі зони орієнтовані навколо центру кухні як комунікативного місця обміну. Відкриті зони на півдні використовуються для відпочинку, неформального спілкування та як тимчасове робоче місце.

Концептуальний провідний принцип трансформації також відображений у дизайні фасадів. У той час як північний фасад здається повністю непрозорим завдяки трапецієподібному фасаду з задньою вентиляцією, західний і східний фасади відкриті для оточення завдяки великим віконним елементам розміром 2,5 х 3,0 метри. Балкони на південній стороні, які простягаються по всій ширині будівлі, і тераса утворюють завершення і другий фізичний інтерфейс із зовнішнім простором. Зони будівлі візуально з'єднані безперервним горизонтальним фасадним заскленням та, також мають текстильний захист від сонця. Натхненні комерційним контекстом, всі компоненти будівлі сплановані з промисловою якістю, а інтер'єр спроектований як вишукана оболонка. Це контрастує з великою часткою скла у фасаді, що є нетиповим для промислових об'єктів. Таке вирішення інтер'єру має на меті створити візуальну комунікацію та оживити навколишню комерційну зону.

Будівля сприймається як стійка та функціонально орієнтована на майбутнє завдяки своїй міцній конструкції, що є конструктивно необхідною у сейсмічній зоні, та гнучкому і безбар'єрному плануванню поверхів. Особлива увага приділяється потенціалу поділу будівлі, тому фасад може бути легко модернізований, щоб відповідати сучасним стандартам, якщо вимоги зміняться в майбутньому [32].

Архітектори створили будівлю, яку можна було б легко перетворити з офісної на житлову, пристосувавши її до потенційних майбутніх змін у функціях та кількості мешканців. Використавши стратегію гнучкості в двох аспектах, в об'ємно-просторовому – сітка колон кроком 5х5 дозволяє створювати різноманітні просторові схеми, завдяки чому будівля пристосована до різних офісних та житлових конфігурацій у майбутньому, та гнучкий модульний фасад з поєднанням непрозорих і прозорих елементів дозволяє потенційно модифікувати його відповідно до змін будівельних норм і потреб користувачів. Завдяки поєднанню цих стратегій проектування будівля ТІНА демонструє підхід націлений на майбутнє максимально продовжуючи життєвий цикл об'єкта, підкреслюючи адаптивність, стійкість і потенціал для довготривалого та повторного використання.

Висновки: В дослідженні за відправну точку взято проект «Палац розваг» Седріка Прайса 1964 року як проект-прототип майбутніх гнучких багатофункціональних комплексів – який характеризується, гнучкою реконфігурованою структурою, яка може змінюватися відповідно до потреб і бажань її користувачів. Внутрішній простір був спроектований таким чином, щоб його можна було легко змінювати, з рухомими платформами, які могли б створювати різні середовища для різних видів діяльності. Центральною в концепції «Палацу розваг» була ідея взаємодії користувачів. Автор хотів, щоб громадськість мала контроль над простором, дозволяючи їм формувати своє середовище відповідно до своїх інтересів та діяльності. Дизайн заохочував спонтанні, незаплановані взаємодії, стимулюючи творчість та експерименти.

Також представлені чотири приклади сучасних архітектурних об'єктів які демонструють стратегічний вибір архітекторів використовувати принципи гнучкості в архітектурі з метою продовжити життєвий цикл та забезпечити їх актуальність в майбутньому. Павільйон університету Брауншвейга використовує легку модульну конструкцію що дозволяє легко реконфігурувати або перемістити будівлю. Концепція будівлі як «майбутнього складу матеріалів» доповнюється можливістю повторного використання архітектурних елементів. Рибний ринок Сіднея використовує два аспекти гнучкого підходу це гнучкість конструкцій покриття представлена модульною касетою даху та функціональна гнучкість яка дозволяє гнучке просторове планування, дозволяючи просторам перекриватися, змінювати форму та пристосовуватися до різноманітних видів діяльності. Житловий будинок PATCH22 м. Амстердам застосовує об'ємно-просторову гнучкість. Особливістю є пустотілі перекриття, що дозволяють легко переносити комунікації, створюючи варіативність планувальних рішень. Проект демонструє можливість застосування гнучкого планування внутрішньої структури та не обмежує

стилістичну варіативність фасаду. Будівля TINA м. Брайзах архітектори Використали гнучкий підхід в двох аспектах,– сітка колон 5х5м, основний елемент дизайну, забезпечує просторову гнучкість, пропонуючи ряд конфігурацій, тим самим гарантуючи пристосованість будівлі до мінливих потреб офісних і житлових приміщень. Крім того, модульність фасаду, що характеризується поєднанням непрозорих і прозорих елементів, дозволяє потенційні модифікації відповідно до змін у будівельних нормах і вимогах користувачів.

У сучасному середовищі міста, яке характеризується високою динамічністю, застосування прийомів гнучкої архітектури може стати передовою концепцією для задоволення швидкозмінних потреб жителів та суспільства в цілому. Актуальність гнучкої архітектури полягає в її здатності забезпечувати стійкі, гнучкі та ефективні рішення, які можуть як задовольнити різноманітні потреби сучасності, так і нові, ще не створені вимоги майбутнього.

Список джерел

1. Caballero P. Study Pavilion TU Braunschweig / Gustav Düsing + Max Hacke. ArchDaily. URL: https://www.archdaily.com/1001360/study-pavilion-tu-braunschweig-gustav-dusing-plus-max-hacke?ad_campaign=normal-tag.

2. Düsing G., Hacke M. EUMiesAward. EUMiesAward. URL: https://miesarch.com/work/5208

3. Düsing G. Studierendenhaus TU Braunschweig, 2023 with Max Hacke. Gustav Düsing. URL: https://gustav-duesing.com/projects/the-informal-studio-3/.

4. Sydney fish market. URL: https://3xn.com/project/sydney-fish-market.

5. Mullin S. Cedric price: 1934–2003. Architectural research quarterly. 2003. Vol. 7, no. 2. P. 113–118. URL: https://doi.org/10.1017/s1359135503002070

6. Price C., Littlewood J. The fun palace. The drama review: tDR. 1968. Vol. 12, no. 3. P. 127. URL: https://doi.org/10.2307/1144360

7. Mathews S. The Fun Palace: Cedric Price's experiment in architecture and technology. Technoetic arts. 2005. Vol. 3, no. 2. P. 73–92. URL: https://doi.org/10.1386/tear.3.2.73/1. (date of access: 11.01.2025).

8. Mathews S. The fun palace as virtual architecture. Journal of architectural education. 2006. Vol. 59, no. 3. P. 39–48. URL: https://doi.org/10.1111/j.1531-314x.2006.00032.x. (date of access: 12.01.2025).

9. What should an adaptable building look like? / H. Watt et al. Resources, conservation & recycling advances. 2023. P. 200158. URL: https://doi.org/10.1016/j.rcradv.2023.200158. (date of access: 14.01.2025).

10. Askar R., Bragança L., Gervásio H. Design for adaptability (dfa)–frameworks and assessment models for enhanced circularity in buildings. Applied system innovation. 2022. Vol. 5, no. 1. P. 24. URL: https://doi.org/10.3390/asi5010024. (date of access: 14.01.2025).

11. Rhythmic Buildings- a framework for sustainable adaptable architecture / L. A. van Ellen et al. Building and environment. 2021. Vol. 203. P. 108068. URL: https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2021.108068 (date of access: 14.01.2025).

12. Change factors and the adaptability of buildings / J.M. Kamara et al. Sustainability. 2020. Vol. 12, no. 16. P. 6585. URL: https://doi.org/10.3390/su12166585 (date of access:

14.01.2025).

13. Шаталюк Ю.В. Сучасна практика проектування адаптивних архітектурних об'єктів: аналіз прикладів та особливості. Науковий вісник будівництва. 2017. Т. 88, № 2. С. 69–73. URL: http://nbuv.gov.ua/UJRN/Nvb_2017_88_2_19. (дата звернення: 06.12.2024).

14. Шаталюк Ю.В. SWOT-аналіз як метод дослідження перспектив розвитку адаптивної архітектури. Комунальне господарство міст. Серія: технічні науки та архітектура. 2017. Вип. 135. С. 74–79.

15. Яненко О.І. Визначення, виникнення та розвиток адаптивної архітектури. Сучасні проблеми архітектури та містобудування. 2016. № 42. С. 149–153.

16. Кравченко І.Л., Біцан М.Я. Принципи формування мобільного житлового середовища. Регіональні проблеми архітектури та містобудування. 2019. №. 13. с. 110–118.

17. Буравченко С.Г., Сплавська К.Д. Принципи формування адаптивного житла відповідно до змін в потребах мешканців. Теорія та практика дизайну. 2020. № 20. С. 18–26.

18. Габрель М., П'яста Ю. Передумови формування гнучкості архітектури. Містобудування та територіальне планування. 2020. № 75. С. 97–113.

19. Шевченко А. Стан вивченості питання адаптивного житлового середовища. Сучасні проблеми Архітектури та Містобудування. 2023. №. 66. Р. 278–289.

20. Building for the future. Open building. URL: https://www.openbuilding.co/. (date of access: 14.01.2025).

21. Nascimento D. M. Interview: N. J. Habraken explains the potential of the open building approach in architectural practice. Open house international. 2012. Vol. 37, no. 4. P. 5–13. URL: https://doi.org/10.1108/ohi-04-2012-b0001 (date of access: 14.01.2025).

22. Hertzberger H. Polyvalence: the competence of form and space with regard to different interpretations. Architectural design. 2014. Vol. 84, no. 5. P. 106–113. URL: https://doi.org/10.1002/ad.1816. (date of access: 14.01.2025).

23. Kendall S. Four decades of open building implementation: realising individual agency in architectural infrastructures designed to last. Architectural design. 2017. Vol. 87, no. 5. P. 54–63. URL: https://doi.org/10.1002/ad.2216 (date of access: 14.01.2025).

24. Time-based architecture / ed. by L. Bernard, H. René, Z.J. Van. Rotterdam: 010 Publishers, 2005. 249 p.

25. What is meant by adaptability in buildings? / J.A. Pinder et al. Facilities. 2017. Vol. 35, no. 1/2. P. 2–20. URL: https://doi.org/10.1108/f-07-2015-0053 (date of access: 14.01.2025).

26. Till J. Flexible housing. Routledge, 2016. URL: https://doi.org/10.4324/9781315393582. (date of access: 14.01.2025).

27. Kronenburg R. Flexible architecture: the cultural impact of responsive building. Open house international. 2005. Vol. 30, no. 2. P. 59–65. URL: https://doi.org/10.1108/ohi-02-2005-b0008. (date of access: 14.01.2025).

28. Douglas J. Building adaptation. Routledge, 2006. URL: https://doi.org/10.4324/9780080458519. (date of access: 14.01.2025).

29. Sustainability. Patch22. URL: https://patch22.nl/sustainability/#flexible-floorplans (date of access: 15.01.2025).

30. Portfolio archive - lemniskade. Lemniskade. URL: https://lemniskade.nl/portfolio/. (date of access: 15.01.2025).

31. TINA, Flexibles Büro- und Wohngebäude - STUDIO SOZIA. STUDIO SOZIA. URL: https://studiosozia.com/tina/. (date of access: 16.01.2025).

32. Vilakazi T. TINA – flexible office and residential building / STUDIO SOZIA. ArchDaily. URL: https://www.archdaily.com/997787/tina-flexible-office-and-residential-building-studio-sozia. (date of access: 16.01.2025).

D.Sc., Professor **Iryna L. Kravchenko, Oleksandr Onishchuk,**
Kyiv National University of Construction and Architecture

AN ANALYTICAL REVIEW OF PRACTICES OF APPLYING THE CONCEPT OF FLEXIBILITY IN ARCHITECTURE. MODERN EXPERIENCE

The article discusses modern practices of applying the concept of flexibility in architecture. This study examines the basic principles and trends in the formation of flexible architectural objects, exploring the key concepts that underlie realized buildings and structures that can adapt to changing needs and circumstances. The analysis examines various approaches to achieving flexibility, including modular construction, open floor plans, integration of smart technologies, and the use of adaptive materials and systems. The study examines how these principles are manifested in modern architectural practice, analyzes examples of successful flexible buildings and identifies new trends in this area. By examining current practices and identifying new trends, this study aims to provide valuable information for architects, planners and researchers seeking to design and build flexible, future-oriented multifunctional complexes.

The study takes as its starting point Cedric Price's 1964 Amusement Palace project as a prototype for future flexible multifunctional complexes - characterized by a flexible, reconfigurable structure that can change according to the needs and desires of its users. The interior space was designed to be easily modified, with movable platforms that could create different environments for different activities. Central to the concept of the Palace of Entertainment was the idea of user interaction. The author wanted the public to have control over the space, allowing them to shape their environment according to their interests and activities. The design encouraged spontaneous, unplanned interactions, stimulating creativity and experimentation.

Four examples of modern architectural objects are also presented, demonstrating the strategic choice of architects to use the principles of flexibility in architecture in order to extend the life cycle and ensure their relevance in the future. The Pavilion of the University of Braunschweig uses a lightweight modular design that allows for easy reconfiguration or relocation of the building. The concept of the building as a “future material warehouse” is complemented by the possibility of reusing architectural elements. The Sydney Fish Market uses two aspects of the flexible approach: the flexibility of the roof structure represented by the modular roof cassette and the functional flexibility that allows for flexible spatial planning, allowing spaces to overlap, change shape and adapt to a variety of activities. The PATCH22 residential building in Amsterdam. Amsterdam uses volumetric and

spatial flexibility. A special feature is the hollow core ceilings, which allow for easy transfer of communications, creating a variety of planning solutions. The project demonstrates the possibility of using a flexible layout of the internal structure and does not limit the stylistic variability of the facade. TINA building in Brazov. The architects used a flexible approach in two aspects - the 5x5m column grid, the main design element, provides spatial flexibility by offering a number of configurations, thereby ensuring that the building is adaptable to the changing needs of office and residential space. In addition, the modularity of the façade, characterized by a combination of opaque and transparent elements, allows for potential modifications in accordance with changes in building codes and user requirements.

In the modern urban environment, which is characterized by high dynamism, the use of flexible architecture techniques can become an advanced concept to meet the rapidly changing needs of residents and society as a whole. The relevance of flexible architecture lies in its ability to provide sustainable, flexible and efficient solutions that can meet the diverse needs of the present and the new requirements of the future that have not yet been created.

Keywords: Flexibility; adaptability; functional purpose; multifunctional complexes; flexibility in architecture.

REFERENCES

1. Caballero P. Study Pavilion TU Braunschweig / Gustav Düsing + Max Hacke. ArchDaily. URL: https://www.archdaily.com/1001360/study-pavilion-tu-braunschweig-gustav-dusing-plus-max-hacke?ad_campaign=normal-tag (date of access: 08.01.2025). {in English}

2. Düsing G., Hacke M. EUMiesAward. EUMiesAward. URL: https://miesarch.com/work/5208 (date of access: 08.01.2025). {in English}

3. Düsing G. Studierendenhaus TU Braunschweig, 2023 with Max Hacke. Gustav Düsing. URL: https://gustav-duesing.com/projects/the-informal-studio-3/ (date of access: 08.01.2025). {in English}

4. Sydney fish market. URL: https://3xn.com/project/sydney-fish-market (date of access: 08.01.2025). {in English}

5. Mullin S. Cedric price: 1934–2003. Architectural research quarterly. 2003. Vol. 7, no. 2. P. 113–118. DOI: https://doi.org/10.1017/s1359135503002070. {in English}

6. Price C., Littlewood J. The fun palace. The drama review: tDR. 1968. Vol. 12, no. 3. P. 127. URL: https://doi.org/10.2307/1144360 {in English}

7. Mathews S. The Fun Palace: Cedric Price's experiment in architecture and technology. Technoetic arts. 2005. Vol. 3, no. 2. P. 73–92. DOI: https://doi.org/10.1386/tear.3.2.73/1. {in English}

8. Mathews S. The fun palace as virtual architecture. Journal of architectural education. 2006. Vol. 59, no. 3. P. 39–48. DOI: https://doi.org/10.1111/j.1531-314x.2006.00032.x. {in English}

9. What should an adaptable building look like? / H. Watt et al. Resources, conservation & recycling advances. 2023. P. 200158. DOI: https://doi.org/10.1016/j.rcradv.2023.200158. {in English}

10. Askar R., Bragança L., Gervásio H. Design for adaptability (dfa)–frameworks and assessment models for enhanced circularity in buildings. Applied system innovation. 2022. Vol. 5, no. 1. P. 24. DOI: https://doi.org/10.3390/asi5010024. {in English}

11. Rhythmic Buildings- a framework for sustainable adaptable architecture / L.A. van Ellen et al. Building and environment. 2021. Vol. 203. P. 108068. DOI: https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2021.108068. {in English}

12. Change factors and the adaptability of buildings / J. M. Kamara et al. Sustainability. 2020. Vol. 12, no. 16. P. 6585. DOI: https://doi.org/10.3390/su12166585. {in English}

13. Shataliuk Y.V. Modern practice of designing adaptive architectural objects: analysis of examples and features. Scientific Bulletin of Construction. 2017. T. 88, № 2. P. 69–73. URL: http://nbuv.gov.ua/UJRN/Nvb_2017_88_2_19 (date of access: 06.12.2024). {In Ukrainian}

14. Shataliuk Y.V. SWOT- analysis as a method of researching the prospects for the development of adaptive architecture. Municipal economy of cities. Series: technical sciences and architecture. 2017. Issue. 135. P. 74–79. {In Ukrainian}

15. Ianenko O.I. Definition, emergence and development of adaptive architecture. Modern problems of architecture and urban planning. 2016. № 42. P. 149–153. URL: https://repositary.knuba.edu.ua/handle/987654321/4290 (date of access: 14.01.2025). {In Ukrainian}

16. Kravchenko I.L., Bitsan M.Y. Principles of mobile housing environment formation. Regional problems of architecture and urban planning. 2019. No. 13. P. 110–118. DOI: https://doi.org/10.31650/2707-403x-2019-13-110-118. {In Ukrainian}

17. Buravchenko S.H., Splavska K.D. Principles of creating adaptive housing in accordance with changes in the needs of residents. Design theory and practice. 2020. № 20. P. 18-26. DOI: https://doi.org/10.18372/2415-8151.20.15046 {In Ukrainian}

18. Habrel M., Piasta Yu. Prerequisites for architecture flexibility. Urban planning and territorial planning: scientific and technical digest. 2020. № 75. P. 97–113. DOI: https://doi.org/10.32347/2076-815x.2020.75.97-113. (date of access: 14.01.2025). {In Ukrainian}

19. Shevchenko A. State of study of the issue of adaptive residential environment. Current problems of architecture and urban planning. 2023. No. 66. P. 278–289. DOI: https://doi.org/10.32347/2077-3455.2023.66.278-289. {In Ukrainian}

20. Building for the future. Open Building. URL: https://www.openbuilding.co/ (date of access: 14.01.2025). {in English}

21. Nascimento D.M. Interview: N. J. habraken explains the potential of the open building approach in architectural practice. Open house international. 2012. Vol. 37, no. 4. P. 5–13. DOI: https://doi.org/10.1108/ohi-04-2012-b0001. {in English}

22. Hertzberger H. Polyvalence: the competence of form and space with regard to different interpretations. Architectural design. 2014. Vol. 84, no. 5. P. 106–113. DOI: https://doi.org/10.1002/ad.1816 (date of access: 14.01.2025). {in English}

23. Kendall S. Four decades of open building implementation: realising individual agency in architectural infrastructures designed to last. Architectural design. 2017. Vol. 87, no. 5. P. 54–63. DOI: https://doi.org/10.1002/ad.2216 (date of access: 14.01.2025). {in English}

24. Time-based architecture / ed. by L. Bernard, H. René, Z. J. Van. Rotterdam: 010 Publishers, 2005. 249 p. {in English}

25. What is meant by adaptability in buildings? / J. A. Pinder et al. Facilities. 2017. Vol. 35, no. 1/2. P. 2–20. DOI: https://doi.org/10.1108/f-07-2015-0053 (date of access: 14.01.2025). {in English}

26. Till J. Flexible housing. Routledge, 2016. DOI: https://doi.org/10.4324/9781315393582 (date of access: 14.01.2025). {in English}

27. Kronenburg R. Flexible architecture: the cultural impact of responsive building. Open house international. 2005. Vol. 30, no. 2. P. 59–65. DOI: https://doi.org/10.1108/ohi-02-2005-b0008 (date of access: 14.01.2025). {in English}

28. Douglas J. Building adaptation. Routledge, 2006. DOI: https://doi.org/10.4324/9780080458519 (date of access: 14.01.2025). {in English}

29. Sustainability. Patch22. URL: https://patch22.nl/sustainability/#flexible-floorplans. {in English}

30. Portfolio archive - lemniskade. Lemniskade. URL: https://lemniskade.nl/portfolio./ {in English}

31. TINA, Flexibles Büro- und Wohngebäude - STUDIO SOZIA. STUDIO SOZIA. URL: https://studiosozia.com/tina/. {in English}

32. Vilakazi T. TINA – flexible office and residential building / STUDIO SOZIA. ArchDaily. URL: https://www.archdaily.com/997787/tina-flexible-office-and-residential-building-studio-sozia. {in English}

DOI: 10.32347/2786-7269.2025.11.143-155
УДК 72.04.021.7:721-035.3(477.51-25)

Лукашова А.В.,
luka.design@ukr.net, ORCID: 0009-0002-3028-5724,
к. арх., доцент **Шевченко Л.С.,**
Ls.shevchenko@ukr.net, ORCID: 0000-0001-6840-8406, H-index 4,
Національний університет «Полтавська політехніка»
імені Юрія Кондратюка

РІЗЬБЛЕНИЙ ДЕКОР В АРХІТЕКТУРІ: ІСТОРИЧНИЙ ЕКСКУРС

Розглянуто досвід використання різьбленого декору в країнах Стародавнього Світу, Близького та Далекого Сходу, європейських країн та України. З'ясовано його особливості, змістовну й тематичну складову (сюжети, символіку образів тощо), роль в організації просторово-предметного середовища. Розглянуто основні матеріали різьблення, прийоми використання різьбленого декору, значення його елементів в різних країнах. Виявлено види орнаментів, які традиційно використовувалися у різьбленому декорі.

Ключові слова: архітектура; декор; архітектурний декор; різьблений декор; різьблення; кам'яне різьблення; дерев'яне різьблення; різьблення в архітектурі.

Постановка проблеми. У період розвитку держави та суспільства важливим та актуальним постає питання дослідження архітектурно-історичної спадщини різних регіонів України. Багато будинків, особливо в центрах міст, не витримали наступу багатоповерхівок. Тож цілий пласт української культури поступово опинився під загрозою зникнення. Усвідомлення значущості цього процесу значно загострилося у період українсько-російської війни, коли руйнується й знищується наше культурне надбання.

Різьблення по дереву або каменю в архітектурі – один із найдавніших і найпоширеніших видів декоративного мистецтва. Цей вид оздоблення архітектурних будівель дає можливість вивчати культуру різних народів та епох. Різьблення є невід'ємною складовою українського та світового мистецтва, духовної та художньої культури людства. Воно відігравало важливу роль у дизайні просторово-предметного середовища міст, збагачуючи його художньо-естетично, нерідко підкреслюючи стильові особливості його невід'ємних складових. Тож, актуальність даного дослідження вбачаємо у:

- недостатній вивченості цього питання, особливо на Поліських теренах;

- небезпеці руйнації досліджуваних об’єктів, їх елементів із різьбленим декором;
- небезпеці знищення суттєвої культурно-історичної спадщини різних регіонів України.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. За визначенням О. Тищенка «декор – це система (сукупність) прикрас споруди (інтер’єру, фасаду)» ([1], с. 81). Таким декором є окремі елементи та деталі будівель, які надають їй більшої виразності – скульптурні рельєфи, фактурні поверхні, декоративно-монументальні панно, тощо. Вони віддзеркалюють різні архітектурні стилі і є обличчям певних періодів в архітектурно-історичному розвиткові міста. Низка науковців займалася дослідженнями у цій царині, зокрема – Ю. Асєєв [2], Р. Шмиг, В. Боярчук, І. Добрянський, В. Барабаш [3], W. Koch [4]. З позиції даної роботи вирізняються дисертаційні дослідження, присвячені декору в архітектурі м. Харків (П. Дзюбенко [5]), архітектурному ордеру у забудові м. Львів (О. Білінської [6]), певним архітектурним стилям (О. Моргун [7]) та архітектурним школам, які уособлюють традиції та національну самобутність (Н. Божинського [8], Д. Вітченка [9]).

Широко висвітлюється в літературних джерелах значення різьблених декоративних елементів в архітектурі різних країн. Зокрема, проблеми становлення та розвитку дерев’яного різьблення сакральних споруд України вивчалося в роботах Б. Тимківа [10], М. Драгана [11], Р. Одрехівського [12]. Архітектурне різьблення Чернігова висвітлено в деяких роботах С. Чернякова. Дослідження світової традиційної культури різьблення по дереву та каменю в архітектурі розглядаються в роботах сучасних дослідників. Зокрема – дослідження орнаментальних елементів оздоблення вікон і дверей з різних матеріалів в архітектурі Китаю [13], архітектурного декору Греції [14], традиційних технік і прийомів орнаментального дерев’яного різьблення Малайзії [15] та Індії [16], традиційного кам’яного різьблення Китаю [17]. Корисну інформацію по темі знаходимо і у виданнях культурологічного й народознавчого напрямків [18-20].

Варто зазначити, що більшість досліджень стосуються саме сакральної архітектури, в той час як використанню різьблення в архітектурі житлових будинків приділено значно менше уваги.

Метою публікації є дослідження різьбленого декору в світовій архітектурі.

Дана робота є складовою науково-дослідної роботи кафедри архітектури будівель та дизайну Національного університету «Полтавська політехніка імені Юрія Кондратюка» по збереженню архітектурно-історичної спадщини України та підготовці здобувачів третього рівня вищої освіти.

Методи дослідження, використані в роботі: порівняльного та історичного аналізу, теоретичний, систематизації, емпіричний (спостереження, порівняння, опитування, фотофіксація), графоаналітичний.

Результати та їх обґрунтування. Різьблений декор в архітектурі використовується в різних країнах та культурах світу і має свої унікальні традиції та стилі. Мова йде про кам'яний та дерев'яний різьблений декор. Традиції використання різьбленого декору в архітектурі різних країн світу розглянемо на прикладі країн Стародавнього Світу, Близького та Далекого Сходу, Європи епохи бароко й Відродження. Особливу увагу звернемо на українські терени від часів Київської Русі до сьогодення. Аналіз світового досвіду застосування різьбленого декору в архітектурних об'єктах світу дасть можливість у подальшому виявити специфіку та його характерні риси, які знайшли своє відображення й поширення на українській землі.

Стародавній Єгипет. Архітектурний декор з'явився одночасно з архітектурою і став невід'ємною її частиною. Поступово зародилась ідея архітектурного ордера (хоча сам термін з'явиться пізніше у греків). Інтуїтивно стародавні архітектори відчували необхідність обіграти тектоніку, візуалізувати і підкреслити роботу конструкцій за допомогою декору. Так, потужні несучі стовпи перетворилися в Стародавньому Світі на декоративні колони, місця зчленування стали капітелями, а опори в єгипетських або перських храмах уособлювали справжній ліс із лотосів та пальм. Єгиптяни при цьому вкривали всі поверхні будівель малюнками, ієрогліфами і орнаментами, часто вирізаними прямо по каменю [21]. Перші кам'яні об'ємно-рельєфні різьблення були барельєфними. Тим самим породили ідею надання декоративності самій стіні, уникаючи гладких незабарвлених поверхонь.

У єгипетському архітектурному візерунку нерідко використовується лотос – квітка чи пелюстки, символ богині Ісіди. Лотос уособлював сонце, силу природи, чистоту, здоров'я, магію. В єгипетському орнаменті використовувалися папіруси, тростини, квіти лілії, листя пальми, акації, тернини та тутового дерева (Древа життя). Вживаними були зображення вінків із гілок, грон винограду, фініків, малюнок деревної кори. Єгиптяни також включали до архітектурних орнаментів зображення гусака, сокола, фігуру антилопи, мавпи, чаплі, риби, жука-скарабея, змії, що згорнулася в кільце [21]. Архітектурний орнамент Стародавнього Єгипту нерідко включав прямі, ламані, хвилясті лінії, сітку та ієрогліфи, завдяки чому міг бути прочитаний як текст.

Стародавній Іран (Персія). В іранській архітектурі ісламського періоду орнамент набув великого поширення. Для створення декору в іранських релігійних будинках були використані найбагатші декоративні форми, зображення, у тому числі скульптурні, барельєфні. Після прийняття ісламу під

впливом нової релігії скульптура поступово трансформується в архітектурний декор. Стали дуже популярними роботи по каменю з виготовленням рельєфів з квітів та рослин, а також різьблення по штукатурці та дереву, створення поливних кахлів, гіпсових стукко [22]. Іранські майстри активно застосовували штукатурку, цеглу, керамічні плитки та у невеликих кількостях камінь в обробці ісламських релігійних споруд. Фрагменти різьблення по каменю з різними шрифтами або рослинними орнаментами використовувалися в окремих частинах будівель ісламської епохи, для сходів, перил та виготовлення надгробків.

Для іранського мусульманського орнаменту характерне використання великих геометричних фігур (правильні багатокутники, овали, трикутники), що накладаються один на одного і заповнюються всередині дрібнішим орнаментом (ромби – символи землі, рослинні мотиви). Коло («шамсе») є божественним та небесним символом (сонця та небесного світла). Геометричні багатокутники – це таємничі мотиви, які засновані на розподілі кола і символізують первісну побудову Всесвіту. Вони пов'язані з кодовими номерами п'ять, шість, вісім і т.д. Східний трикутник символізує жіночу сутність, а висхідний символізує гору і чоловічу сутність. Трикутники, що повторюються, зі сходом і низхідними символами символізують єдність суперечливих елементів. Постійне повторення і дроблення рисунку приводило, відповідно, до появи більш дрібного декору. В результаті створювалася картина візерунка, що закриває поверхню стіни ніби багатьма шарами прозорого мережива [22].

В Ірані різьблення по дереву не набуло широкого поширення, тому що цей матеріал був дуже дорогим та рідкісним. З дерева виробляли дерев'яні різьблені двері для мечетей мінбари. Орнамент дерев'яного різьблення дуже близький до орнаментів штукатурки – квадрати, прикрашені всередині прямокутними вставками. Поруччя сходів мінбари утворено розетками, пересіченими квадратами. Повторюючись, ці мотиви складають складний рухливий візерунок.

Стародавні Греція і Рим. Стародавні греки вигадали виразний різьблений карниз, що вінчає будинок, з безліччю комбінацій архітектурних орнаментів – меандрів, акантового листя, пальмет, листя алое, латаття, плюща, лавра, оливи, жимолості тощо. Основне в орнаменті – чіткий ритм, чергування однакових елементів за величиною, замкнутість, розташування вздовж фризу будівлі. У період правління дорійських племен у XIII ст. до н.е. декор був орнаментом з елементарних фігур – кіл, ромбів, правильних трикутників, згорнутих прямих ліній, меандрів (символів води) [21]. Пізніше античний візерунок збагатився новим елементом – пальметою. Потім – грифонами, сфінксами, напівлюдьми-напівзвірями з давньої міфології (у декорі будівель архаїчного періоду).

Основне – зберігається чіткість малюнка та симетрія. Характерний античний візерунок на керамічних плитках, що прикрашали будівлі – подвійна плетінка, що з'єднує горизонтальну лінійну спіраль, раковина, пальмета, іоніки, намисто, акант [21].

Принциповою відмінністю Стародавнього Риму від Греції був масштаб і багатослівність, поява арочних форм, замкових каменів і напівкруглих (лучкових) фронтонів, які суттєво доповнили не лише конструктивні, а й декоративні можливості архітектури. Саме у римському декорі з'явилися музичні інструменти, маски, смолоскипи, військова атрибутика, стрічки, плоди [21]. Тут давньогрецький символізм орнаменту переростає у декоративне мистецтво. Основним елементом римського орнаменту залишався грецький аканф (акант), з'єднаний із лінійною спіраллю. В центрі її завитків розташовували квітку, що розпустилася, фігуру тварини, вплітаючи нові, реалістичні зображення в канву давнього орнаменту. Запозичення з грецького орнаменту меандрів, пальмет, спіралей, хвиль призвела до того, що багато прикрас на римських будинках отримали назву «греко-римських».

Індія. Країна має свої характерні особливості різьблення та декору в храмах і палацах: статуї богів та богинь, архітектурні деталі (капітелі й карнизи), прикрашені візерунками у вигляді геометричних мотивів, рослинного орнаменту та сцен з міфології. Так, різьблені візерунки включають мотиви квітів, тварин і богів. Такі різьблені деталі можуть прикрашати не тільки стіни, але й арки, стовпи та інші архітектурні елементи. У південній Індії, особливо в штатах Карнатака і Тамілнад, існують маврські споруди з різьбленими кам'яними візерунками, включаючи скульптури – Раджараджешварі та Кешавасвамі [23]. У деяких частинах Індії, таких як Керала, дерев'яні будинки прикрашені різьбленим декором на дерев'яних стелях та колонах. Ці різьблені деталі мають природні мотиви – листя та квіти.

В мавзолеях, палацах та фортах Індії можна побачити різьблення на кам'яному декорі (арки, вікна, стіни та башти з геометричними візерунками, мотивами тварин та рослинним орнаментом). Вони виготовлялися вручну та мали детальні різьблені геометричні візерунки, або містять сцени з повсякденного життя. Вони могли бути виготовлені в різних масштабах, від дрібних деталей до великих композицій, залежно від призначення та стилю.

Далекий Схід. Китай. Різьблений декор в китайській дерев'яній і кам'яній архітектурі має багатовікові традиції у прикрашенні храмів, палаців, садів і селянських будинків. В китайських храмах та будівлях монастирів зазвичай є різьблені статуї Будди, богів та інших релігійних фігур, а також декоративні візерунки з міфологічними мотивами (драконами, химерами тощо), що символізують удачу та захист. В окремих регіонах Китаю, таких як провінція

Хунань, існують традиції різьблення геометричних візерунків, дерев'яних вітражів, стель і фронтонів. Багатий історичний контекст мають різьблені дерев'яні меблі та предмети інтер'єру (різьблені столи, стільці, скрині та інші).

Різьблений декор став невід'ємною частиною ландшафтного середовища, зокрема – Гори Хуаншань з різьбленими кам'яними стінами та сходами [24].

Далекий Схід. Японія. Різьблений декор в архітектурі є важливою частиною японського мистецтва та культури. Його використовують для створення атмосфери спокою, гармонії та краси. Він часто відображає природні мотиви та духовну спадщину країни. Виразними прикладами традицій використання різьбленого декору в японській архітектурі є:

- японські розсувні двері, вікна, перегородки, відомі як «шьоджі» [25], різні за розмірами і стилями, прикрашені різьбленими декоративними візерунками та зображеннями природи, створюють естетичний ефект та інтимну атмосферу в інтер'єрі;
- різьблені стовпи і балюстради храмів і святилищ, прикрашені міфологічними сценами, зображеннями тварин та геометричними візерунками;
- різьблені дерев'яні фасади традиційних японських будинків, деталі яких включають геометричні візерунки, рослинний орнамент і мотиви природи;
- стеля та меморіальні знаки мають різьблені ієрогліфи, символи і зображення релігійного значення на вшанування пам'яті про покійних;
- декор королівських палаців і замків, оздоблених різьбленими декоративними деталями на підтримуючих стовпах та фронтоні (палац Кіото та інші). Ці деталі надають палацам розкіш та велич.

Іспанія. В іспанській архітектурі палаців, мечетей та фортець наявні різьблені декоративні елементи в арках, балконах та фасадах, особливо в період панування маврського та готичного стилів. Це відобразилося й на появі нового терміну «маврська різьба» (або «маврський декор») – це вид різьби та декоративного мистецтва, який був поширений в історичних областях, які колись належали до арабського мусульманського світу, включаючи Іспанію та Південну Францію [23]. Маврська різьба використовувала геометричні та рослинні орнаменти для прикрашання архітектурних елементів, меблів та інших предметів. Виявлено такі основні риси маврської різьби:

1) геометричний декор – гексагони, ромби, зірки та інші складні та ритмічні геометричні орнаменти на поверхнях споруд;
2) рослинний декор – виноградні лози, квіти, листя для створення природних орнаментів;
3) арабська каліграфія для транслювання релігійних та культурних послань, важливих для мусульманського мистецтва;

4) використання дорогих матеріалів – мармуру, різних видів деревини для створення багатого та розкішного декору;

5) використання дорогих мозаїки та кераміки для створення кольорових та деталізованих декоративних схем.

В епохи ренесансу і бароко іспанські храми, палаци та церкви прикрашалися різьбленням на мармурі, дереві та інших матеріалах – на фасадах, органах, меблях і в олтарях всередині об'єктів переважно релігійного змісту. Це стосувалося й різьблених арок та портиків на вулицях та величних входів у собори та храми.

Франція. Палаци, церкви та кафедральні собори, прикрашені різьбленими деталями були характерні у Франції в епохи ренесансу і бароко. Ці деталі є складними скульптурними композиціями, які включають фігури ангелів, міфологічних персонажів та інші елементи. Ними оздоблювали вежі, фасади, портики, арки, балкони, вікна (різьблені вітражі), панелі, стелі й меблі (палаци Версалю, Лувру, Фонтенбло). Різьблений декор в архітектурі Франції є невід'ємною частиною культурної спадщини країни.

Київська Русь. Україна. Найвизначнішим новим явищем в архітектурі Київської Русі X-XII ст. було кам'яне монументальне будівництво. Основними будівельними матеріалами кам'яного зодчества були цегла та необтесане каміння [2]. Поширенню кам'яної пластики сприяло використання білого каменю, який було легко обробляти. Особливого поширення набувають геометричний, рослинний, тваринний орнаменти невисокого рельєфу, виконувані на шиферних плитах. Матеріал для них добувався в овруцьких каменоломнях. Часом, на плитах вирізьблювали цілі барельєфні композиції.

Підґрунтям для поширення дерев'яного різьблення стала близькість основного виробничого матеріалу – дерева. Це сприяло розвитку й удосконаленню технік будівництва, урізноманітненню елементів з різьбленим декором та відсутності потреби у пошуку практичних альтернатив цьому напрямку із-за наявності на той час великої кількості деревних матеріалів у регіонах, багатих на ліси (Сіверщина, Полісся, Карпати [2]). Різьбленням оздоблювали деталі будівель – одвірки, сволоки, балки, ли́штви, дошки піддашшя, горішні вікна. Інтер'єри жител різьбленням прикрашали віконниці, полички та мисники. Особливу увагу різьбярі приділяли сволокові, який займав більше місця в інтер'єрі хати. Часто його оздоблювали плосковиїмчастим різьбленням з мотивами розеток, кіл, смужок, ламаних ліній тощо. Бокові частини сволок іноді профілювали крученим орнаментом. Оздоблювали різьбленням і хатні вікна, двері й ворота.

З початку XIX ст. в Україні була популярна глуха «корабельна» різьба, пізніше – пропильна. Її візерунки згодом ставали більш повітряними,

досягнувши найбільшого розвитку у XX столітті. Пізнє різьблення багато в чому повторювало мотиви бароко, класицизму, еклектики і було мало пов'язане з конструктивними елементами. Різьблення у північних регіонах України відрізнялося більш простими та укрупненими формами, переважали геометричні фігури, солярні символи, рослинні орнаменти. Техніка різьблення по дереву включала в себе використання різних інструментів, зокрема, долота, ножиців та різців для видалення частини дерева та створення образів та візерунків на поверхні. Пізніше різьблення варіювалось від простих геометричних візерунків до складних зображень сцен із сільського життя, міфологічних персонажів та символів. Традиційно прикрашалися вагомі частини житла і двора – лиштва, карнизи та фронтони дахів, зашиті в дерев'яний короб стики вінців, ганок та садибні ворота. Використовувалися такі види різьблення, як глухе, ажурне, прорізне, пропильне, об'ємне тощо. Цей декоративно-художній прийом характеризується плавними лініями рослинного орнаменту, що переплітаються, у поєднанні з солярними знаками і великим розміром завитків волют. Особливою ошатністю вирізнялося різьблений декор лобових дощок покрівлі, які оберігали від загнивання кінці горизонтальних конструктивних елементів каркасу покрівлі у вигляді жердин (платви). Місце стику лобових дощок на торці конкового брусу покрівлі маскувалося короткими дошками з різьбленим орнаментом.

У цей період деякі сільські будинки в Україні мали зовнішнє декоративне оздоблення, подібне до оздоблення міських будівель. Тут додатковою окрасою фасаду є різьблені дошки-фризи (іноді в поєднанні з різьбленим карнизом), що візуально відокремлюють горищні приміщення хати від решти об'єму будинку. У різьбленому оздобленні віконних отворів найбільш ефектно виділялися косяки або червоні вікна світлиць – житлових приміщень другого поверху хати. У багатих сільських будинках зустрічається також виразне декоративне рішення лиштви вікон нижнього (цокольного) поверху будинку, приміщення якого використовувалися для господарських потреб.

Висновок. Архітектура різних країн світу відображає соціально-політичну ситуацію, економічну спроможність, релігійні канони, світогляд та уподобання людей. Декоративне оздоблення архітектури часто вказує на певні вірування, естетичні та культурні уподобання народів. Через різні символи в орнаментах, зображення рослин або тварин в різьбленому декорі як кам'яному, так і дерев'яному, передається світосприйняття людей всіх епох. У всі часи люди потребували краси, а особливо такої, до якої можна доторкнутися. Тож, декоративне різьблення давало можливість задовольнити естетичну потребу та в той же час показати статус власника, його релігійні та естетичні уподобання.

Попередній досвід запровадження й широкого поширення різьбленого декору в архітектурі різних країн світу, дав можливість констатувати:

1) залежність використання різних матеріалів для нанесення різьблення залежно від географічних та кліматичних умов;

2) особливість різьбленого декору країн Близького Сходу полягає в його складній світоглядній та релігійній семантиці, використанні орнаменту з особливою геометрією, пропорціями, способах їх виконання, використанню подібних тем і сюжетів;

3) традиції використання різьбленого декору в архітектурі країн Далекого Сходу відображають багатство мистецтва та культури цих країн. Різьблені візерунки та деталі грають важливу роль у дизайні китайських архітектурних споруд;

4) знахідкою різьбленого декору в іспанській архітектурі є «маврська різьба», яка й дотепер є важливим елементом архітектури та мистецтва в регіонах свого впливу – Південній Іспанії (Андалусії), частинах деяких країн Середземномор'я);

5) українська декоративна різьба по дереву минулих століть – одна з яскравих і самобутніх сторінок українського мистецтва, яка, нажаль, і досі залишається малодослідженою.

Дерево не такий витривкий матеріал, як камінь, і часто елементи дерев'яного різьблення без належних умов експлуатації втрачаються назавжди. Тож, дослідження різьбленого декору дає можливість більше дізнатися про культуру різних народів та привернути увагу до збереження існуючих до теперішнього час зразків дерев'яного різьблення. Особливо це актуально щодо збереження цього виду мистецтва на наших українських теренах, яке потерпає від військових дій країни-агресора. У цьому напрямку вбачаємо висвітлення результатів дослідження у **подальших наукових публікаціях.**

Список використаних джерел:

1. Мардер А.П, Євреїнов Ю.М, Пламеницька О.А. Архітектура: Корот. словник-довідник / ред. А.П. Мардера. Київ: Будівельник, 1995. 335 с.: іл.

2. Асєєв Ю.С., Харламов В.С. Архітектура: дерев'яна і кам'яна / Історія української культури: у 5 т. Т.1. Історія культури давнього населення України. Київ: Наукова думка, 2001. С. 835-884.

3. Шмиг Р.А. , Боярчук В.М. , Добрянський І.М. , Барабаш В.М. Різьблення художнє: Термінологічний словник-довідник з будівництва та архітектури /заг. ред. Р.А. Шмига. Львів, [б.в.], 2010. 220 с. ISBN 978-966-7407-83-4.

4. Koch W. Das Standardwerk zur europäischen Baukunst von der Antike bis zur Gegenwart. London: Prestel, 2018. 552 p. ISBN: 9783577100892.

5. Дзюбенко П.О. Декор в архітектурі міста Харкова: автореф. дис. … канд. арх.: 18.00.01. Харків, 2011. 20 с.

6. Білінська О.Б. Архітектурний ордер у забудові Львова XVI-XVII ст. (принципи застосування і методи реставрації): автореф. дис. … канд. арх.: 18.00.01. Львів, 2006. 20 с.

7. Моргун О.Л. Історизм в архітектурі Одеси другої половини XIX – початку XX ст. (стильові та композиційні аспекти): автореф. дис. … канд. арх.: 18.00.01. Одеса, 2010. 19 с.

8. Божинський Н.І. Національні традиції у формотворенні предметно-просторового середовища народнього житла (на прикладі Східної України): автореф. дис. … канд. арх.: 18.00.01. Харків, 2010. 20 с.

9. Вітченко Д.М. Патерни української самобутності в спадщині харківської архітектурної школи першої третини XX ст.: джерела й особливості реабілітації: автореф. дис. … канд. арх.: 18.00.01. Харків, 2019. 25 с.

10. Тимків Б. Мистецтво України та діаспора: дереворізьба сакральна та ужиткова. Івано-Франківськ: Нова зоря, 2012. 316 с.

11. Драган М. Українська декоративна різьба XVI-XVIII ст. Київ: Наукова думка, 1970. 198 с.

12. Одрехівський Р.В. (2020). Мистецтво різьблення і передумови становлення дизайну просторово-предметного середовища в Галичині. *Художня культура. Актуальні проблеми*. 2020. № 16 (1). С. 98-102. DOI: https://doi.org/10.31500/1992-5514.16.2020.205243.

13. Cao Z., Mustafa M.B. A study of ornamental craftsmanship in doors and windows of Hui-style architecture: The Huizhou three carvings (brick, stone, and wood carvings). *Buildings*. 2023. Т. 13. № 2. P. 351-368. https://doi.org/10.3390/buildings13020351

14. Neils J. Color and Carving: Architectural Decoration in Mainland Greece. *A Companion to Greek Architecture*. 2016. P. 164-177. DOI:10.1002/9781118327586.ch12

15. Nazuki S.N., Kamarudin Z. Techniques of wood carving applied in the architectural elements of malay vernacular buildings. *Journal of Built Environment, Technology and Engineering*. 2017. Т. 2. P. 198-202.

16. Li X.H. Research about techniques of Chinese traditional architectural stone carving. *Advanced Materials Research*. 2011. Т. 154. P. 1232-1239.

17. Thakkar J. Naqsh: The art of wood carving in traditional houses of Gujarat, a focus on ornamentation. India: Research Cell School of Interior Design, 2004. 224 p. ISBN 81-7525-285-5.

18. Крижицький С. Д. Архітектура. Історія української культури: у 5 т. Т.1 Історія культури давнього населення України. Київ: Наукова думка, 2001. С. 386-409.

19. Історія українського мистецтва у 6 томах /заг. ред. М.П. Бажан. Т. 4. Книга 2. Мистецтво другої половини XIX століття. К.: УРЕ, 1970. 436 с.

20. Українське народознавство / Галина Лозко. Вид. 5-те, зі змін.та допов. Тернопіль: Мандрівець, 2011. 512 с. : іл.

21. Choisy A. Historia de la arquitectura. Tomo I. URL: https://archive.org/details/choisy-2023.-historia-de-la-arquitectura.-tomo-i/page/n415/mode/2up (дата звернення 10.01.2025).

22. Encyclopaedia Iranica. Stucco Decoration in Iranian Architecture. URL: https://iranicaonline.org/articles/stucco-decoration-in-iranian-architecture (дата звернення 10.01.2025).

23. Western Islamic art: Moorish. URL: https://www.britannica.com/topic/Islamic-arts/Western-Islamic-art-Moorish (дата звернення 10.01.2025).

24. Hiking the Spectacular HuangShan Mountain (黄山) in China. URL: https://crew-explorer.com/huangshan-part-2/?utm_source=rss&utm_medium=rss&utm_campaign=huangshan-part-2#google_vignette (дата звернення 10.01.2025).

25. Brooke Larsen.Shoji: All You Need to Know About Japanese Paper Screens. URL: https://japanobjects.com/features/shoji (дата звернення 10.01.2025).

Lukashova Anastasiia,
PhD in Architecture, Associate Professor **Shevchenko Liudmyla,**
National University “Yuri Kondratyuk Poltava Polytechnic”

CARVED DECOR IN ARCHITECTURE: A HISTORICAL TOUR

The experience of using carved decor in the countries of the Ancient World, the Middle and Far East, European countries and Ukraine is considered in the article.

The decoration of architecture often indicates certain beliefs, aesthetic and cultural preferences of peoples. Through various symbols in ornaments, images of plants or animals in carved decor, both stone and wooden, the worldview of people of all eras is conveyed. At all times, people needed beauty, and especially beauty that could be touched. Therefore, decorative carving made it possible to satisfy the aesthetic need and at the same time show the status of the owner, his religious and aesthetic preferences. The features of the decor, its content and thematic component (plots, symbolism of images, etc.), and its role in the organization of the spatial-objective environment are clarified in the article. As a result, the dependence of the use of various materials for carving on geographical and climatic conditions was revealed. The main carving materials, methods of using carved decor, and the significance of its elements in different countries are considered. The types of ornaments that were traditionally used in carved decor are identified. The peculiarity of the carved decor of the Middle East countries lies in its complex ideological and religious semantics, the use of ornaments with special geometry, proportions, methods of their execution, the use of similar themes and plots. The traditions of using carved decor in the architecture of the Far East countries reflect the richness of the art and culture of these countries. Carved patterns and details play an important role in the design of Chinese architectural buildings and structures. A find of carved decor in Spanish architecture is “Moorish carving”. It is still an important element of architecture and art in the regions of its influence – Southern Spain (Andalusia), parts of some Mediterranean countries. Ukrainian decorative wood carving of past centuries is one of the bright and original pages of Ukrainian art, which, unfortunately, still remains little studied.

Keywords: architecture; decor; architectural decor; carved decor; carving; stone carving; wood carving; carving in architecture.

REFERENSES

1. Marder A.P, Yevreinov Yu.M, Plamenytska O.A. Arkhitektura: Korot. slovnyk-dovidnyk / red. A.P. Mardera. Kyiv: Budivelnyk, 1995. 335 s.: il. {in Ukrainian}

2. Asieiev Yu.S., Kharlamov V.S. Arkhitektura: dereviana i kamiana / Istoriia ukrainskoi kultury: u 5 t. T.1. Istoriia kultury davnoho naselennia Ukrainy. Kyiv: Naukova dumka, 2001. S. 835-884. {in Ukrainian}

3. Shmyh R.A. , Boiarchuk V.M. , Dobrianskyi I.M. , Barabash V.M. Rizblennia khudozhnie: Terminolohichnyi slovnyk-dovidnyk z budivnytstva ta arkhitektury /zah. red. R.A. Shmyha. Lviv, [b.v.], 2010. 220 s. ISBN 978-966-7407-83-4. {in Ukrainian}

4. Koch W. Das Standardwerk zur europäischen Baukunst von der Antike bis zur Gegenwart. London: Prestel, 2018. 552 p. ISBN: 9783577100892. {in English}

5. Dziubenko P.O. Dekor v arkhitekturi mista Kharkova: avtoref. dys. … kand. arkh.: 18.00.01. Kharkiv, 2011. 20 s. {in Ukrainian}

6. Bilinska O.B. Arkhitekturnyi order u zabudovi Lvova XVI-XVII st. (pryntsypy zastosuvannia i metody restavratsii): avtoref. dys. … kand. arkh.: 18.00.01. Lviv, 2006. 20 s. {in Ukrainian}

7. Morhun O.L. Istoryzm v arkhitekturi Odesy druhoi polovyny KhIKh – pochatku KhKh st. (stylovi ta kompozytsiini aspekty): avtoref. dys. … kand. arkh.: 18.00.01. Odesa, 2010. 19 s. {in Ukrainian}

8. Bozhynskyi N.I. Natsionalni tradytsii u formotvorenni predmetno-prostorovoho seredovyshcha narodnoho zhytla (na prykladi Skhidnoi Ukrainy): avtoref. dys. … kand. arkh.: 18.00.01. Kharkiv, 2010. 20 s. {in Ukrainian}

9. Vitchenko D.M. Paterny ukrainskoi samobutnosti v spadshchyni kharkivskoi arkhitekturnoi shkoly pershoi tretyny KhKh st.: dzherela y osoblyvosti reabilitatsii: avtoref. dys. … kand. arkh.: 18.00.01. Kharkiv, 2019. 25 s. {in Ukrainian}

10. Tymkiv B. Mystetstvo Ukrainy ta diaspora: derevorizba sakralna ta uzhytkova. Ivano-Frankivsk: Nova zoria, 2012. 316 s. {in Ukrainian}

11. Drahan M. Ukrainska dekoratyvna rizba XVI-XVIII st. Kyiv: Naukova dumka, 1970. 198 s. {in Ukrainian}

12. Odrekhivskyi R.V. (2020). Mystetstvo rizblennia i peredumovy stanovlennia dyzainu prostorovo-predmetnoho seredovyshcha v Halychyni. Khudozhnia kultura. Aktualni problemy. 2020. № 16 (1). S. 98-102. DOI: https://doi.org/10.31500/1992-5514.16.2020.205243. {in Ukrainian}

13. Cao Z., Mustafa M.B. A study of ornamental craftsmanship in doors and windows of Hui-style architecture: The Huizhou three carvings (brick, stone, and wood carvings). *Buildings*. 2023. T. 13. № 2. P. 351-368. https://doi.org/10.3390/buildings13020351. {in English}

14. Neils J. Color and Carving: Architectural Decoration in Mainland Greece. *A Companion to Greek Architecture*. 2016. P. 164-177. DOI:10.1002/9781118327586.ch12. {in English}

15. Nazuki S.N., Kamarudin Z. Techniques of wood carving applied in the architectural elements of malay vernacular buildings. *Journal of Built Environment, Technology and Engineering*. 2017. T. 2. P. 198-202. {in English}

16. Li X.H. Research about techniques of Chinese traditional architectural stone carving. *Advanced Materials Research*. 2011. T. 154. P. 1232-1239. {in English}

17. Thakkar J. Naqsh: The art of wood carving in traditional houses of Gujarat, a focus on ornamentation. India: Research Cell School of Interior Design, 2004. 224 p. ISBN 81-7525-285-5. {in English}

18. Kryzhytskyi S.D. Arkhitektura. Istoriia ukrainskoi kultury: u 5 t. T.1 Istoriia kultury davnoho naselennia Ukrainy. Kyiv: Naukova dumka, 2001. S. 386-409. {in Ukrainian}

19. Istoriia ukrainskoho mystetstva u 6 tomakh /zah. red. M.P. Bazhan. T. 4. Knyha 2. Mystetstvo druhoi polovyny XIX stolittia. K.: URE, 1970. 436 s. {in Ukrainian}

20. Ukrainske narodoznavstvo / Halyna Lozko. Vyd. 5-te, zi zmin.ta dopov. Ternopil: Mandrivets, 2011. 512 s.: il. {in Ukrainian}

21. Choisy A. Historia de la arquitectura. Tomo I. URL: https://archive.org/details/choisy-2023.-historia-de-la-arquitectura.-tomo-i/page/n415/mode/2up. (data zvernennia 10.01.2025). {in Spanish}

22. Encyclopaedia Iranica. Stucco Decoration in Iranian Architecture. URL: https://iranicaonline.org/articles/stucco-decoration-in-iranian-architecture. (data zvernennia 10.01.2025). {in English}

23. Western Islamic art: Moorish. URL: https://www.britannica.com/topic/Islamic-arts/Western-Islamic-art-Moorish. (data zvernennia 10.01.2025). {in English}

24. Hiking the Spectacular HuangShan Mountain (黄山) in China. URL: https://crew-explorer.com/huangshan-part-2/?utm_source=rss&utm_medium=rss&utm_campaign=huangshan-part-2#google_vignette (data zvernennia 10.01.2025). {in English}

25. Brooke Larsen.Shoji: All You Need to Know About Japanese Paper Screens. URL: https://japanobjects.com/features/shoji (data zvernennia 10.01.2025). {in English}

DOI: 10.32347/2786-7269.2025.11.156-164
УДК 711.4/712

Романченко О.Д.,
olekroman@meta.ua, ORCID: 0000-0002-7811-656X,
Національний заповідник «Києво-Печерська лавра»

ТРАНСФОРМАЦІЇ СПОРУДИ ЦЕРКВИ СПАСА НА БЕРЕСТОВОМУ НА ПОЧАТКУ XIII - У КІНЦІ XVI СТОЛІТТЯ

Розглянуто проблематику трансформацій об'єму споруди церкви Спаса на Берестовому після катастрофічних руйнувань на початку XIII ст. і до кінця XVI ст., коли храм перейшов у власність унійної церкви та значною мірою набув вигляду, близького до сучасного. Цей період, з огляду на фактичну відсутність історичних писемних джерел та зображень, належить до найменш вивчених.

Значної уваги приділено аналізу наукової літератури, а також нечисленних історичних документів, які дозволяють оцінити тогочасний стан збереження та загального вигляду церковної споруди. Висловлено гіпотезу щодо ймовірної згадки церкви Спаса на Берестовому у подорожніх «Записках» купця Мартина Ґруневеґа, який відвідав Київ у 1584 році з торговою місією. Реальний стан церковної споруди на початку XIII - наприкінці XVI ст. є важливим для розуміння основних етапів її трансформації, а також подальших процесів її відбудови та перебудови, які відбувалися згодом у першій половині XVII ст.

Висновки містять загальну оцінку трансформації споруди церкви Спаса на Берестовому протягом XIII - XVI ст. та її визначальну роль у подальшій відбудові і перебудові церковної споруди. Наголошено на важливості цих трансформаційних процесів як важливої складової частини основних етапів трансформації вказаної винятково цінної пам'ятки архітектури, яких вона зазнала протягом XI-XIX століть. Підкреслено, що здобута інформація є вкрай важливою при проведенні подальших заходів із дослідження, реставрації та консервації цієї пам'ятки.

Ключові слова: церковна споруда; пам'ятка архітектури; трансформація; стан збереження; відбудова; перебудова.

Постановка проблеми. Церква Спаса на Берестовому (кінець XI – початок XII ст.) має визначну історико-культурну цінність як пам'ятка архітектури національного значення. Вона є об'єктом Національного заповідника "Києво-Печерська лавра", занесеним до Списку всесвітньої спадщини ЮНЕСКО (у складі комплексного об'єкта "Київ: собор Святої Софії

з прилеглими монастирськими спорудами, Києво-Печерська лавра"). Всебічні наукові дослідження цієї унікальної храмової споруди тривають вже понад двісті років (рис. 1).

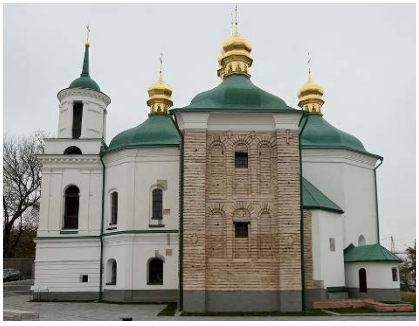


Рис. 1. Церква Спаса на Берестовому. Сучасний вигляд з півдня.

Після значних руйнувань, завданих у 1240 р. під час нашестя Батия, донині частково зберігся перший ярус первісного об'єму храму – нартекс. Церкву, ймовірно, відновлювали у другій половині XIII ст. [1], у XV ст., а також добудовували та перебудовували протягом XVII–XVIII ст. Формування об'єму пам'ятки остаточно завершилося на початку XIX століття. Наразі актуальною проблемою залишається уточнення та конкретизація трансформацій, яких зазнала церковна споруда у XIII-XVI століттях.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Дослідження, пов'язані із даною проблематикою опрацьовувалися такими авторами в наступних роботах: Логвин Н. «Хрестово-банні храми стародавнього Києва»; Міхеєнко К. «Два спрямування в розвитку давньоруської храмової архітектури XII століття»; Івашко Ю. «Церковь Спаса на Берестове», Кабанець Є. «Київський митрополит Петро Могила та історія реставрації церкви Спаса на Берестовому в XVII ст.» [2-5]. Окремо слід відзначити публікацію Сердюк О., Гуцуляка Р., Коренюка Ю. , Скляр С. «Науково-реставраційні дослідження та виконання невідкладних консерваційних робіт на церкві Спаса на Берестовому" [6], у якій викладено результати натурних хіміко-технологічних досліджень пам'ятки.

Мета публікації. Церква Спаса на Берестовому належить до нечисленних зразків давньоруського храмобудування. Питання охорони та збереження цієї винятково цінної пам'ятки архітектури належать до пріоритетних. Врахування інформації щодо складних процесів формування та трансформації пам'ятки є винятково важливими лід час здійснення науково обґрунтованих робіт з її консервації та реставрації. Метою даної статті є розгляд питань щодо складних трансформаційних процесів споруди церкви Спаса на Берестовому на початку XIII - у другій половині XVI ст., оскільки вони є найменш вивченими.

Основна частина. Давньоруський об'єм церкви Спаса на Берестовому кін. XI – поч. XII ст., являв собою значний за розмірами мурований тринавовий чотиристовпний хрестовокупольний храм. З огляду на брак достовірної інформації, питання його первісного вигляду залишається дискусійним. Наразі існує кілька варіантів його наукової реконструкції (Рис. 2).

Руйнування храму у XIII столітті.

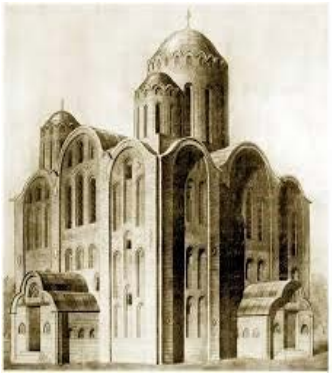


Рис. 2. Наукова реконструкція первісного вигляду церкви Спаса на Берестовому. За Ю. Асєєвим та В.

Значних ушкоджень церкві Спаса на Берестовому заподіяно у 1240 р. під час облоги Києва монголо-татарським військом хана Батия [7]. На масштаб руйнувань, очевидно, також вплинули наслідки землетрусу 1230 року.

Водночас слід наголосити на надзвичайній вразливості східної частини споруди з огляду на її конструктивні особливості (склепінчасті перекриття між опорними стовпами нефів, купольне завершення) та близькість розташування до зсувонебезпечної зони.

Стійкішою до руйнувань виявилася західна частина храмової споруди - нартекс, яка мала досить жорстку об’ємно-просторову структуру. Зокрема, перший ярус нартексу (збережений донині) являє собою видовжений прямокутний об’єм з двома поперечними стінами-перегородками, перекритий первісним циліндричним склепінням. Другий ярус, де містилися хори не зберігся.

Зважаючи на виняткову сакральну та меморіальну значущість, вціліла частина, як вбачається, невдовзі була вкрита найпростішим схиловим дахом та продовжувала використовуватись у якості храму. Не виключено, що із східного боку було прибудовано дерев’яну вівтарну апсиду.

Ймовірна відбудова храму київськими князями Олельковичами та подальше його руйнування у XV столітті.

Споруда зазнавала пошкоджень під час неодноразових ворожих нападів кочівників на Київ протягом XIV–XV століть, однак ядро храму у вигляді першого ярусу нартексу збереглося. Дослідниками висловлюються припущення щодо відбудови церкви київськими князями Олельковичами у 1440–1470-х роках [8].

При цьому не вбачаються переконливими твердження щодо тогочасної відбудови храму у формах готичної архітектури [8, 9]. Період правління київських князів Олельковичів (Олександра Володимировича та Семена Олександровича), які підтримували православну церкву та дбали про розвиток культури, характеризують як “Олельковицький ренесанс” [10]. Князі відновлювали поруйновані київські давньоруські святині з урахуванням збереження їх первісних архітектурних форм, базованих на засадах візантійської архітектури. Зокрема, відомо про відновлення ними церкви Успіння Пресвятої Богородиці Печерського монастиря.

З урахуванням складних тогочасних суспільно-політичних обставин та обмеженості фінансової спроможності, вбачається можливим припустити, що

відбудова храму Олельковичами у первісних формах не була здійснена. Найімовірніше, до вцілілого першого ярусу давньоруського нартексу, який перетворили на молитовний зал (наос), із західного боку прибудували мурована вівтарну апсиду, що забезпечувало повноцінне функціонування храму. Віднайдені під час архітектурно-археологічних досліджень фрагменти конструкцій фундаментів храму XV ст. (біля східної стіни), складених із "плінфи та цем'янкового розчину вторинного використання" [6], слугують підтвердженням можливості існування мурованої апсиди. Розміри та форми її встановити не вбачається можливим.

Невдовзі після відбудови церква Спаса на Берестовому, певно, зазнала ушкоджень під час розорення Києва Менглі-Ґереєм 1482 році [11].

Після ліквідації у 1471 р. Київського князівства, храм, позбувшись традиційного князівського патронату, втратив перспективу відновлення. Київські митрополити, яких також уважалися опікунами церкви Спаса, не мали спроможність надати допомогу у її відновленні у зв'язку із перенесенням 1458 р. Київської митрополичої кафедри до Новогрудка [12].

Писемні документи XVI ст. щодо стану збереження церкви Спаса на Берестовому.

Письмові згадки про церкву Спаса на Берестовому почали з'являтися у XVI ст. після понад 300-літньої паузи (востаннє церкву згадано в літописі у 1231 р.). Наразі відомо про два повідомлення, які є вкрай лаконічними. Перше – опис руських міст 1543 р., де з-поміж інших київських храмів названо церкву Спаса [13, 14]. Вдруге храм згадано 1593 р. у судовому позові київського воєводи князя В.-К. Острозького проти печерського архімандрита М. Хребтовича-Богуринського [15]. Згадані історичні джерела лише декларують факт наявності храмової споруди, в якій, ймовірно, здійснювалися богослужіння, не розкриваючи будь-яких подробиць щодо її вигляду та стану збереження.

Ймовірна згадка про церкву Спаса на Берестовому у «Записках» М. Ґруневеґа 1584 року.

Документальне джерело останньої чверті XVI ст. - подорожні "Записки" гданського купця Мартина Ґруневеґа [16], який відвідав з торговою місією Київ у жовтні 1584 року, на нашу думку, певною мірою дозволяє прояснити ситуацію щодо стану церкви Спаса на Берестовому у цей період. Під час перебування у Києві М. Ґруневеґ відвідав та описав знакові архітектурні об'єкти: церкву Богородиці Пирогощої, Софійський собор, Золоті ворота, Михайлівський Золотоверхий собор, а також Печерський монастир.

У "Записках" М. Ґруневеґ згадує мурованні будівлі обителі, які йому вдалося побачити: Троїцьку надбрамну церкву та церкву Пречистої

(Успенський храм), а також дерев'яні монастирські будівлі: братські келії, трапезну, дзвіницю з годинником, будинок "печерника" (доглядача печер), каплицю з входом до печер та печерні лабіринти. До текстової частини додано схематичний план, власноруч складений М. Ґруневеґом (Рис. 3), на якому показано частину монастирських об'єктів, розміщених по маршруту його пересування: від Троїцької надбрамної церкви до печерних лабіринтів (Ближніх печер), а саме: келії, Успенська церква (позначено малим хрестом) та трапезна (позначено великим хрестом), монастирський сад (позначено цифрою 1), а також наземна споруда входу до печер (позначено цифрою 2).

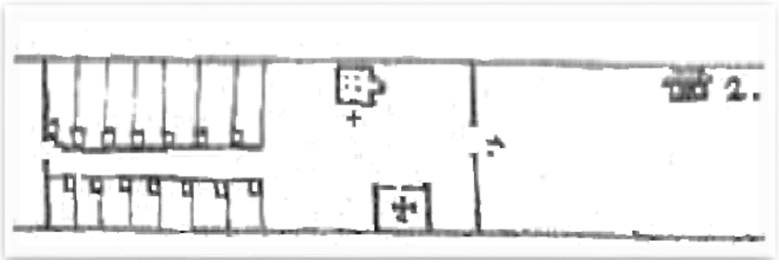


Рис. 3. Схематичний план території Печерського монастиря, доданий до «Записок» М. Ґруневеґа (1584 р.).

Особливо важливим є епізод перебування М. Ґруневеґа на Соборній площі біля "церкви Пречистої" (Успенської церкви – примітка автора), коли він помітив "близько при ній (при Успенській церкві – *примітка автора*) ще одну велику мурована церкву, але "*дуже спустошену і знищену*" [16]. Ця поруйнована церква досі ототожнювалася дослідниками із давньоруською монастирською трапезною [8, 16; 17], однак це твердження не вбачається достатньо переконливим.

Зведена 1108 р. монастирська трапезна являла собою значну за розмірами мурована споруду (залишки фундаментів мають розміри бл. 13×10 м у плані), яку, як вважається, було зруйновано під час нашестя Менглі-Ґірая 1482 року [18]. Враховуючи значні організаційно-фінансові спроможності Печерського монастиря, який ніколи не припиняв своєї діяльності, теза щодо розташування на його території, неподалік головної святині - храму Успіння Пресвятої Богородиці протягом тривалого часу (бл. 100 років!) занедбаних руїн трапезної, видається малоймовірною. Приєднуючись до думки Г. Івакіна, вважаємо, що її було демонтовано на межі XV-XVI ст. [8] як таку, що втратила функціональну цінність та не підлягала ремонту.

Оскільки інших мурованих храмів як у самій Печерській обителі, так і довкола неї на той час не було (*мурованою була лише давньоруська Троїцька надбрамна церква, через яку М. Ґруневеґ зайшов на територію монастиря, однак її характерною ознакою є компактні розміри*), вбачається можливим припустити, що згаданою "великою кам'яною церквою" був храм Спаса на Берестові, розташований на відстані 300 метрів від Успенської церкви, у зоні прямої видимості (*зважаючи на відвідування М. Ґруневеґом монастиря пізньої осені, листя дерев не перешкоджало огляду*).

Ймовірно, М. Ґруневеґ не зміг підійти ближче та детально оглянути поруйновану Спаську церкву, оскільки “мав мало часу” [16]. Проте він, як обізнана у храмовій архітектурі людина, оцінив стан її збереження як “*дуже спустошена і знищена*” [16]. Отже, із наведеного фрагменту “Записок” М. Ґруневеґа можна зробити висновок: хоча мурована Спаська церква була занедбаною, однак вона не втратила візуальних ознак храмової будівлі та мала доволі значні розміри, зберігаючи основні об’ємно-просторові характеристики, набуті під час її реконструкції князями Олельковичами.

Слід зазначити, що у подібному незадовільному стані наприкінці XVI ст. перебували практично всі давньоруські муровані храми Києва (за винятком Печерського монастиря), відновлення яких розпочалося лише на початку XVII століття [19].

Висновки. На підставі аналізу писемних джерел, з урахуванням комплексних хіміко-технологічних досліджень вбачається можливим стверджувати, що протягом поч. XIII – кінця XVI ст. споруда церкви Спаса на Берестовому зазнала значних трансформацій, які стали визначальними під час її подальшої відбудови та перебудови у першій половині XVII ст. та у середині XVIII століть. Спростовано версію щодо появи компонентів та елементів готичної стилістики під час відбудови церкви князями Олельковичами у др. пол. XV століття. Обґрунтовано ідентифікацію храму, згаданого в історичному документі кінця XVI ст. із церквою Спаса на Берестовому, що дозволяє розширити знання про тогочасний стан цієї храмової споруди. З урахуванням наведеного, видається можливим чіткіше визначити основні етапи трансформації вказаної винятково цінної пам’ятки архітектури, яких вона зазнала протягом XI-XIX століть. Зазначена інформація є вкрай важливою при проведенні подальших заходів із дослідження, реставрації та консервації цієї пам’ятки.

Список використаних джерел

1. Сіткарьова О., Балакін С., Остапчук А., Стріленко Ю. та ін. Попередній звіт щодо підготовки проекту реставрації церкви Спаса на Берестовому по Програмі грантів Фонду Гетті. Історична довідка. / НЗ Києво-Печерська лавра, архів служби гол. архітектора. Документ: Ф.Г. 84/16. К., 2002.
2. Логвин Н. Хрестово-банні храми стародавнього Києва. / Архітектурна спадщина України. К., 1995. Вип. 2. С. 33–51.
3. Міхеєнко К. Два спрямування в розвитку давньоруської храмової архітектури XII століття. / Opus Mixtum. Матеріали конференції “VII наукові читання МІДЦ, присвячені 1030-річчю літописної згадки про закладення Десятинної церкви”. К., 2019. № 7. С. 127–138.
4. Ивашко Ю. Церковь Спаса на Берестове. К.: Будмайстер, 2001. № 14. С. 12–13.
5. Кабанець Є. Київський митрополит Петро Могила та історія реставрації церкви Спаса на Берестовому в XVII ст. / Лаврський альманах. Вип. 29. Спецвипуск 11. Церква Спаса на Берестовому. К., 2014. С. 163–172.

6. Сердюк О., Гуцуляк Р., Коренюк Ю., Скляр С. Науково-реставраційні дослідження та виконання невідкладних консерваційних робіт на церкві Спаса на Берестовому. / Культурна спадщина Києва: дослідження та охорона історичного середовища. К.: АртЕк, 2003. С. 56–62.
7. Памятники градостроительства и архитектуры УССР. Иллюстрированный справочник-каталог. Киев, Киевская область. К.: Будівельник, 1983. Том 1.
8. Івакін Г. Історичний розвиток Києва XIII – середини XVI ст. Історична топографія пізньосередньовічного Києва. К., 1996. Розділ III. С. 109–189.
9. Ернст Ф. Київська архітектура XVII віку. Київ та його околиця в історії і пам'ятках. К.: Держвидав України, 1926. XII. С. 125–165.
10. Чикур Л. Історія української та зарубіжної культури. Одеса: Астропринт, 2021.
11. Михайлина Л, Сіткарьова О., Пивоваров С., Абашина Н., Полюшко Г. Успенський собор. К.: Балтія-Друк, 2015 с. 36, 39.
12. Вортман Д. Новогрудок – Новгород Литовський. / Енциклопедія історії України. К.: Наукова думка, 2010. Т. 7. 728 с.
13. Закревский Н. Описание Киева. М., 1868. Т. 1.
14. Мовчан І. Давньокиївська околиця. К.: Наукова думка, 1993.
15. Козюба В. Церковне і монастирське землеволодіння навколо Києва наприкінці XIV – у XVI ст. / Болховітіновський щорічник, 2017–2018. Київ, Познань, 2019.
16. Ісаєвич Я. Нове джерело про історичну топографію та архітектурні пам'ятки стародавнього Києва (Мартин Ґруневеґ і його опис Києва). Київська Русь. Культура. Традиції. Київ: Наукова думка, 1982. С. 113–129.
17. Жиленко І. Зовнішній вигляд Верхньої Лаври у другій половині XVI століття. / Ізборник. Історія України IX–XVIII ст. Першоджерела та інтерпретації. Режим доступу URL: http://litopys.org.ua/synopsis/vyhl.htm (дата звернення 13.03.2025).
18. Харламов В. Работы археологического отряда. Археологические открытия за 1985 г. М., 1987.
19. Міляєва Л. Митрополит П. Могила і мистецтво Києва 30-40-х рр. XVII ст. / Вісник Львівського ун-ту. Серія мистецтвознавство. Вип. 3. - Львів, 2003, с. 161-171.

Oleksandr Romanchenko,
National Reserve "Kyiv-Pechersk Lavra"

TRANSFORMATIONS OF THE BUILDING OF THE CHURCH OF THE SAVIOR ON BERESTOVE AT THE BEGINNING OF THE 13TH - AT THE END OF THE 16TH CENTURY

The problem of transformations of the volume of the building of the Church of the Savior in Berestove after the catastrophic destruction at the beginning of the 13th century and until the end of the 16th century, when the temple passed into the ownership of the Union Church and to a large extent acquired an appearance close to the modern one, is considered. This period, given the virtual absence of historical written sources and images, is one of the least studied.

Considerable attention is paid to the analysis of scientific literature, as well as a few historical documents that allow us to assess the state of preservation and general appearance of the church building at that time. A hypothesis is expressed regarding

the probable mention of the Church of the Savior on Berestove in the travel "Notes" of the merchant Martin Gruneweg, who visited Kyiv in 1584 with a trade mission. The actual state of the church building at the beginning of the 13th - the end of the 16th century is important for understanding the main stages of its transformation, as well as the subsequent processes of its reconstruction and reconstruction, which took place later in the first half of the 17th century.

The conclusions contain a general assessment of the transformation of the building of the Church of the Savior on Berestove during the 13th - 16th centuries and its determining role in the subsequent reconstruction and reconstruction of the church building. The importance of these transformation processes as an important component of the main stages of the transformation of this exceptionally valuable architectural monument, which it underwent during the 11th - 19th centuries, is emphasized. It was emphasized that the information obtained is extremely important in carrying out further research, restoration, and conservation activities of this monument.

Keywords: church building; architectural monument; transformation; state of preservation; reconstruction

REFERENCES

1. Sitkar′ova O., Balakin S., Ostapchuk A., Strilenko YU. ta in. Poperedniy zvit shchodo pidhotovky proektu restavratsiyi tserkvy Spasa na Berestovomu po Prohrami hrantiv Fondu Hetti. Istorychna dovidka. / NZ Kyyevo-Pechers′ka lavra, arkhiv sluzhby hol. arkhitektora. Dokument: F.H. 84/16. K., 2002. {in Ukrainian}

2. Lohvyn N. Khrestovo-banni khramy starodavn′oho Kyyeva. / Arkhitekturna spadshchyna Ukrayiny. K., 1995. Vyp. 2. S. 33–51. {in Ukrainian}

3. Mikheyenko K. Dva spryamuvannya v rozvytku davn′orus′koyi khramovoyi arkhitektury KHII stolittya. / Opus Mixtum. Materialy konferentsiyi “VII naukovi chytannya MIDTS, prysvyacheni 1030-richchyu litopysnoyi z·hadky pro zakladennya Desyatynnoyi tserkvy”. K., 2019. № 7. S. 127–138. {in Ukrainian}

4. Ivashko YU. Tserkov' Spasa na Berestove. K.: Budmayster, 2001. № 14. S. 12–13. {in Russian}

5. Kabanets′ YE. Kyyivs′kyy mytropolyt Petro Mohyla ta istoriya restavratsiyi tserkvy Spasa na Berestovomu v XVII st. / Lavrs′kyy al′manakh. Vyp. 29. Spetsvypusk 11. Tserkva Spasa na Berestovomu. K., 2014. S. 163–172. {in Ukrainian}

6. Serdyuk O., Hutsulyak R., Korenyuk YU., Sklyar S. Naukovo-restavratsiyni doslidzhennya ta vykonannya nevidkladnykh konservatsiynykh robit na

tserkvi Spasa na Berestovomu. / Kul′turna spadshchyna Kyyeva: doslidzhennya ta okhorona istorychnoho seredovyshcha. K.: ArtEk, 2003. S. 56–62. {in Ukrainian}

7. Pamyatniki gradostroitel'stva i arkhitektury USSR. Illyustrirovannyy spravochnik-katalog. Kiyev, Kiyevskaya oblast'. K.: Budível'nik, 1983. Tom 1. {in Russian}

8. Ivakin H. Istorychnyy rozvytok Kyyeva XIII – seredyny XVI st. Istorychna topohrafiya pizn′oseredn′ovichnoho Kyyeva. K., 1996. Rozdil III. S. 109–189. {in Ukrainian}

9. Ernst F. Kyyivs′ka arkhitektura XVII viku. Kyyiv ta yoho okolytsya v istoriyi i pam″yatkakh. K.: Derzhvydav Ukrayiny, 1926. KHII. S. 125–165. {in Ukrainian}

10. Chykur L. Istoriya ukrayins′koyi ta zarubizhnoyi kul′tury. Odesa: Astroprynt, 2021. {in Ukrainian}

11. Mykhaylyna L, Sitkar′ova O., Pyvovarov S., Abashyna N., Polyushko H. Uspens′kyy sobor. K.: Baltiya-Druk, 2015 s. 36, 39. {in Ukrainian}

12. Vortman D. Novohrudok – Novhorod Lytovs′kyy. / Entsyklopediya istoriyi Ukrayiny. K.: Naukova dumka, 2010. T. 7. 728 s. {in Ukrainian}

13. Zakrevskiy N. Opisaniye Kiyeva. M., 1868. T. 1. {in Russian}

14. Movchan I. Davn′okyyivs′ka okolytsya. K.: Naukova dumka, 1993. {in Ukrainian}

15. Kozyuba V. Tserkovne i monastyrs′ke zemlevolodinnya navkolo Kyyeva naprykintsi XIV – u XVI st. / Bolkhovitinovs′kyy shchorichnyk, 2017–2018. Kyyiv, Poznan′, 2019. {in Ukrainian}

16. Isayevych Y.A. Nove dzherelo pro istorychnu topohrafiyu ta arkhitekturni pam″yatky starodavn′oho Kyyeva (Martyn Gruneveg i yoho opys Kyyeva). Kyyivs′ka Rus′. Kul′tura. Tradytsiyi. Kyyiv: Naukova dumka, 1982. S. 113–129. {in Ukrainian}

17. Zhylenko I. Zovnishniy vyhlyad Verkhn′oyi Lavry u druhiy polovyni KHVI stolittya. / Izbornyk. Istoriya Ukrayiny IX–XVIII st. Pershodzherela ta interpretatsiyi. Rezhym dostupu URL: http://litopys.org.ua/synopsis/vyhl.htm (data zvernennnya 13.03.2025). {in Ukrainian}

18. Kharlamov V. Raboty arkheologicheskogo otryada. Arkheologicheskiye otkrytiya za 1985 g. M., 1987. {in Russian}

19. Milyayeva L. Mytropolyt P. Mohyla i mystetstvo Kyyeva 30-40-kh rr. KHVII st. / Visnyk L′vivs′koho un-tu. Seriya mystetstvoznavstvo. Vyp. 3. - L′viv, 2003, s. 161-171. {in Ukrainian}

DOI: 10.32347/2786-7269.2025.11.165-177
УДК 711.3

Столовий О.В.,
oleksandr.stolovyi@gmail.com, ORCID: 0009-0005-2924-0635,
д. арх., професор **Ковальська Г.Л.**,
kovalska.gl@knuba.edu.ua, ORCID: 0000-0002-9873-5413,
Київський національний університет будівництва і архітектури

УНІВЕРСАЛЬНІСТЬ АРХІТЕКТУРИ ТА ПУБЛІЧНОГО ПРОСТОРУ В УРБАНІСТИЧНІЙ СТРУКТУРІ СІЛ, ЯК ОСНОВА ЇХ УСПІШНОСТІ

Розглядається вплив архітектури та публічного простору на розвиток сільських поселень в контексті децентралізації в Україні. Аналізується історичний контекст і сучасні виклики, з якими стикаються села, а також необхідність впровадження універсального підходу, що включає метод ретроспективного вивчення функціонально-планувального розвитку сільських поселень для забезпечення сталого розвитку.

Ключові слова: універсальність архітектури; публічний простір; децентралізація; сільські поселення; сталий розвиток; урбаністика.

Постановка проблеми. Сучасна децентралізація в Україні відкриває нові можливості для розвитку сільських поселень, дозволяючи громадам адаптуватися до своїх природних і соціальних умов. Однак ця трансформація супроводжується ризиками, зокрема виникненням «інституційних пасток» через спротив традиційним практикам управління. Ігнорування історичного досвіду розвитку призводить до втрати цінного знання про місцеві практики. Експериментальні методи Радянського Союзу негативно вплинули на села, викликавши локальні соціально-економічні катастрофи кожного села окремо і системну катастрофу якості життя.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Дослідження в своїй масі фокусуються на міському середовищі і не розкривають проблематики на заданому рівні тематики розвитку сіл, як сталих поселеневих структур, історичні публікації чи розкриття теми в не наукових сферах публіцистики показують, що експерементальні підходи стали катастрофою для сіл, а наявні підходи до планування сільських територій не враховують особливості населення та функціональні потреби громад. Джерела, такі як праці Healy (1997) та Sennett (1990), показують, як ефективне використання архітектурного простору може сприяти формуванню активних громад [2, 3].

Книга П'єра Бурдьє "The Logic of Practice" (1990) є однією з ключових робіт соціального теоретика і соціолога. Автор вводить концепцію поля, як

простору соціального життя, де відбуваються боротьба за капітал, статус та визнання. Поля мають свої правила гри, які визначають поведінку учасників.

Його дослідження соціальних практик, де Бурдьє закликає до аналізу їх в конкретному контексті, підкреслюючи, що дії не можна розуміти без врахування специфіки соціальних умов. Застосовуючи універсальність його теорії можна проаналізувати як вона співвідноситься з формуванням публічний просторів сільських поселень [1].

В книзі "Urban Planning: Theory and Practice" Дж. Катенезе розглядає практичні питання, які стоять перед планувальниками в урбаністичному середовищі, включаючи законодавчі рамки, фінансування, участь громади та екологічні аспекти. Також важливим в сегменті теми статті є контекстуальність та інновації, які автор стверджує як необхідность адаптації теорій містобудування до конкретних соціальних, економічних і екологічних умов, підкреслюючи важливість інновацій у цій сфері [4].

В книзі "Cities of Tomorrow: An Intellectual History of Urban Planning and Design in the Twentieth Century" автор Пітер Гал, аналізує, як історичні, соціальні та економічні зміни вплинули на процеси містобудування, описуючи ключові етапи та важливі події, які формували сучасні міста. У книзі досліджується розвиток основних інтелектуальних течій у містобудуванні, включаючи вплив архітектурних рухів, економічних теорій та соціальних концепцій на формування міст. Розглядаючи його роботу варто аналізувати побічний вплив урбаністичних процесів на сільські поселення і той контекст, що вони створювали для сільських громад [5].

Публікація Емілі Тален "Sense of Community and Neighborhood Form: An Analysis of the Relationship Between Sense of Community and Neighborhood Form" (1999) в журналі Environment and Behavior розглядає зв'язок між формою сусідства (neighborhood form) та почуттям спільноти (sense of community).Авторка досліджує різні аспекти фізичного простору сусідства, такі як планування, архітектурні особливості, доступність об'єктів для громади і способи, якими ці фактори можуть сприяти або перешкоджати розвитку почуття спільноти. Що певні фізичні характеристики сусідств, такі як компактність, місткість та планування відкритих просторів, сприяють більш високим рівням спілкування та взаємодії серед жителів. Дослідження має важливе значення для урбаністики, архітектури та соціології, оскільки підкреслює, як фізичне оточення впливає на соціальні взаємодії та загальну якість життя у сусідствах [7].

В публікації "Urbanization and Environmental Quality: A Synthesis of the Governance Issues in Urban Sustainability" авторства Саймона Бартлетта, опублікована в журналі Environment and Urbanization у 2003 році,

досліджується, як швидка урбанізація впливає на стан навколишнього середовища в містах. Він розглядає негативні наслідки, які можуть виникати внаслідок високої щільності населення, забруднення та знищення природних ресурсів. Автор стверджує що саме міське управління зі всіма його складнощами є єдиним способом спробувати досягнути міської стійкості, де розумне планування, впровадження екологічних технологій, поліпшення інфраструктури тощо є інструменти сучасного суспільства, на які спирається сучасна думка. Автор визнає, що питання стійкості міських громад не вирішено, а тільки на своєму шляху можливого вирішення. Даний текст потрібно сприймати в контексті протиставлення процесів, які має сільське поселення і його переваги, на які сучасне суспільство не зважає в межах загальної тенденції до урбанізації [10].

В книзі "The New Urbanism: Toward an Architecture of Community" авторства Пітера Катца, видана в 1994 році, викладено основні принципи нового урбанізму, які включають компактність, змішану використання територій, доступність і пішохідну орієнтацію. Автор підкреслює важливість формування міст, де житло, комерційні заклади і громадські простори функціонують разом. В даному аспекті підкреслено зрозуміла якість універсальності простору як такого. Катц критикує традиційні підходи до містобудування, які призвели до розпорошення міст, залежності від автомобілів і втрати соціальних взаємозв'язків в спільнотах. Саме через критику сучасного стану міських структур і потребу їх приведення до принципів нового урбанізму, який в багатьох аспектах є калькою сільських структур можна зробити висновок, що в процесі масштабної урбанізації суспільство втрачає те, що згодом пробує перевинайти [12].

В статті "У пошуках доіндустріального раю. Публічні простори села та їх трансформації" Брайченко досліджує зміни, які відбуваються у публічних просторах сіл в Україні, особливо в контексті історичних та соціально-економічних трансформацій, які зміни в економічній системі і спосіб життя сільських жителів призвели до змін у використанні та функціях цих просторів. Й хоча автор наприкінці виходить на соціальну несправедливість в частині доступу до публічних просторів, напрацювання в огляді формування розуміння структури селекції - дуже важливі для наукової думки [14].

Мета статті полягає у вивченні можливостей універсальної архітектури та універсального публічного простору в контексті урбаністичної структури сіл в Україні. Важливо визначити пріоритети та рекомендації для створення ефективних і стійких функціональних просторів у сільських громадах.

Виклад основного матеріалу. Здійснювана в Україні децентралізація системи управління відкриває нові можливості для нарощування потенціалу

розвитку сільських поселень та формування позитивних управлінських ефектів на місцевому рівні. Водночас вона генерує ймовірність виникнення нових «інституціональних пасток» через спротив трансформаційним зусиллям звичних практик державного та місцевого управління і традицій місцевого розвитку. А саме ігнорування традиційних способів розвитку нівелює увесь досвід отриманий від природного столітнього розвитку, де результат набувався поступовим відбором поміж конкурентноздатних пропозицій.

Експерементальні методі перетворення сіл на фабрики по виробництву продуктів в ранній період Радянського Союзу набули катастрофи Голодомору 1930-х років, та падіння ВВП на душу населення 1960-х, що спонукало розвитку величезної бідності поміж сільського населення. Пізні спроби СРСР по створенню міської інфраструктури в зменшеному масштабі на основі сел України потерпіли краху. Радянська спроба побудови в селах вузькопрофільної функції на кшталт критих басейнів, кіно-концертних залів, будинків побуту та їх занепад показали, що щільність населення села в капіталістичних умовах розвитку економіки не може забезпечити відповідне обслуговування задля базової діяльності унікальних комплексів, не говорячи вже про програми їх розвитку та модернізації.

Повертаючись до традиційних підходів формування громадської функції унікального характеру в селах, треба зауважити що житлова архітектура тут відігравала себе в універсальному застосуванні, де люди збирались на посиденьки (вид вечірніх розваг з публічними виступами, байками та гумореcками), чи вечорниці (молодь, що потребувала соціально-окремішнього гуртування для формування важливих соціо творчих зв’язків, домовлялись про оренду хати в одиноких людей, де способом оплати за проведення публічного заходу був бартер у вигляді помочі одинокій людині у веденні господарства).Так само, оцінюючи публічні простори структури сіл України, ми бачимо такий універсальний юніт, як вигін.

Вигін - простора вільна ділянка біля села або в селі, куди виганяють пастися худобу, птицю. Вигін водночас слугує контрольованим випасанням худоби та птиці навколишніх дворів. Але, в потрібний день року, вигін перетворюється на майданчик для проведення ярмарки, чи щотижневого базарювання, проведення загальносільських свят. Успішність вигону символізують малі архітектурні форми чи архітектурні споруди, що зводяться на території вигону, а також публічні події, їх тип та масштаб.

Колодязь (криниця) - мала архітектурна форма, що виконує функцію водопостачання. Колодязь виконується з коловоротом, часто з ціпком та пристебнутою ціберкою загального використання. Криниця - копана яма до рівня стояння грунтових вод, обкладена будівельними конструкціями, накрита

кришкою. Від колодязя її відрізняє відсутність коловорота і елементів діставання води. До криниці кожен користувач приносить свою мотузку і свою ціберку. Зустрічаються криниці з “журавлем” - конструкцією на стовпі збалансовано прикріплено оглобину, за принципом важіля, з мотузкою на “носі”, що дає змогу опускати та виймати ціберку з водою з криниці [19].

Окрім загального визначення терміну «вулиця», в сільській місцевості також є додаткові функціональні особливості використання вуличного простору, які можна сформувати у наступне визначення:

Вулиця — (походить від слова “вулитися”, гудіти, гомоніти) простір вечірнього гуляння молоді, що супроводжується великим різномаїттям ігор, танців, співів та інших способів проявити себе в прошарку суспільства свого віку, що є засобом соціалізації молодого населення сіл.

Наведемо ще деякі визначення, що історично сформовані у сільських громадах:

Крамниця - стаціонарна будівля, споруда для ведення торгівлі.

Каплиця - невелика молитовна будівля чи мала архітектурна форма.

Церква - храм, в якому відбувається християнське богослужіння.

Собор - головна в поселенні церква.

Сходка - збори сільської громади.

Ярмарок - торг, який влаштовується регулярно, в певну пору року і в певному місці для продажу й купівлі товарів [19].

Рис. 1. Приклад Вигону в селі Шишківці, Чортківський район,

Тернопільська область (сучасний стан) [21]

Рис. 2. Історичне фото середини XX ст. Центральний Вигін в селі Козіївка, Богодухівський район, Харківська область [22]

Рис. 3. Приклад Вигону на картині Миколи Пимоненка “Молодиця” 1890 р, Національний художній музей України [23]

Рис. 4. Приклад Вулиці на Вигоні [24]

І навіть територія чи ділянка собору, як найвищого щаблю розвитку публічного сільського простору (вигону) ніколи не припиняла бути місцем випасу господарства. Децентралізація, як сучасний процес, що запущений в українському суспільстві в масштабі держави, надає вперше за останні 150 років можливості сільським громадам, і я к похідним від них - сільським поселеневим структурам реалізуватися, як їм органічніше та зручніше. Тут важливо зауважити аби даного інституційного потенціалу самоврядування вистачило, треба робити й наступні поступи в сторону особливостей сільської особливої організації. Щоб за висновком села повернули собі самодостатність і в умовах сучасності реалізували свій поступ, розвиток та успіх.

Висновки: тож на сьогодні бачимо одну з перешкод, що заважають селам розвиватися - це відсутність розуміння специфіки структури сільських населених пунктів, їх особливості життєдіяльності, і як результат - відсутність унормованої селобудівної бази у вигляді універсального підходу до використання архітектурних та урбаністичних просторів, відсутність таких нормативних документів, що створять особливі правила універсальності та умови для розвитку сіл, базуючись на малочисельності і розрідженості населення. Необхідно розглянути можливість поєднання в одному приміщенні різних громадських функцій, поєднання в єдиній структурі житлової та громадської функції; переглянути потребу інсоляції, як умови щільної та висотної забудови міст, яка впливає на оптимальність планувальних рішень; переглянути санітарно-захисні зони, норми для малих господарств, як

виробничих центрів середнього класу, які можуть і мають бути поєднані з центрами житла та дозвілля, а не розділятися, що наразі декларує Закон України "Про забезпечення санітарного та епідемічного благополуччя населення", як базовий документ для ДБН Б.2.2-12:2019 "Планування і забудова територій" в частині модерністичного поділу міста на конкретні функції життєдіяльності зі встановленими відстанями для них.

І коли в селі школа, садок, адміністрація, спорткомплекс, концертний хол, виставковий центр та кабінет лікаря, пошти та помешкання зможуть бути в одній будівлі, коли проїжджа частина на сільській вулиці може бути також і тротуаром чи велосипедною доріжкою - це дасть селу бути оптимальнішим в застосуванні обмеженого свого ресурсу і в універсальності побудувати свою сталість. Адже село, - це особливий тип поселеневого формування зі своїми тісними внутрішніми взаємозвязками та поєднаннями між різними видами суспільної діяльності та природою, що відмінні від міських принципів сталості.

Список джерел

1. Bourdieu, P., *The Logic of Practice*. Stanford University Press, 1990, P. 333. [Досліджує соціальні практики, які можуть бути застосовані до аналізу взаємодії між архітектурою та суспільством.]

2. Sennett, R., *The Conscience of the Eye: The Design and Social Life of Cities.* W.W. Norton & Company, 1990, P. 288. [Розглядає вплив архітектурного середовища на соціальне життя в містах.]

3. Healey, P., *Collaborative Planning: Shaping Places in Fragmented Societies.* Macmillan, 1997, P. 384. [Обговорює важливість співпраці в процесах планування і розвитку, зокрема в сільських громадах.]

4. Catanese, A.J., *Urban Planning: Theory, and Practice.* Urban Land Institute, 1993, P. 386. [Включає рекомендації щодо розробки земельного планування в містах і селах.]

5. Hall, P., *Cities of Tomorrow: An Intellectual History of Urban Planning and Design in the Twentieth Century*. Blackwell Publishing, 2002, P. 640. [Історичний огляд містобудування та архітектурного дизайну в XX столітті.]

6. Zukin, S., *The Cultures of Cities.* Blackwell, 1995. P. 336. [Досліджує соціальну взаємодію в різних типах міських та сільських просторів.]

7. Talen, E., *Sense of Community and Neighborhood Form: An Analysis of the Relationship Between Sense of Community and Neighborhood Form*. Environment and Behavior, 1999, 31(2), C. 163-190. [Досліджує зв'язок між формою сусідства та відчуттям спільноти.]

8. Bulkeley, H., & Betsill, M., *Cities and Climate Change: Urban Sustainability and Global Environmental Governance.* Routledge, 2005, P. 250. [Обговорює устойчивість міст і сіл у контексті глобальних викликів.]

9. McGranahan, G., & Satterthwaite, D., *Urbanization Concepts and Trends.* IIED, 2014, P. 28. [Розглядає нові концепції урбанізації, які можуть бути застосовані до сільської місцевості.]

10. Bartlett, S., *Urbanization and Environmental Quality: A Synthesis of the Governance Issues in Urban Sustainability.* Environment and Urbanization, 2003, 15(1), P. 1-20. [Аналізує питання урбанізації з точки зору стійкості.]

11. Jabareen, Y., *Sustainable Urban Forms: Their Typologies, Models, and Concepts.* Journal of Planning Education and Research, 2006, 26(1), С. 38-52. [Описує різні типи сталих урбаністичних форм.]

12. Katz, P., The New Urbanism: Toward an Architecture of Community. McGraw-Hill, 1994, P. 288. [Обговорює принципи нового урбанізму, які можуть бути корисними для сільських поселень.]

13. Гнесь Л. *Еволюційні трансформації першої хвилі експериментально-показового сільського будівництва в Україні 60-х років ХХ ст.* Вісник Національного університету «Львівська політехніка». Серія: «Архітектура», 2022. № 1 (7), С. 30-39. [презентує результати власних натурних досліджень "експериментально-показових" сіл. Авторка аналізує утворення й забудову "перспективних" сіл на прикладі сіл, збудованих на перших етапах архітектурно-містобудівної реорганізації українських сіл, та політики стирання відмінностей між містом і селом. Висвітлено недоліки проектування житла "міського" типу для забудови села.]

14. Брайченко О.У. *У пошуках доіндустріального раю. Публічні простори села та їх трансформації.* Спільне. Простір та нерівність, 2019, № 12, С. 106–113.

15. Заставецька Л.Б. *Трансформація системи розселення регіону в умовах удосконалення адміністративно-територіального устрою України (на прикладі Тернопільської області)*: автореф. дис. … канд. географ. наук / Чернівецький національний університет імені Юрія Федьковича. Чернівці, 2008, 23 с.

16. Михайлишин О.Л. Особливості формування і проблеми модернізації громадських центрів експериментально-показових сіл України (на прикладі села зоря рівненської області). Науковий вісник будівництва Т. 100, 2020, № 2. С. 57–65. https://doi.org/10.29295/2311-7257-2020-100-2-57-65.

17. Нікіфоров Є. *Дослідні зразки: Радянські експерименти над селами та їхніми жителями у проекті Євгена Нікіфорова.* [Електронний ресурс]. - Режим доступу: URL: https://birdinflight.com › sela-evgeniya-nikiforova. - Назв. екран.

18. ДБН Б.2.2-12:2019. Планування та забудова територій. [Чинний від 2019- 10-01]. Вид. офіц. Київ: Укрархбудінформ, 2019.

19. *СЛОВНИК. Портал української мови та культури* [Електронний ресурс]. - Режим доступу: URL: https://slovnyk.ua/index.php - Назв. екран.

20. *Центральний вигін села Шишківці,* [Електронний ресурс]. - Режим доступу: URL: https://uk.wikipedia.org/wiki/%D0%A8%D0%B8%D1%88%D0%BA%D1%96%D0%B2%D1%86%D1%96_(%D0%A7%D0%BE%D1%80%D1%82%D0%BA%D1%96%D0%B2%D1%81%D1%8C%D0%BA%D0%B8%D0%B9_%D1%80%D0%B0%D0%B9%D0%BE%D0%BD) - Назв. Екран.

21. *Історичне фото середини ХХ ст. Центральний вигін в селі Козіївка, Богодухівський район, Харківська область,* [Електронний ресурс]. - Режим доступу: URL: https://www.otkudarodom.ua/ru/kozievka-koziyivka - Назв. Екран.

22. *Приклад Вигону на картині Миколи Пимоненка "Молодиця" 1890 р, Національний художній музей України,* [Електронний ресурс]. - Режим доступу: URL: https://uk.m.wikipedia.org/wiki/%D0%9F%D0%B8%D0%BC%D0%BE%D0%BD%D0%B5%D0%BD%D0%BA%D0%BE_%D0%9C%D0%B8%D0%BA%D0%BE%D0%BB%D0%B0_%D0%9A%D0%BE%D1%80%D0%BD%D0%B8%D0%BB%D0%BE%D0%B2%D0%B8%D1%87 - Назв. Екран.

23. *Приклад Вулиці на Вигоні,* [Електронний ресурс]. - Режим доступу: URL:https://ocnt.com.ua/vulicya-veseli-vechornici-uchasniki-ta-osoblivosti-provedennya/ - Назв. Екран.

PhD student **Olexandr Stolovyi,**
Doctor of Architecture **Gelena Kovalska**,
Kyiv National University of Construction and Architecture

THE UNIVERSALITY OF ARCHITECTURE AND PUBLIC SPACE IN THE URBAN STRUCTURE OF VILLAGES AS A BASIS FOR THEIR SUCCESS

The article delves into the significant influence of architecture and public space on the growth and development of rural settlements within the context of decentralization in Ukraine. Decentralization, a process that redistributes authority and resources from the central government to local jurisdictions, has opened up new avenues for rural development, prompting a reevaluation of how villages are organized and sustained.

Historically, Ukrainian rural settlements have faced numerous challenges, including economic decline, population migration to urban centers, and inadequate infrastructure. The legacy of Soviet-era planning continues to adversely affect village layouts and accessibility to vital services. This article analyzes these historical contexts, highlighting how past policies and planning decisions have contributed to the current difficulties that many villages are experiencing.

One of the key aspects discussed is the importance of creating vibrant public spaces that serve as focal points for community interaction and engagement. Effective architecture and thoughtful design of public spaces can enhance the quality of life for residents, promote social cohesion, and attract visitors. The article emphasizes the necessity of implementing a universal approach to village planning, one that considers the unique cultural, social, and environmental factors of each settlement. By doing so, communities can foster a sense of identity and belonging while ensuring they meet the needs of their current and future populations.

Moreover, sustainable development is underscored as a critical goal for these rural areas. The integration of green spaces, pedestrian-friendly designs, and multifunctional public areas can aid in promoting ecological sustainability and economic resilience in villages. In conclusion, the article calls for collaborative efforts among government entities, architects, urban planners, and the community to revitalize rural settlements in Ukraine, ensuring they are resilient, inclusive, and capable of thriving in the face of ongoing challenges. This comprehensive approach to rural planning is essential for harnessing the potential of decentralization to cultivate dynamic and sustainable village environments.

Keywords: universality of architecture; public space; decentralization; rural settlements; sustainable development; urbanism.

REFERENCES

1. Bourdieu, P. (1990). *The Logic of Practice.* Stanford University Press. P. 333. {in English}
[Explores social practices that can be applied to the analysis of the interaction between architecture and society.]

2. Sennett, R. (1990). *The Conscience of the Eye: The Design and Social Life of Cities.* W.W. Norton & Company, P. 288. {in English}
[Examines the impact of the architectural environment on social life in cities.]

3. Healey, P. (1997). *Collaborative Planning: Shaping Places in Fragmented Societies.* Macmillan, P. 384. {in English}
[Discusses the importance of collaboration in planning and development processes, particularly in rural communities.]

4. Catanese, A.J. (1993). *Urban Planning: Theory and Practice.* Urban Land Institute, P. 386. {in English}
[Includes recommendations for developing land planning in cities and villages.]

5. Hall, P. (2002). *Cities of Tomorrow: An Intellectual History of Urban Planning and Design in the Twentieth Century*. Blackwell Publishing, P. 640. {in English}
[Historical overview of urban planning and architectural design in the 20th century.]

6. Zukin, S. (1995). *The Cultures of Cities.* Blackwell, P. 336 {in English}
[Examines social interaction in various types of urban and rural spaces.]

7. Talen, E. (1999). *Sense of Community and Neighborhood Form: An Analysis of the Relationship Between Sense of Community and Neighborhood Form*. Environment and Behavior, 31(2), 163-190. {in English}
[Investigates the relationship between neighborhood form and sense of community.]

8. Bulkeley, H., & Betsill, M. (2005). *Cities and Climate Change: Urban Sustainability and Global Environmental Governance.* Routledge, P. 250. {in English}
[Discusses the sustainability of cities and villages in the context of global challenges.]

9. McGranahan, G., & Satterthwaite, D. (2014). *Urbanization Concepts and Trends*. IIED, P. 28. {in English}
[Examines new urbanization concepts that can be applied to rural areas.]

10. Bartlett, S. (2003). *Urbanization and Environmental Quality: A Synthesis of the Governance Issues in Urban Sustainability*. Environment and Urbanization, 15(1), 1-20. {in English}
[Analyzes urbanization issues from the perspective of sustainability.]

11. Jabareen, Y. (2006). *Sustainable Urban Forms: Their Typologies, Models, and Concepts*. Journal of Planning Education and Research, 26(1), 38-52. {in English}

[Describes various types of sustainable urban forms.]

12. Katz, P. (1994). *The New Urbanism: Toward an Architecture of Community*. McGraw-Hill, P. 288. {in English}

[Discusses the principles of new urbanism that can be beneficial for rural settlements.]

13. Hnes, L. (2022). Evolutionary Transformations of the First Wave of Experimental-Exemplary Rural Construction in Ukraine in the 1960s. [Evolyutsiyni transformatsiyi pershoyi khvyly eksperimental'no-pokazovogo sil'skoho budivnytstva v Ukrayini 60-kh rokiv XX st.] Bulletin of the National University "Lviv Polytechnic". Series: "Architecture", No. 1 (7), Pages. 30-39. {in Ukrainian}

[Presents the results of the author's field studies of "experimental-exemplary" villages. The author analyzes the formation and development of "prospective" villages based on the villages built during the early stages of architectural and urban restructuring of Ukrainian villages, as well as the policy of erasing differences between city and village. Highlights the shortcomings of designing "urban-type" housing for village development.]

14. Braiichenko O. U. (2019). *In Search of a Pre-Industrial Paradise: Public Spaces of the Village and Their Transformations*. [U poshukakh doindustrial'noho rayu. Publichni prostory sela ta yikh transformatsiyi] Spilne. Space and Inequality, No. 12, Pages. 106–113. {in Ukrainian}

15. Zastavetska L. B. (2008). *Transformation of the Settlement System in the Region Under the Conditions of Improvement of Administrative-Territorial Structure of Ukraine (On the Example of Ternopil Region)* [Transformatsiya systemy rozselenniya rehionu v umovakh udoskonalennya administratyvno-terytorial'noho ustroiyu Ukrayiny (na prykladi Ternopil's'koyi oblasti)]*:* Author's Abstract of the Thesis for Candidate of Geographic Sciences. Chernivtsi National University named by Yuriy Fedkovych, Chernivtsi. 23 p. {in Ukrainian}

16. Mykhailishyn O.L. (2020). *Features of Formation and Problems of Modernization of Public Centers in Experimental-Exemplary Villages of Ukraine (On the Example of the Village Zorja, Rivne Region)*. [Osoblyvosti formuvannya i problemy modernizatsiyi hromadskykh tsentriv eksperimental'no-pokazovykh sil Ukrayiny (na prykladi sela Zorya Rivnens'koyi oblasti)]. Scientific Bulletin of Construction, Vol. 100, No. 2, pp. 57–65. https://doi.org/10.29295/2311-7257-2020-100-2-57-65. {in Ukrainian}

17. Nikiforov Y. Research Samples: *Soviet Experiments on Villages and Their Inhabitants in the Project of Yevhen Nikiforov*. [Doslidni zrazky: Radyans'ki eksperymenty nad selamy ta yikhniymy zhytelyamy u proekti Yevhena Nikiforova]. [Electronic resource] Access mode URL: https://birdinflight.com - Screen name. {in Ukrainian}

18. DBN B.2.2-12:2019. *Planning and Development of Territories [Effective as of 2019-10-01].* DBN B.2.2-12:2019. Planuvannya ta zabudova terytoriy. [Chynnyy vid 2019-10-01]. Kyiv: Ministry of Regional Development of Ukraine, 2019. (State Building Norms of Ukraine). [Electronic resource] Access mode URL: https://e-construction.gov.ua/laws_detail/BN01:2050-6065-7237-3998?doc_type=2. - Screen name. {in Ukrainian}

19. DICTIONARY. Ukrainian Language and Culture Portal. [SLOVNYK. Portal ukrayins'koyi movy ta kul'tury]. [Electronic resource] Access mode URL: https://slovnyk.ua/index.php - Screen name. {in Ukrainian}

20. Central Vyhin of Shyshkivtsi, [Tsentral'nyy vyhin sela Shyshkivtsi]. [Electronic resource] Access mode URL: https://uk.wikipedia.org/wiki/%D0%A8%D0%B8%D1%88%D0%BA%D1%96%D0%B2%D1%86%D1%96_(%D0%A7%D0%BE%D1%80%D1%82%D0%BA%D1%96%D0%B2%D1%81%D1%8C%D0%BA%D0%B8%D0%B9_%D1%80%D0%B0%D0%B9%D0%BE%D0%BD) - Screen name. {in Ukrainian}

21. Historical photo from the mid-20th century. Central Vyhin in the village of Koziivka, Bohodukhiv District, Kharkiv Region, [Istorychne foto seredyny XX st. Tsentral'nyy vyhin v seli Koziivka, Bohodukhivs'kyy rayón, Kharkivs'ka oblast']. [Electronic resource] Access mode URL: https://www.otkudarodom.ua/ru/kozievka-koziyivka - Screen name. {in Ukrainian}

22. Example of a Vyhin in Mykola Pymonenko's painting "The Young Woman" 1890, National Art Museum of Ukraine, [Pryklad Vyhonu na kartyni Mykoly Pymonenka “Molodytsya” 1890 r, Natsional'nyy khudozhniy muzey Ukrayiny]. [Electronic resource] Access mode URL: https://uk.m.wikipedia.org/wiki/%D0%9F%D0%B8%D0%BC%D0%BE%D0%BD%D0%B5%D0%BD%D0%BA%D0%BE_%D0%9C%D0%B8%D0%BA%D0%BE%D0%BB%D0%B0_%D0%9A%D0%BE%D1%80%D0%BD%D0%B8%D0%BB%D0%BE%D0%B2%D0%B8%D1%87 - Screen name. {in Ukrainian}

23. Example of a Vulytsia on the Vyhin, [Pryklad Vulytsi na Vyhoni]. [Electronic resource] Access mode URL: https://ocnt.com.ua/vulicya-veseli-vechornici-uchasniki-ta-osoblivosti-provedennya/ - Screen name. {in Ukrainian}

DOI: 10.32347/2786-7269.2025.11.178-196
УДК 725.95.052.2
к. арх., доцент **Топорков В.Г.,**
ab.Toporkov_VH@nupp.edu.ua, ORCID: 0000-0002-7408-2403,
НУ «Полтавська політехніка імені Юрія Кондратюка»

ЕСТЕТИКА ПІДЗЕМНИХ ПІШОХІДНИХ ПЕРЕХОДІВ

Розглянуто вплив архітектурно-дизайнерських рішень входів до підземних пішохідних переходів на естетичні якості міського середовища. На підставі вивчення практики будівництва підземних переходів та архітектурного вирішення входів до них, показано значний естетичний вплив, який вони здійснюють на візуальні характеристики міського середовища. Вивчення сучасних підходів до архітектурно-дизайнерських рішень входів до підземних переходів в місцях перетину транспортних та пішохідних шляхів, дозволило зробити висновок про необхідність збільшення уваги до їх візуальних характеристик, більш ретельного врахування характеру оточуючої забудови та пошуку нових формальних рішень.

Ключові слова: естетика міського середовища; пішохідні підземні переходи; візуальні характеристики входів до підземних переходів.

Постановка проблеми. Підземні пішохідні переходи є невід'ємною частиною сучасних великих міст. Хоча сам перехід знаходиться під землею і є невидимим з поверхні його наявність активно візуально позначається пішоходам, полегшуючи їх орієнтацію у міському середовищі. Позначення місця де знаходиться вхід до підземного переходу відбувається у різний спосіб і залежить від ряду факторів: містобудівної ситуації, оточуючої забудови, напрямку та характеру руху пішоходів в зоні розташування підземного переходу та інших. Важливим фактором вирішення входів до підземного переходу є місцеві природно-кліматичні умови. Орієнтуючись на них проєктувальники вирішують ступінь захищеності входів до переходу від впливу погодних умов у різні пори року. Враховуючи те, що у більшості випадків, основним елементом спуску до підземного переходу є сходи, забезпечення безпечного руху по них стає першорядним завданням. Для вирішення цього питання застосовують різноманітні інженерні рішення, обираючи найбільш економічні та одночасно ефективні. Сходи до підземного переходу можуть залишатися відкритими, або мати захисну споруду. Відсутність даху та інших захисних конструкцій зменшує витрати на будівництво, але знижує рівень безпеки руху по сходах під час опадів та ожеледиці. Поширеним рішенням є побудова над сходами до підземного

переходу захисної наземної споруди з дахом та стінами з трьох сторін. Ця наземна захисна споруда над входом до підземного переходу стає помітним елементом у міському середовищі. Фізичні розміри цих споруд збільшують їх роль у візуальних характеристиках забудови вулиць. Конструктивне та архітектурно-дизайнерське рішення входів до підземних переходів знаходиться на передньому плані поля зору пішоходів і тому відіграє не аби яку роль у загальному враженні від благоустрою міста, його естетики. Практика будівництва входів до підземних переходів показує, що мають місце невдалі рішення, які не враховують роль цих елементів забудови у формуванні естетичних якостей вулиць. Особливо це питання загострюється коли мова іде про середовище міст з цінною історичною забудовою. Аналіз цих рішень дає підстави вважати, що архітектори не завжди приділяють достатню увагу вирішенню проблеми естетичних якостей пішохідних підземних переходів, а завдання вирішується покладаючись виключно на інженерні аспекти будівництва об'єкту. Недооцінка складності поставленої задачі, особливо її естетичної складової, призводить до зниження якості візуальних характеристик забудови міст.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Благоустрій міст постійно знаходиться в полі зору фахівців. Естетиці міського середовища, формуванню образних характеристик вулиць та площ дослідники приділяють достатньо уваги. Питання естетики архітектурного середовища розглянуті в роботах А.П. Мардера, Ю.М. Євреїнова, О.А. Пламеницької, Криворучко Ольги, В.О. Тимохіна, Н.М. Шебек, Т.В. Малік та ін., Тимофієнко В.І. [1–4]. В статті Admiraal, H.,Cornaro досліджується як використання підземних просторів може впливати на сталий розвиток міст та яку роль освоєні підземні простори можуть грати у забезпеченні розвитку у майбутньому [5]. Питання психологічного сприйняття простору підземних переходів розглянуто у роботі Agnieszki Ciepiela [6]. Дослідження Cheng Peng, Chenxiao Ma and Yunhao Dong присвячене з'ясуванню механізму розвитку міських територій (SUPS) з метою розробки ефективних інструкцій по впровадженню тривимірних пішохідних систем у містах із сталим пріоритетним розвитком [7]. В статті Dedunu Bandara, Chamali Hewawasam зроблено порівняльний аналіз ефективності використання підземних та надземних пішохідних переходів у різних міських контекстах [8]. Стаття Ebu Bekir Aygar and Candan Gokceoglu присвячена питанням прокладки тунелів різних видів [9]. У дослідженні Fazal E. Ghafoor, Malik Sarmad Riaz, Ahmed F. Deifalla, Marc Azab, Omer Javaid, Muhammad Nouman Sattar, Muhammad Maqbool Sadiq статистично показано перевагу пішохідних підземних переходів у порівнянні із пішохідними мостами та розглянуті фактори, що впливають на пріоритетність вибору шляху перетину

пішоходом транспортної магістралі [10]. В статі Jianqiang Cui, Andrew Allan, and Dong Lin показана важливість розвитку системи підземних пішохідних переходів для благоустрою міст та створення пішохідних міст в цілому [11]. Стаття Ilker Erkan, Hasan Hastemoglu присвячена проблемі евакуації великої кількості людей із підземних переходів різних видів [12]. Проблема пріоритетності розвитку пішохідного, або транспортного руху в центрі міста Хобард (Австралія) обговорюється у статі Nicka Booth [13]. У дослідженні Zhu, M., Sze, N.N., Newnam, S., & Zhu, D. показана важливість формування пішохідної мережі міста як єдиного цілого з максимальною досяжністю людей до неї, що забезпечить життєздатність міста у майбутньому [14]. Приклади вирішення наземної частини підземних пішохідних переходів можна бачити на Internet ресурсах 15 – 26. Однак, питання зовнішнього вигляду та естетики наземної частини підземних пішохідних переходів, їх візуальна взаємодія із оточенням, не підіймаються і не вивчаються в достатньому обсязі. Вивчення та увага до цього типу споруд дозволить розробити принципові підходи до їх архітектурно-дизайнерського вирішення з метою підвищення естетичних якостей міської забудови та благоустрою.

Метою публікації є дослідження особливостей естетичних якостей та архітектурно-дизайнерських рішень наземної частини входів до підземних пішохідних переходів з метою підвищення їх ролі у формуванні образних характеристик забудови та благоустрою міських вулиць. Завдання дослідження: аналіз практичного та наукового досвіду проектування та будівництва входів до підземних пішохідних переходів, оцінка їх впливу на естетичні якості міського середовища. Об’єкт дослідження: наземна частина входів до підземних пішохідних переходів в різних містобудівних умовах. Предмет дослідження: естетичні якості наземної частини входів до підземних пішохідних переходів та їх вплив на формування візуальних характеристик забудови та благоустрою міських вулиць. Межі дослідження – наземна частина входів до підземних пішохідних переходів.

Основна частина. На певному історичному етапі розвитку міст, загострення транспортних проблем призвело до пошуку рішень, які б дозволили одночасно рухатись транспортним засобам та пішоходам в місцях перетину їх шляхів. Розведення потоків у просторі є ефективним рішенням цієї проблеми. Пропуск пішоходів під проїжджою частиною вулиць більш ефективний ніж підйом над дорогою по мостах, так як заглиблення менше ніж підйом над дорогою. У великих містах часто входи до підземних переходів поєднують із входами до метро, що підвищує їх містобудівне значення. Достатньо проста функціональна схема пішохідних переходів призвела до певної консервації рішень, що пропонуються і які не змінюються

десятиліттями. Не вдаючись в інженерно-функціональні особливості підземної частину споруди, які не впливають на візуальні характеристики забудови міст, звернемо увагу на те що пропонується на поверхні, безпосередньо перед входом до підземної частини переходу.

Мінімальний варіант облаштування входу до підземної частини переходу, створення захисного бар'єру навколо отвору що утворюється на поверхні. Таке рішення набуло значного різноманіття по архітектурно-дизайнерському вирішенню: від балюстрад у класичному стилі (рис. 1а), до сучасних трактовок зі скла та металу (рис. 1б). Рішення, в якому огородження залишається нижче рівня погляду дорослої людини, гарантує його незначний вплив на візуальне сприйняття оточуючого архітектурного середовища. Цю ситуацію наглядно ілюструє огородження входу до підземного переходу у Корпусному парку м. Полтави, оточеному будівлями ансамблю Круглої площі. Балюстрада у класичному стилі не заважає сприймати архітектуру будинку міської Ради з оптимальної відстані (рис. 1а). Однак, відсутність конструкції, що захищає сходи від опадів знижує функціональні якості підземного переходу. У історичному середовищі на вирішення проблеми гармонійного поєднання функціональних вимог та образно-стилістичних характеристик наземної частини підземного переходу спрямовуються головні зусилля проєктувальників.

а. Огородження входу до підземного переходу у класичному стилі, Корпусний парк, м. Полтава, Україна [фото автора]

б. Огородження входу до підземного переходу зі скла та металу, м. Гуйян, Китай [15]

Рис. 1. Огородження входів до підземних переходів без захисного даху

У разі вибору варіанту із захисною спорудою над сходами, що ведуть до підземної частини переходу, завдання ускладняється у зв'язку із збільшенням візуальної ролі конструкції, яка створюється на поверхні. Певною відправною точкою у пошуку підходів до вирішення архітектурно-стилістичних характеристик наземної частини підземного переходу є характер оточуючої забудови. Якщо оточення несе характерні риси історичних стилів, то виникає необхідність вибору між можливими напрямками формоутворення: підтримка

історичних форм оточуючої забудови шляхом їх повторення, або нейтральне рішення (нюансне сполучення), чи рух у протилежному напрямку – геометрія та матеріали для контрастного сполучення архітектурних форм. Ступінь нюансу, або контрасту обирається в залежності від конкретної ситуації. Уразі, більш сучасного оточення, завдання полегшується можливістю застосування ширшої номенклатури форм, аж до додавання рис футуристичного дизайну. Привнесення до споруди образності, драматизму виводить її на новий рівень впливу на стилістичні характеристики міського середовища. У тріаді функція – конструкція – образ, форма виходить на перший план, використовуючи естетичні якості конструкції (рис. 2а). Спрощений, раціональний підхід зменшує увагу пішоходів до об'єкту і тому виглядає нейтрально до середовища, полегшуючи композиційний зв'язок з ним. У місцях з великою кількістю інших елементів предметного наповнення (лав, кіосків, інформаційних стендів) такий підхід себе виправдовує, що дозволяє уникати візуального перевантаження простору вулиць (рис. 2б).

а. Вхід до підземного переходу з ознаками футуристичної архітектури, м Більбао, Іспанія [16]

б. Нейтральне рішення входу до підземного переходу в «утилітарному стилі», м. Токіо, Японія [17]

Рис. 2. Входи до підземних переходів із захисними спорудами над сходами

Між двома окресленими вище підходами знаходиться велика кількість формальних рішень, які в різній мірі співвідносяться із оточуючим середовищем. Будівлі які знаходяться поруч із входом до підземного переходу можуть бути настільки невиразними, що динамічне вирішення захисної споруди над входом до переходу автоматично робить її візуальним акцентом, додаючи до середовища певного різноманіття (рис. 3а). Треба відмітити, що похилі, динамічні форми даху над входом завжди сприймаються драматично і акцентують на собі увагу (рис. 3б).

Над входами до підземних переходів динамічно виглядають не тільки похилі дахи, а і дахи хвилястої та криволінійної форми (рис. 4а – 4б).

а. Вхід до підземного переходу, який стає візуальним акцентом у забудові вулиці, м. Чунцін, Китай [18]

б. Вхід до підземного переходу з похилим дахом акцентує на собі увагу не залежно від оточення, м. Чунцін, Китай [18]

Рис. 3. Захисні споруди над сходами до підземного переходу та їх вплив на візуальні характеристики архітектурного середовища

Динаміка похилих та хвилястих дахів має властивість звертати на себе увагу, що в певних містобудівних умовах може порушити композиційну цілісність середовища вулиці, особливо в умовах історичної забудови. Прикладом драматичного протиставлення форм традиційної та сучасної архітектури можуть бути входи до підземного переходу у китайському місті Нінбо провінції Чжецзян. Можливо автори проєкту спиралися на містобудівну ситуацію, що склалася в зоні архітектурної пам'ятки, навколо якої не залишилося будинків з історичними фасадами і тому обрали шлях максимального контрасту.

а. Похилий дах криволінійної форми над входом до підземного переходу, м. Чунцін, Китай [18]

б. Прозорий хвилястий дах над входом до підземного переходу, м. Чунцін, Китай [18]

Рис. 4. Динамічний образ похилих та хвилястих дахів над входами до підземних переходів

Однак контраст було доведено до межі, до певного протистояння. Цьому сприяє обрана складна похила форма дахів над сходами переходу. І форми

історичної арки і форми дахів над переходом претендують на ведучу роль у композиції, що сформувалася. Вочевидь, що цінність арки більша, бо вона є унікальною, об'єктом ручної роботи, пам'яткою історії та архітектури. Але, активні форми дахів над входом до підземного переходу намагаються це оскаржити, бо в них є своя, сучасна цінність: складність та прозорість форми, візуальна легкість конструкції (рис. 5а).

Грань між протиставленням та конфліктом дуже тонка і її не завжди відчувають проєктувальники. Таку ситуацію можна бачити і у забудові історичної частини міста Полтави. Підземний перехід розташований під перехрестям важливих міських магістралей (Європейської та Т.Г. Шевченко), має чотири виходи на тротуари прилеглих вулиць. Враховуючи помірні розміри перехрестя, що сформувалось історично, входи до підземного переходу розташувались достатньо близько одне від одного, утворивши щільну групу споруд навколо проїжджої частини. Це призвело до ефекту візуального «затиснення» простору перехрестя та домінування надбудов над входами до переходу у загальній картині забудови транспортно-пішохідного вузла. Ситуація ускладнилась наявністю в безпосередній близькості до переходу будівель з характерними для історичної забудови міста фасадами (двоповерхова будівля з аптекою). Динамічна, піднесена у верх форма дахів над входами до підземного переходу претендує на ведучу роль в архітектурі перехрестя. Історичним будівлям відводиться другорядна роль. Форма дахів над входами до переходу, яка більше характерна для спортивних споруд, особливо дисонує із фасадом будівлі, яка розташована майже в притул. Запланований авторами проєкту контраст форм історичної та сучасної архітектури перетворився на конфлікт. В цьому протистоянні, динамічні форми входів до підземного переходу явно перемагають стриману, з дрібною пластикою архітектуру історичної будівлі (рис. 5б). В такому історичному місті як Полтава, збереження образно-стилістичних особливостей забудови стоїть достатньо гостро.

а. Входи до підземного переходу біля історичної арки у м. Нінбо, Китай [19]

б. Входи до підземного переходу на перехресті вулиць Європейської та Т.Г. Шевченка у м. Полтава, Україна [фото автора]

Рис. 5. Композиційно-образне протиставлення сучасної та історичної архітектури

Варіанти із побудовою захисної споруди над входом до підземного переходу у історичному середовищі завжди несуть ризики виникнення конфлікту між формами нової і старої архітектури. Досвід різних країн підтверджує це. Знімок на рис. 6а показує, як значне наближення похилого даху над входом у підземний перехід до фасаду історичної будівлі, призводить до підкресленого візуального протиставлення їх форм, що породжує конфлікт і негативно впливає на сприйняття середовища вулиці. Хоча архітектори роблячи об'єкт прозорим, намагаються зменшити драматизм ситуації, динамічна форма захисної споруди не дозволяє уникнути конфлікту.

Найгіршим варіантом для входу у підземний перехід може бути перетворення захисної споруди у непрозорий об'єкт. Особливо, коли вона з'являється біля перехрестя. На прикладі м. Чунцін (Китай) видно як велика реклама на рівні погляду людини заважає як пішоходам так і водіям бачити міський простір. (рис. 6б).

а. Дах над входом до підземного переходу з рисами промислової архітектури поруч із історичною будівлею, м. Ціндао, Китай [20]

б. Розташування реклами на захисній споруді входу до підземного переходу, м. Чунцін, Китай [18]

Рис. 6. Протиставлення форм захисної споруди над сходами до підземного переходу та історичного оточення

Прямокутні форми споруди над сходами підземного переходу сприймаються достатньо нейтрально у порівнянні із нахиленими та хвилястими. У поєднанні із значним заскленням створюється об'єкт стриманий по формах і достатньо прозорий, що б не заважати людям бачити оточення в зоні переходу, що особливо важливо, коли перехід знаходиться поруч із зупинкою громадського транспорту, або перехрестям (рис. 7а). Як правило, проста геометрія та метрична побудова фасадів входу до підземного переходу добре узгоджується із сучасними формати оточуючої забудови (рис. 7б).

а. Входи до підземного переходу прямокутної форми та значним заскленням, м. Шеньчжень, Китай [21]

б. Вхід до підземного переходу з плоским дахом прямокутної форми, м. Шеньчжень, Китай [21]

Рис. 7. Захисні споруди входів до підземних переходів прямокутної форми

Коли вхід до підземного переходу розташовується на достатній відстані від оточуючої забудови і ризик отримати конфлікт між формальним язиком різних епох та стилів зменшується, перед проєктувальниками розкривається можливість задіяти широке коло форм та конструкцій для наземної частини переходу. У об'єкті з'являються ламані форми дахів, або поєднання різних формальних прийомів (рис. 8а – 8б).

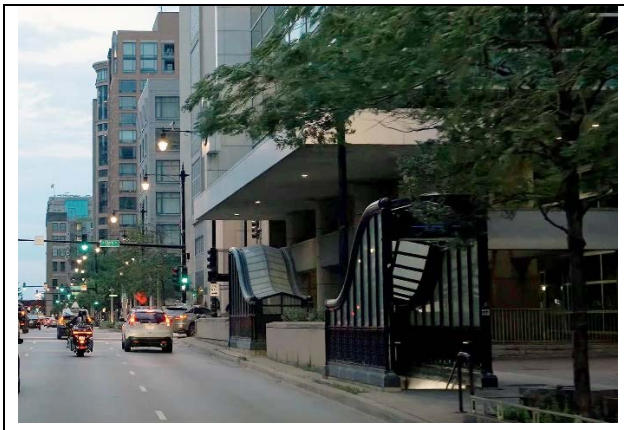
а. Дах над входом до підземного переходу ламаної форми, м. Чунцін, Китай [18]

б. Вхід до підземного переходу із сполученням ламаного даху та опор з нахилом, м. Нінбо, Китай [19]

Рис. 8. Входи до підземних переходів з різною трактовкою дахів та опор

У певних містобудівних умовах проєктувальники вирішують взяти за основу формоутворення споруди над сходами до підземного переходу певні, узагальнені риси місцевої історичної архітектури, навіть на рівні образних асоціацій. Такий підхід можна бачити у м. Чикаго (США), де металеві входи до підземних переходів вирішено у стилі ар деко (рис. 9а). Асоціації можуть бути

узагальнені на стільки, що історичний стиль взагалі не прочитується. Глядачу тільки робиться натяк на існування історичного середовища в місті (рис. 9б).



а. Входи до підземного переходу в стилі ар деко, м. Чикаго, США [22]

б. Монументальний кам'яний вхід «під старину» приєднаний до сучасної конструкції зі скла та металу, м. Янтай, Китай [23]

Рис. 9. Входи до підземних переходів з характерними елементами історичних стилів

Важливу роль у формуванні відношення наземної частини підземного переходу до оточення відіграє колір будівельних матеріалів та оздоблення. За допомогою кольору об'єкт можна «прив'язати» до найближчих будівель (рис. 10а), або навпаки протиставити їм, перетворюючи вхід до переходу на місцевий акцент (рис. 10б).

а. Об'єднуюча роль кольору у формуванні ансамблю забудови перехрестя вулиць, м. Нінбо, Китай [19]

б. Акцентування уваги на об'єкті шляхом застосування яскравого кольору, м. Чунцін, Китай [18]

Рис. 10. Важлива роль кольору наземної частини підземного переходу у взаємодії з оточенням

Арочні конструкції даху над входом до підземного переходу, як і прямокутні, у разі неускладненого силуету не вносять напруження у загальну картину архітектурного середовища (рис. 11а). Щоб надати об'єкту помітності,

але без надмірного драматизму, у таких рішеннях акцент переноситься на опори. Дрібний крок опор даху над переходом узгоджується із членуваннями на фасадах будівель, що знаходяться поруч (рис. 11б).

а. Прозорий арочний дах над переходом візуально не конфліктує із оточенням, м. Єреван, Арменія [24]	б. Прозорий дах циркульної форми над входом до підземного переходу, м. Амстердам, Нідерланди [25]
Рис. 11. Арочні дахи над входами до підземного переходу	

Іноді містобудівна ситуація вимагає від розробників зменшення візуальної ролі наземної частини підземного переходу, при цьому, зберігаючи його розташування, функціональне та конструктивне рішення. В такому разі застосовуються прийоми маскування конструкцій наземної частини входу. Один з таких прийомів має відношення до ілюзіонізму, а саме, повне обшивання конструкцій входу дзеркальним склом, яке відбиваючи оточення ніби розчиняє об'єкт у просторі (рис. 12а).

а. Використання дзеркального скла для максимального візуального «розчинення» конструкцій на вході до підземного переходу, м. Шеньчжень, Китай [21]	б. Озеленення як засіб приховування захисної споруди на вході до підземного пішохідного переходу, м. Шеньчжень, Китай [26]
Рис.12. Прийоми маскування захисних споруд над входами до підземних переходів	

Інший прийом маскування наземної частини входу до переходу – застосування різних видів озеленення. Такий підхід особливо доцільний у

місцях де відчувається певний дефіцит площ для озеленення. У разі потреби, прийом дає змогу певною мірою зменшити влив динамічних форм входу до підземного переходу на оточення, (рис. 12б).

Аналіз практики показав різноманітність архітектурно-дизайнерських прийомів для вирішення питань пов'язаних із будівництвом наземної частини підземних пішохідних переходів.

Висновки. Підземні пішохідні переходи є поширеним об'єктом у міському середовищі і тому постійно привертають увагу фахівців: архітекторів, дизайнерів, інженерів та інших. До підземних переходів ведуть пішохідні шляхи, а архітектурно-дизайнерське вирішення входів завжди знаходиться в полі зору людей. Стиль, форма, колір входів до підземних переходів безпосередньо впливають на естетичні якості міського середовища. В умовах щільної оточуючої забудови образно-стилістичні характеристики наземної частини підземних пішохідних переходів візуально контактують із фасадами будівель та споруд, що розташовані навколо. Питання композиційної узгодженості форм наземної частини підземного переходу із оточенням є важливим у досягненні цілісного, гармонійного образу вулиць та площ міста. Історичне середовище особливо чутливе до появи об'єктів, навіть невеликих, але достатньо агресивних за формами, які порушують сталі композиційні зв'язки. Як показує практика, якщо архітектурні форми нової споруди ігнорують особливості оточення, виникає візуальний конфлікт, боротьба за увагу людей, що в кінцевому рахунку може знизити враження від забудови міста. Аналіз будівництва входів до підземних переходів показав, що лаконічні прямокутні форми входів доречні в любому архітектурному середовищі, вони не створюють загрози виникнення конфлікту із формами оточуючої забудови. Застосування значної кількості скла в наземній частині підземних переходів, також сприяє їх візуальній прозорості, аж до створення враження їх «розчинення» у міському середовищі. В певних містобудівних умовах, входи до підземних переходів можуть стати акцентами в просторі вулиць, привертаючи увагу пішоходів і доповнюючи загальну картину благоустрою міста. Належна оцінка важливості архітектурно-дизайнерських рішень входів до підземних переходів буде сприяти загальному підвищенню естетичних якостей міського середовища.

Список літератури:

1. Мардер А.П. Архітектура: короткий словник. Київ: Будівельник, 1995. 335 с.
2. Криворучко Ольга. Сучасна архітектура: термінологічний словник. Львів: Видавн. Націон. універ. «Львівська політехніка», 2008. 136 с.
3. Основи дизайну архітектурного середовища: підручник / Тимохін В. О. та ін.; за ред. В.О. Тимохін. Київ, 2010. 400 с.

4. Тимофієнко В.І. Архітектура і монументальне мистецтво: терміни та поняття. Київ: Техніка, 2003. 472 с.

5. Admiraal, H., Cornaro, A. Future cities, resilient cities – The role of underground space in achieving urban resilience(Article). Journal *Underground Space (China)*, Volume 5, Issue 3, September 2020, Pages 223-228. DOI: 10.1016/j.undsp.2019.02.001.

6. Agnieszka Ciepiela. Underground Public Space. Cracow's Tunnels of Fear? *IOP Conference Series Materials Science and Engineering* 471:092017. February 2019. DOI: 10.1088/1757-899X/471/9/092017.

7. Cheng Peng, Chenxiao Ma and Yunhao Dong. Unravelling the Formation Mechanism of Sustainable Underground Pedestrian Systems: Two Case Studies in Shanghai. *Sustainability* 2023, *15*(15), 11819; https://doi.org/10.3390/su151511819.

8. Dedunu Bandara, Chamali Hewawasam. A Comparative Study on Effectiveness of Underpass and Overpass among Pedestrians in Different Urban Contexts in Sri Lanka. *Journal of Service Science and Management* > Vol.13 No.5, October 2020. DOI: 10.4236/jssm.2020.135046.

9. Ebu Bekir Aygar and Candan Gokceoglu. Analytical solutions and 3D numerical analyses of a shallow tunnel excavated in weak ground: a case from Turkey. *International Journal of Geo-Engineering.* (2021) 12:9. https://doi.org/10.1186/s40703-021-00142-7.

10. Fazal E. Ghafoor, Malik Sarmad Riaz, Ahmed F. Deifalla, Marc Azab, Omer Javaid, Muhammad Nouman Sattar, Muhammad Maqbool Sadiq. Serviceability Analysis of Pedestrian Overhead Bridges and Underpasses. *Civil Engineering Journal.* Vol 9, No 4 (2023) /Ghafoor. DOI: 10.28991/CEJ-2023-09-04-09.

11. Jianqiang Cui, Andrew Allan, and Dong Lin. Analysis of Motivations of Developing Underground Pedestrian Systems - Decisive Effect of Weather Conditions. Веб-сайт. URL: https://www.ictct.net/wp-content/uploads/23-Hague-2010/ictct_document_nr_715.pdf. (дата звернення 23.01.2025 р.).

12. Ilker Erkan, Hasan Hastemoglu. Building Evacuate Module for Urban Underground Passages: Subway Station in Turkey. *Journal of Transportation Technologies* 05(01):1-8. January 2015. DOI: 10.4236/jtts.2015.51001.

13. Nick Booth. GOING UNDERGROUND? - Why turning to pedestrian under and overpasses in the CBD would be a retrograde step. Веб-сайт. URL: https://www.betterhobart.net/going-underground. (дата звернення 23.01.2025 р.).

14. Zhu, M., Sze, N. N., Newnam, S., & Zhu, D. (2023). Do footbridge and underpass improve pedestrian safety? A Hong Kong case study using three-dimensional digital map of pedestrian network. *Accident Analysis & Prevention*, 186, 107064. DOI:10.1016/j.aap.2023.107064.

15. Автомобільна екскурсія по Гуйяну. Веб-сайт. URL: https://www.youtube.com/watch?v=5sIIacVo7ow. (дата звернення 11.01.2025 р.).

16. Bizkaia Tower Renovation/IDOM. Веб-сайт. URL: https://www.archdaily.com/990705/integral-reform-of-the-bizkaia-tower-idom/634dc500e67f535800a391d3-integral-reform-of-the-bizkaia-tower-idom-photo. (дата звернення 15.12. 2024 р.).

17. Japan City Drive - Driving thru Tokyo 4K – YouTube. Веб-сайт. URL: https://www.youtube.com/watch?v=QZ2EnL4TOYc&ab_channel=TOKYOSMITH. (дата звернення 1.12.2024 р.).

18. Екскурсія по Чунціну – місто із самим складним дорожним рухом. Веб-сайт. URL: https://www.youtube.com/watch?v=Boh66Pjjiq0&ab_channel=%E4%B8%AD%E5%9B%BD%E8%A1%97%E6%99%AFChinaStreetView. (дата звернення 3.12.2024 р.).

19. Нінбо, Веб-сайт. URL: https://uk.wikipedia.org/wiki/%D0%9D%D1%96%D0%BD%D0%B1%D0%BE#%D0%9A%D1%83%D0%BB%D1%8C%D1%82%D1%83%D1%80%D0%B0. (дата звернення 8.12.2024 р.).

20. Автомобільний тур по Ціндао. Веб-сайт. URL:

https://www.youtube.com/watch?v=H8xtmrjHSbY&ab_channel=%E4%B8%AD%E5%9B%BD%E8%A1%97%E6%99%AFChinaStreetView. (дата звернення 11.01.2025 р.).

21. Shenzhen 2025. Driving in downtown Shenzhen, the future technology capital. Веб-сайт. URL: https://www.youtube.com/watch?v=NhdJDTOGXz4&ab_channel=DrivinginChina. (дата звернення 10.01.2025 р.).

22. Driving Chicago. Веб-сайт. URL: https://www.youtube.com/watch?v=En0KyTP63fY&t=129s&ab_channel=RelaxingScenes-Driving. (дата звернення 30.11.2024 р.).

23. Автомобільний тур по Яньтаю. Веб-сайт. URL: https://www.youtube.com/watch?v=ExgXvUyACzA&t=5473s&ab_channel=%E4%B8%AD%E5%9B%BD%E8%A1%97%E6%99%AFChinaStreetView. (дата звернення 14.01.2025 р.).

24. Єреван. Веб-сайт. URL: https://uk.wikipedia.org/wiki/%D0%84%D1%80%D0%B5%D0%B2%D0%B0%D0%BD. (дата звернення 15.09.2024 р.).

25. Амстердам. Веб-сайт. URL: https://uk.wikipedia.org/wiki/%D0%90%D0%BC%D1%81%D1%82%D0%B5%D1%80%D0%B4%D0%B0%D0%BC. (дата звернення 14.01.2025 р.).

26. Нічний тур по Шеньчженю. Веб-сайт. URL: https://www.youtube.com/watch?v=-7wI7Of9pa8&ab_channel=%E4%B8%AD%E5%9B%BD%E8%A1%97%E6%99%AFChinaStreetView. (дата звернення 16.01.2025 р.).

associate Professor **Volodymyr Toporkov**,
National University «Yuri Kondratyuk Poltava Polytechnik», Ukraine

AESTHETICS OF UNDERGROUND PEDESTRIAN CROSSINGS

Underground pedestrian crossings are an integral part of modern large cities. Although the crossing itself is underground and is invisible from the surface, its presence is actively visually indicated to pedestrians, facilitating their orientation in the urban environment.

An important factor in deciding the entrances to the underground passage is the local natural and climatic conditions. Based on them, the designers decide the degree of protection of the entrances to the transition from the influence of weather conditions at different times of the year. Given that in most cases, the main element of the descent to the underground passage is the stairs, ensuring safe movement on them becomes a primary task. Various engineering solutions are used to solve this issue, choosing the most economical and effective at the same time. The stairs to the underground passage can remain open or have a protective structure. The absence of a roof and other protective structures reduces construction costs, but reduces the level of safety of movement on the stairs during precipitation and ice. A common solution is to build a protective ground structure with a roof and walls on three sides above the stairs to the underground passage. This ground protection structure above the entrance to the underpass becomes a prominent element in the urban environment.

The constructive and architectural design solution of the entrances to the underground passages is at the forefront of pedestrians' field of vision and therefore plays a significant role in the overall impression of the city's improvement and its aesthetics. The practice of building entrances to underpasses shows that there are unsuccessful solutions that do not take into account the role of these building elements in shaping the aesthetic qualities of streets. This issue is especially acute when it comes to the environment of cities with valuable historical buildings.

The analysis of these decisions gives reason to believe that architects do not always pay sufficient attention to solving the problem of aesthetic qualities of pedestrian underpasses. Underestimation of the complexity of the task, especially its aesthetic component, leads to a decrease in the quality of the visual characteristics of urban development.

A minimal option for arranging the entrance to the underground part of the transition, creating a protective barrier around the hole formed on the surface. Such a solution has acquired a significant variety of architectural and design solutions: from balustrades in the classical style (Fig. 1a), to modern interpretations of glass and metal (Fig. 1b). The solution, in which the fence remains below the level of an adult's gaze, guarantees its insignificant impact on the visual perception of the surrounding architectural environment.

When choosing an option with a protective structure above the stairs leading to the underground part of the passage, the task becomes more complicated due to the increase in the visual role of the structure, which is created on the surface. A certain starting point in the search for approaches to solving the architectural and stylistic characteristics of the ground part of the underground passage is the nature of the surrounding buildings. If the environment bears characteristic features of historical styles, then there is a need to choose between possible directions of form creation: maintaining the historical forms of the surrounding buildings by repeating them, or a neutral solution (nuanced combination), or moving in the opposite direction - geometry and materials for a contrasting combination of architectural forms. The degree of nuance or contrast is chosen depending on the specific situation.

Buildings located next to the entrance to the underpass can be so inconspicuous that the dynamic solution of the protective structure above the entrance to the underpass automatically makes it a visual accent, adding a certain diversity to the environment (Fig. 3a). It should be noted that the sloping, dynamic forms of the roof above the entrance are always perceived dramatically and draw attention to themselves (Fig. 3b). The dynamics of sloping and wavy roofs has a tendency to draw attention to itself, which in certain urban planning conditions can disrupt the compositional integrity of the street environment, especially in the conditions of historical buildings.

Options with the construction of a protective structure above the entrance to the underground passage in the historical environment always carry the risk of a conflict between the forms of new and old architecture.

When the entrance to the underground passage is located at a sufficient distance from the surrounding buildings and the risk of getting a conflict between the formal language of different eras and styles is reduced, the designers have the opportunity to use a wide range of forms and structures for the above-ground part of the passage.

The color of building materials and decoration plays an important role in shaping the relationship between the ground part of the underground passage and the surroundings. With the help of color, the object can be "tied" to the nearest buildings (Fig. 10a), or, on the contrary, opposed to them, turning the entrance to the transition into a local accent (Fig. 10b).

Conclusions

The style, shape, and color of entrances to underpasses directly affect the aesthetic qualities of the urban environment. In the conditions of dense surrounding buildings, the figurative and stylistic characteristics of the ground part of the underground pedestrian crossings are visually in contact with the facades of buildings and structures located around. The issue of compositional coherence of the forms of the ground part of the underground passage with the environment is important in achieving a coherent, harmonious image of the streets and squares of the city. The historical environment is particularly sensitive to the appearance of objects, even small ones, but aggressive enough in terms of forms, which disrupt fixed compositional ties. As practice shows, if the architectural forms of a new building ignore the peculiarities of the surroundings, a visual conflict arises, a struggle for people's attention, which can ultimately reduce the impression of the city's development. The analysis of the construction of entrances to underground passages showed that the laconic rectangular forms of the entrances are appropriate in any architectural environment, they do not create a threat of conflict with the forms of the surrounding buildings. The use of a significant amount of glass in the ground part of the underground passages also contributes to their visual transparency, up to creating the impression of their "dissolution" in the urban environment. Under certain urban planning conditions, entrances to underground passages can become accents in the street space, attracting the attention of pedestrians and complementing the overall picture of the city's landscaping. A proper assessment of the importance of architectural and design solutions for entrances to underground passages will contribute to the overall improvement of the aesthetic qualities of the urban environment.

Keywords: aesthetics of the urban environment; pedestrian underpasses; visual characteristics of entrances to underpasses.

REFERENCES

1. Marder A.P. Architecture: a short dictionary. Kyiv: Budivelnyk, 1995. 335 p. {in Ukrainian}

2. Kryvoruchko Olga. Modern architecture: terminological dictionary. Lviv: Publishing House. The nation Univ. "Lviv Polytechnic", 2008. 136 p. {in Ukrainian}

3. Fundamentals of architectural environment design: a textbook / Tymokhin V. O. and others; under the editorship V. O. Timokhin. Kyiv, 2010. 400 p. {in Ukrainian}

4. Timofienko V.I. Architecture and monumental art: Terms and concepts. Kyiv: Technika, 2003. 472 p. {in Ukrainian}

5. Admiraal, H.,Cornaro, A.Future cities, resilient cities – The role of underground space in achieving urban resilience(Article). Journal *Underground Space (China)*, Volume 5, Issue 3, September 2020, Pages 223-228. DOI: 10.1016/j.undsp.2019.02.001 {in English}

6. Agnieszka Ciepiela. Underground Public Space. Cracow's Tunnels of Fear?

IOP Conference Series Materials Science and Engineering 471:092017. February 2019. DOI: 10.1088/1757-899X/471/9/092017 {in English}

7. Cheng Peng, Chenxiao Ma and Yunhao Dong. Unravelling the Formation Mechanism of Sustainable Underground Pedestrian Systems: Two Case Studies in Shanghai. *Sustainability* 2023, *15*(15), 11819;

https://doi.org/10.3390/su151511819 {in English}

8. Dedunu Bandara, Chamali Hewawasam. A Comparative Study on Effectiveness of Underpass and Overpass among Pedestrians in Different Urban Contexts in Sri Lanka. *Journal of Service Science and Management* > Vol.13 No.5, October 2020. DOI: 10.4236/jssm.2020.135046 {in English}

9. Ebu Bekir Aygar and Candan Gokceoglu. Analytical solutions and 3D numerical analyses of a shallow tunnel excavated in weak ground: a case from Turkey. *International Journal of Geo-Engineering.* (2021) 12:9 https://doi.org/10.1186/s40703-021-00142-7 {in English}

10. Fazal E. Ghafoor, Malik Sarmad Riaz, Ahmed F. Deifalla, Marc Azab, Omer Javaid, Muhammad Nouman Sattar, Muhammad Maqbool Sadiq. Serviceability Analysis of Pedestrian Overhead Bridges and Underpasses. *Civil Engineering Journal.* Vol 9, No 4 (2023) /Ghafoor. DOI: 10.28991/CEJ-2023-09-04-09 {in English}

11. Jianqiang Cui, Andrew Allan, and Dong Lin. Analysis of Motivations of Developing Underground Pedestrian Systems - Decisive Effect of Weather Conditions. Website. URL: https://www.ictct.net/wp-content/uploads/23-Hague-2010/ictct_document_nr_715.pdf (date of application 23.01.2025 p.). {in English}

12. Ilker Erkan, Hasan Hastemoglu. Building Evacuate Module for Urban Underground Passages: Subway Station in Turkey. *Journal of Transportation Technologies* 05(01):1-8. January 2015. DOI: 10.4236/jtts.2015.51001 {in English}

13. Nick Booth. GOING UNDERGROUND? - Why turning to pedestrian under and overpasses in the CBD would be a retrograde step. Website. URL: https://www.betterhobart.net/going-underground- (date of application 23.01.2025 p.). {in English}

14. Zhu, M., Sze, N. N., Newnam, S., & Zhu, D. (2023). Do footbridge and underpass improve pedestrian safety? A Hong Kong case study using three-dimensional digital map of pedestrian network. *Accident Analysis & Prevention*, 186, 107064. DOI: 10.1016/j.aap.2023.107064. {in English}

15. Car tour of Guiyang. Website. URL: https://www.youtube.com/watch?v=5sIIacVo7ow (date of application 11.01.2025 p.). {in Ukrainian}

16. Bizkaia Tower Renovation/IDOM. Website.URL: https://www.archdaily.com/990705/integral-reform-of-the-bizkaia-tower-idom/634dc500e67f535800a391d3-integral-reform-of-the-bizkaia-tower-idom-photo (date of application 15.12. 2024 p.). {in English}

17. Japan City Drive - Driving thru Tokyo 4K – YouTube. Website. URL: https://www.youtube.com/watch?v=QZ2EnL4TOYc&ab_channel=TOKYOSMITH (date of application 1.12.2024 p.). {in English}

18. A tour of Chongqing is a city with the most difficult traffic. Website. URL: https://www.youtube.com/watch?v=Boh66Pjjiq0&ab_channel=%E4%B8%AD%E5%9B%BD%E8%A1%97%E6%99%AFChinaStreetView (date of application 3.12.2024 p.). {in Ukrainian}

19. Ningbo, Website. URL: https://uk.wikipedia.org/wiki/%D0%9D%D1%96%D0%BD%D0%B1%D0%BE#%D0%9A%D1%83%D0%BB%D1%8C%D1%82%D1%83%D1%80%D0%B0 (date of application 8.12.2024 p.). {in Ukrainian}

20. Car tour of Qingdao. Website. URL: https://www.youtube.com/watch?v=H8xtmrjHSbY&ab_channel=%E4%B8%AD%E5%9B%BD%E8%A1%97%E6%99%AFChinaStreetView (date of application 11.01.2025 p.). {in Ukrainian}

21. Shenzhen 2025. Driving in downtown Shenzhen, the future technology capital.

Website. URL: https://www.youtube.com/watch?v=NhdJDTOGXz4&ab_channel=DrivinginChina (date of application 10.01.2025 p.). {in English}

22. Driving Chicago. Website. URL: https://www.youtube.com/watch?v=En0KyTP63fY&t=129s&ab_channel=RelaxingScenes-Driving (date of application 30.11.2024 p.). {in English}

23. Car tour of Yantai. Website. URL:

https://www.youtube.com/watch?v=ExgXvUyACzA&t=5473s&ab_channel=%E4%B8%AD%E5%9B%BD%E8%A1%97%E6%99%AFChinaStreetView

(date of application 14.01.2025 p.). {in Ukrainian}

24. Yerevan. Website URL: https://uk.wikipedia.org/wiki/%D0%84%D1%80%D0%B5%D0%B2%D0%B0%D0%BD (date of application 15.09.2024 p.). {in Ukrainian}

25. Amsterdam. Website. URL: https://uk.wikipedia.org/wiki/%D0%90%D0%BC%D1%81%D1%82%D0%B5%D1%80%D0%B4%D0%B0%D0%BC (date of application 14.01.2025 p.). {in Ukrainian}

26. Night tour of Shenzhen. Website. URL: https://www.youtube.com/watch?v=-7wI7Of9pa8&ab_channel=%E4%B8%AD%E5%9B%BD%E8%A1%97%E6%99%AFChinaStreetView. (date of application 16.01.2025 p.). {in Ukrainian}

DOI: 10.32347/2786-7269.2025.11.197-212
УДК 72.01

д.арх., професор **Фоменко О.А.,**
oksana.fomenko@kname.edu.ua, ORCID: 0000-0003-0588-4186,
Зінченко А.К.,
anton.zinchenko@kname.edu.ua, ORCID:0009-0000-0663-5478,
Харківський національний університет
міського господарства імені О.М. Бекетова

АСПЕКТИ ФОРМУВАННЯ ВІЗУАЛЬНИХ ОЗНАК БЕЗПЕКИ АРХІТЕКТУРНОГО СЕРЕДОВИЩА

Дане дослідження є першим із чотирьох статей, які об'єднано однією темою: візуальні якості архітектури як середовища, що активує страхи людини і служить захистом від них. Ця стаття присвячена аналізу впливу архітектурної композиції на діапазон страхів та тривожних станів, які відчуває людина під час зорового сприйняття архітектурного середовища. Актуальність цього напряму зумовлена доведеними в експериментальній психології аспектами негативного впливу на здоров'я людини візуально-депресивного середовища. Авторами вперше запропоновано метод аналізу архітектурного середовища як такого, що проецює можливі страхи та тривоги.

У роботі виявлено та обґрунтовано три типи страхів, які може провокувати архітектурне середовище, а саме: біологічні, соціальні та екзистенційні (наступні статті розкривають саме ці аспекти страхів у архітектурі). В даній статті описано метод та базові аспекти здійснення експерименту, проведеного в ННІ АДОМ ХНУМГ ім. О.М. Бекетова. Експеримент полягав у анкетному опитуванні групи респондентів із завданням у довільній формі описати, які страхи, або навпаки захисти від них проецюють певні категорії архітектурної композиції. В результаті експерименту отримано матеріали, які дозволили об'єктивувати методи дослідження, узагальнити дані по зв'язку архітектурного середовища та емоцій, яка воно викликає у людини при візуальному сприйнятті. Також у перебігу експерименту студенти почали краще розуміти принципи роботи з категоріями архітектурної композиції, такими, як масштабність, гармонійність, цілісність, тощо. До важливих результатів експерименту слід віднести формування уявлень про новий напрям наукової діяльності, який пов'язано з розробкою критеріїв оцінки впливу візуальних параметрів архітектурного середовища на емоції людини.

Ключові слова: архітектура; емоції; візуальне сприйняття; тривожні стани; страхи.

Постановка проблеми.

Кожний історичний період формування людської культури починаючи з неолітичної революції (приблизно XIII тисячоліття до н.е.) [1] і донині проходив під невпинним тиском страхів та тривог, характерних для цього часу. Людина завжди боялася загрози голоду, хвороби, смерті, непізнаного, темряви, агресії та багато іншого, що в сучасній медичній традиції стало звати тривожний стан та фобія [2]. Ретроспективне вивчення особливостей формування архітектури під впливом страхів показало, що кожна історична епоха має свій, властивий лише їй набор фобій [3].

Страх є необхідною умовою функціонування людини. Онтологічна властивість страху полягає в прагненні живих організмів зберегти свою цілісність шляхом протидії зовнішньому середовищу [4]. Вся історія людства складається зі спроб приборкати, пом'якшити і подолати страх. Він є ступенем оцінки загрози, ризику. Переосмислення страху і джерел небезпеки закріплено в нормах і цінностях, відображено в культурі і виражено в архетипних структурах.

Страх здавна був об'єктом вивчення фахівцями різних галузей науки - філософії, соціології, психології, фізіологів і т. д., кожен з яких по-своєму представляв цей феномен людської психіки. Деякі філософи бачили в ній якусь екзистенційну силу, що визначає еволюцію людської душі; соціологи і політологи досі розглядають такі емоції як засіб маніпулювання людськими масами; психологи звертають увагу на захисну функцію страху, що сприяє виживанню індивіда в екстремальних умовах; психіатри сприймають її як своєрідну хворобу, від якої пацієнта потрібно рятувати, а для нейробіологів найбільш цікавими є механізми формування цієї емоції в головному мозку і критерії її оцінки. З одного боку, такий «багатовимірний» підхід допомагає вийти за межі якоїсь однієї науки і побачити проблему в цілому, а з іншого, в зв'язку з постійно зростаючим поділом наукових напрямків, ускладнює створення єдиного поняття страху.

Основна функція страху полягає у виявленні джерела загрози та подоланні небезпечної ситуації. Джерела загрози, тобто небезпеки, різноманітні. В історії людства страх еволюціонував від страху перед зовнішніми силами до страху людства перед самим собою. У XX столітті страх перетворився з допоміжної категорії, що використовується в контексті досліджень різних соціальних проблем, в ключову категорію розуміння сучасності. Це пов'язано в першу чергу зі зміною характеру і масштабів

небезпек [5]. Архітектура, як штучне середовище, основним призначенням якої був захист від несприятливих зовнішніх умов, в результаті впливу цих страхів зазнавала змін, набуваючи форми, найбільш відповідні функціям захисту від тих тривог, які відчували замовники.

Важливим для даного дослідження є виявлення принципів формування архітектурного середовища міста під впливом потреби візуальних ознак безпеки [6]. На нашу думку, історія та теорія архітектури накопичила достатньо різноманітного матеріалу для проведення ґрунтовного наукового дослідження принципів активації біологічних, соціальних та екзистенційних страхів формальною, конструктивною та функціональною організацією архітектурного середовища міста. Аналізуючи взаємозв'язок потреб у візуальних ознаках безпеки з розвитком архітектури різних історичних періодів, стає можливим виявити основні композиційні прийоми, характерні для різних епох і стилів, і створити передумови для створення певної універсальної мови візуальної безпеки архітектурних об'єктів що проєктуються.

У даному дослідженні виділяють два основних типи впливу архітектурної композиції на формування тривожних станів у людини: архітектура як джерело страхів і тривог і архітектура як об'єкт, що захищає від страхів і тривог. Кожен з цих видів розглядається з точки зору трьох основних класичних категорій страху: біологічного, соціального та екзистенційного. Кожен з архетипи має певні ознаки, які в процесі візуального засвоєння інтерпретуються підсвідомістю як негативні або позитивні візуальні знаки, вбудовані в навколишнє середовище.

Метою дослідження є розробка методу аналізу візуально-просторової організації архітектурного середовища як засобу захисту та провокатора можливих тривожних станів людини.

Аналіз останніх досліджень і публікацій.

У першій половини XX століття, в світовій архітектурі починається період підвищеного інтересу до психології як науки, що розкриває механізми таких впливів [7], [8]. Наприкінці XX століття сформувалася стійка гіпотеза про вплив архітектурного середовища на психічне здоров'я людини [9]. Незважаючи на те, що ця дискусія триває вже понад півстоліття, досі відсутні загальноприйняті підходи та методологія досліджень у різних наукових школах [10].

До теперішнього часу в архітектурі найбільш досліджено зв'язок контуру об'єкта та емоційних реакцій на видиме середовище. В даному випадку під терміном «Контур» ми маємо на увазі визначення дане Твейлом: «край чи лінія, яка визначає чи обмежує загальному фоні форму чи об'єкт» [11]. У подальших дослідженнях була перевірена гіпотеза про те, що викривлені/округлі

криволінійні рухи більш привабливі для людини, ніж кутові/гострі/прямолінійні. Ця гіпотеза була доведена при використанні різних типів візуальних стимулів, включаючи лінії [12], типи шрифтів [13], геометричні фігури та прості форми [14], неправильні форми та абстрактні візерунки [15], фотографії [16], ескізи знайомих архітектурних споруд [17], а також ескізи та зображення проектованих виробів [18]. Багато досліджень емоційної складової сприйняття контурів та об'єктів показали, що цей ефект присутній у різних рас людей та людиноподібних мавп [19], культур — західної та східної півкуль [20], а також він є як у дошкільнят [21] так і немовлят [22] .

Методи дослідження.

Для того, щоб отримати адекватний методологічний інструментарій для опису такого складного, багаторівневого феномену зорового сприйняття архітектурного середовища як візуальна безпека, у дослідженні обрано інструментарій експериментальної психології. Підрозділ даного апарату, який присвячено вивченню фобій та тривожних станів людини, дає потенційну можливість проаналізувати комплексну проблему оцінки людиною візуальної безпеки архітектурного середовища. [23].

У синтезі із системним підходом ми отримуємо можливість проаналізувати таке явище як принципи взаємодії двох складних систем – «архітектурне середовище – людина» в аспекті взаємного впливу під впливом потреб людини у візуальних ознаках біологічної, соціальної та екзистенційної безпеки. Для забезпечення стійкого функціонування цих двох складових необхідна певна система управління, до якої і належать «аспекти формування візуальних ознак безпеки архітектурного середовища, що розробляються в даному дослідженні».

Результати дослідження.

Вважається доведеним, що людська свідомість генеруватиме відчуття тривоги у випадку трактування архітектурного середовища як несучого потенційну загрозу [24]. Ця емоція змушує людину бути більш уважною, тонізує організм для можливої сутички або втечі. Але також слід враховувати, що постійне відчуття тривоги є негативним почуттям і може призвести до серйозних психічних, а через них і фізичних розладів у людини [25].

З погляду експериментальної психології страх є емоційним процесом. У теорії диференціальних емоцій К. Ізарда страх належить до базових емоцій, тобто є вродженим емоційним процесом, з генетично заданим фізіологічним компонентом. [26] Наслідки страху: емоційні стани невпевненості, сильна нервова напруга, що спонукають особистість до втечі, пошуку захисту, порятунку. Основні функції страху та супутніх йому емоційних станів: сигнальна, захисна, адаптаційна, пошукова.

Будучи найсильнішою і легко збудливою емоцією, страх став однією з помітних чинників, які впливають в розвитку цивілізації від найдавніших часів донині. Так страх перед нападом сусідніх племен змушував людину неоліту об'єднуватися у великих поселеннях, утворюючи тим самим перші протогорода незважаючи на те, що більш розосередженим поселенням було б легше прогодуватися. Інститут рабства, що став основою величного розвитку античного світу, не зміг би існувати без страху рабів перед господарями. Феодальне суспільство трималося на страху селян перед феодалами. Страх перед смертю та непізнаним став основою світових міфологій, а згодом релігій. Кожна зміна суспільних формацій модифікувала старі страхи, привносячи нові, власні, більш тонкі та різноманітні.

Сьогодні немає єдиної класифікації страхів, прийнятої міжнародним науковим співтовариством. У дослідженні пропонується запропонована в традиційній експериментальній психології класифікація, розділена за трьома основними типами: страхи біологічні, соціальні та екзистенційні [27].

Біологічний страх викликається певною ситуацією і загрожує одному з двох біологічних законів: збереженню власного життя і збереженню життя виду. У візуальному сприйнятті архітектури до чинників, що можуть провокувати страхи можуть входити наступні: висота, нестійка композиція, великі маси на тоненьких опорах, занадто довгі консолі тощо. Не завжди безпека фізична збігається з візуальною безпекою. Також до біологічних страхів можна віднести загрозу задоволення найпростіших фізіологічних потреб таких як: потреба в їжі, воді, повітрі, притулок, тобто ті, які людина повинна задовольняти для підтримки свого організму в життєдіяльному стані [28]. Занадто «голі», без ознак життя міські простори можуть підсвідомо провокувати й такі страхи.

Соціальні страхи можуть випливати з біологічних страхів, але, завжди мають специфічний соціальний компонент, який починає домінувати, відтісняючи більш примітивні фактори виживання [29]. Тут і страх перед моральним насильством, самооцінка індивіда у групі, страх перед начальством, страх самотності, страх військових конфліктів, тобто весь комплекс переживань, пов'язаних із комфортним перебуванням людини у соціальному оточенні. У дослідженні страхів, пов'язаних з міським середовищем, ми використовуємо дані N. Radina, яка виділила кілька основних класів найбільш характерних для сприйняття городян. [30]

Екзистенційні страхи розуміються як окрема група страхів, що не пов'язані з якоюсь життєвою подією певного індивіда, а швидше пов'язані з внутрішньою сутністю людини. Тому екзистенційні страхи мають ряд особливостей: вони, так чи інакше, притаманні всім людям, але набагато

різноманітніші та складаються у неповторні комплекси індивідуальних переживань. Страх смерті, часу, буття, самотності, переживання сенсу і безглуздості життя, протягом усього розвитку людство стикалося з цими проблемами і страхами [31]. Природно, що ці переживання відбилися і в архітектурі.

Дане дослідження будується на наступній логічній послідовності: 1. проведення контент аналізу першоджерел, присвячених фобіям та тривожним станам; 2. розподіл фобій за трьома типами страхів – біологічні, соціальні, екзистенційні; 3. проведення контент-аналізу, орієнтованого на формування списку найпоширеніших категорій архітектурної композиції; 4. складання табличного шаблону у якому рядки – категорії композиції, стовпці – фобії; 5. у комірках, що утворилися, дати опис принципів впливу архітектурної композиції на сприйняття її як джерела захисту та провокатора можливих тривожних станів; 6. висновки.

1. Проведення контент аналізу першоджерел, присвячених фобіям і тривожним станам.

Перший етап дослідження пов'язаний з виявленням методу класифікації страхів, які мають перспективи на адаптацію до архітектурної парадигми. Виконано аналіз першоджерел у діапазоні від Стенлі Холла «Дослідження страхів» [32] та Зигмунда Фрейда з його психоаналізом [33] до новітніх публікацій 2024 р. з психіатрії та суміжних наук (24 роботи з найбільшим індексом цитування). Найбільший інтерес викликала робота Робертсона «Надлишок фобій і маній: збірка тривог, нав'язливих ідей та нав'язливих станів, які штовхають багатьох на межу здорового глузду» [34]. Взятий із запропонованої методології підхід дозволив сформувати уявлення про три основні групи страхів: біологічні, екзистенційні та соціальні. Наповнення груп виконано на основі аналізу сукупності фобій, наведених у відповідній літературі, наприклад, у Беккера [35].

2. Розподіл фобій за трьома типами страхів – біологічні, соціальні, екзистенційні.

Біологічні страхи пов'язані з прямою загрозою існування індивіда. До цієї групи страхів входять фобії, що мають перспективу з погляду об'єкту дослідження, такі як: Акрофобія: страх висоти; Клаустрофобія: страх замкнутих або багатолюдних місць; Ахлуофобія: страх темряви; Агорафобія: страх відкритих місць; Агірофобія: страх місць з активним рухом; Батмофобія: страх сходів; Хемофобія: страх хімічних речовин; Клаустрофобія: страх опинитися у пастці без виходу; Біофобія: страх живих організмів і дикої природи; Гефірофобія: страх мостів; Лігофобія: страх темряви; Ноктифобія: страх ночі;

Танатофобія: страх смерті; Екофобія: страх перед катастрофічними змінами довкілля;

Соціальні страхи. Соціальний тривожний розлад (соціальна фобія) є третьою за величиною проблемою психічного здоров'я у світі на сьогоднішній день. Серед виявлених фобій найпоширеніші такі: Агорафобія: страх перед певними неминучими/небезпечними ситуаціями; Аутофобія: страх самотності; Антропофобія: страх людей або компанії людей; Аутофобія: страх ізоляції; Енохлофобія: страх натовпу; Монофобія: страх самотності; Соціофобія: страх людей або соціальних ситуацій;

Екзистенційні страхи. У психології та психотерапії термін «екзистенційна криза» відноситься до форми внутрішнього конфлікту. Для нього характерне враження, що життя позбавлене сенсу та супроводжується різними негативними переживаннями, такими як стрес, тривога, розпач та депресія. [36]. Страхи такого типу часто досягають такого рівня, що порушують нормальне функціонування людини у повсякденному житті. [37]. Внутрішня природа цього конфлікту відрізняє екзистенційні кризи від інших типів криз, які зумовлені зовнішніми обставинами, як-от соціальні чи біологічні страхи. Серед виявлених фобій, пов'язаних з даним типом страхів, виділено наступне: Ахлуофобія: страх темряви; Атакофобія: страх безладу або неохайності; Ателофобія: страх недосконалості; Апейрофобія: надмірний страх перед нескінченністю, вічністю та незліченним; Ателофобія: страх недосконалості, синонім перфекціонізму; Катоптрофобія: страх дзеркал; Кіберфобія: страх комп'ютерів, інтернету та нових технологій; Ейзотропофобія: страх дзеркал або бачення свого відображення в дзеркалі; Ідеофобія: страх ідей; Кенофобія: страх порожніх місць; Лейкофобія: страх білого кольору; Мегалофобія: страх великих речей; Меланофобія: страх чорного кольору; Некрофобія: страх смерті або мертвих; Неофобія: страх новин, новизни, змін чи прогресу; Панфобія: страх всього або постійний страх невідомої причини; Зевзофобія: страх перед Богом чи богами. [38]

3. Проведення контент аналізу, орієнтованого на формування переліку найбільш поширених категорій архітектурної композиції;

Проведено аналіз першоджерел, які розглядали такі категорії архітектурної композиції як, наприклад: масу, величину, фактуру [39], симетрію [40], текстура, колір, світлотінь, цілісність, гармонійність, тектоніка, нюанс [41], симетрія, асиметрія, пропорційність, масштабність, масштаб [42], метр, ритм, членність, контраст [43] та інші.

4. Складання табличного шаблону, в якому рядки – категорії композиції, стовпці – фобії.

У дослідженні складено три блоки таблиць за типами страхів. Враховуючи, що розкриття всіх варіантів перетинів за обсягом далеко виходить за межі даної роботи, ми наводимо декілька найбільш цікавих прикладів перетинів категорій композиції та фобій на основі Біологічної групи страхів (таб.1.).

Особливістю даної таблиці є те, що кожна з категорій аналізованого архітектурного об'єкта оцінюється одночасно як провокатор і нейтралізатор страхів. В даному випадку "+" це нейтралізатор конкретного страху (наприклад, низька будівля в категорії страх висоти отримує "+"). Оцінка «-» ставиться провокатором страхів (наприклад, парковий лабіринт та страх втрати орієнтації).

Таблиця 1.

Континуум варіантів перетинів фобій та категорій архітектурної композиції

N	Категорія композиції	Біологічні фобії													
		а	б	в	г	д	е	є	ж	и	і	к	л	м	н
		страх висоти	страх замкнутих просторів	страх темряви	страх відкритих місць	страх вулиць з активним рухом	страх крутих сходів	страх бруду	страх опинитися в пастці	страх дикої природи	страх ненадійних опор	страх втрати орієнтації	страх ночі	страх смерті	страх перед екол. проблемами
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
1	Величина	1а	1б	1в	1г	1д	1е	1єє	1ж	1и	1і	1к	1л	1м	1н
2	Маса	2а	2б	2в	2г	2д	2е	2є	2ж	2и	2і	2к	2л	2м	2н
3	Фактура	3а	3б	3в	3г	3д	3е	3є	3ж	3и	3і	3к	3л	3м	3н
4	Текстура	4а	4б	4в	4г	4д	4е	4є	4ж	4и	4і	4к	4л	4м	4н
5	Колір	5а	5б	5в	5г	5д	5е	5є	5ж	5и	5і	5к	5л	5м	5н
6	Світлотінь	6а	6б	6в	6г	6д	6е	6є	6ж	6и	6і	6к	6л	6м	6н
7	Цілісність	7а	7б	7в	7г	7д	7е	7є	7ж	7и	7і	7к	7л	7м	7н
8	Гармоній-ність	8а	8б	8в	8г	8д	8е	8є	8ж	8и	8і	8к	8л	8м	8н
9	Тектоніка	9а	9б	9в	9г	9д	9е	9є	9ж	9и	9і	9к	9л	9м	9н
10	Архетип	10а	10б	10в	10г	10д	10е	10є	10ж	10и	10і	10к	10л	10м	10н
11	Симетрія	11а	11б	11в	11г	11д	11е	11є	11ж	11и	11і	11к	11л	11м	11н
12	Асиметрія	12а	12б	12в	12г	12д	12е	12є	12ж	12и	12і	12к	12л	12м	12н
13	Пропор-ційність	13а	13б	13в	13г	13д	13е	13є	13ж	13и	13і	13к	13л	13м	13н
14	Масштаб-ність	14а	14б	14в	14г	14д	14е	14є	14ж	14и	14і	14к	14л	14м	14н
15	Масштаб	15а	15б	15в	15г	15д	15е	15є	15ж	15и	15і	15к	15л	15м	15н

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
16	Метр	16а	16б	16в	16г	16д	16е	16є	16ж	16и	16і	16к	16л	16м	16н
17	Ритм	17а	17б	17в	17г	17д	17е	17є	17ж	17и	17і	17к	17л	17м	17н
18	Членність	18а	18б	18в	18г	18д	18е	18є	18ж	18и	18і	18к	18л	18м	18н
19	Контраст	19а	19б	19в	19г	19д	19е	19є	19ж	19и	19і	19к	19л	19м	19н
20	Нюанс	20а	20б	20в	20г	20д	20е	20є	20ж	20и	20і	20к	20л	20м	20н

5. Опис принципів впливу архітектурної композиції на сприйняття її як джерела захисту та провокатора можливих тривожних станів.

За своєю структурою Таблиця 1 дає 280 варіантів перетинів (комірок). У кожній з комірок за розробленим авторами шаблоном (Таб. 2) дається опис того як архітектурна композиція може вплинути на відчуття страху у людини.

Таблиця 2.

Приклад шаблону комірки

Комір-ка	Стовпець / строка / опис	Візуальні дані
1а	Страх висоти / Величина / Будівля велика, зі скляним виступом, який нависає над вулицею на великій висоті (-)	

В результаті у зведену таблицю (Таб 3) надається загальна оцінка по кожній з комірок. Для перевірки об’єктивності методу оцінки впливу архітектурного середовища на страхи людини нами проведено експеримент. До експерименту було залучено 24 студента архітектора 2-3 року навчання. Завданням було заповнити картки комірок, дати оцінку кожної картки у градаціях (нагадаємо) «+» це нейтралізатор конкретного страху, «-» ставиться провокатором страхів, «0» - нейтральна реакція. Плюси та мінуси у кожній строчці підсумовуються, результати викладаються у таблиці.

Таблиці 3.

Приклад зведеної таблиці, що оцінює місто мистецтв та науки в Валенсії, арх. Сантьяго Калатрава.

N	Категорія композиції	Опис композиц	Візуальні дані
1	Величина	+(9)/0(2)/-(3)	
2	Маса	+(19)/0(2)/-(3)	
3	Фактура	+(8)/0(5)/-(1)	
4	Текстура	+(8)/0(5)/-(1)	
5	Колір	+(8)/0(5)/-(1)	
6	Світлотінь	+(4)/0(4)/-(6)	
7	Цілісність	+(3)/0(3)/-(8)	
8	Гармонійність	+(12)/0(2)/-(0)	
9	Тектоніка	+(2)/0(7)/-(5)	
10	Архетип	+(0)/0(14)/-(0)	
11	Симетрія	+(1)/0(10)/-(3)	
12	Асиметрія	+(1)/0(7)/-(6)	
13	Пропорційність	+(4)/0(5)/-(5)	
14	Масштабність	+(5)/0(6)/-(3)	
15	Масштаб	+(6)/0(5)/-(3)	
16	Метр	+(6)/0(8)/-(0)	
17	Ритм	+(6)/0(8)/-(0)	
18	Членність	+(5)/0(6)/-(3)	
19	Контраст	+(8)/0(6)/-(0)	
20	Нюанс	+(1)/0(13)/-(0)	

Висновки.

Запропонований у даній статті метод аналізу архітектурного середовища, проведений через призму страхів та фобій людини, яка візуально «споживає» це середовище, є досить перспективним. Таке твердження ґрунтується на тому, що незважаючи на очевидну суб'єктивність суджень респондентів, у дослідженні отримано досить важливі дані, які стали матеріалом для подальшого розвитку методу аналізу емоційної складової візуального сприйняття архітектурного середовища. Тема архітектури, як середовища, що проектує певні страхи та тривоги, цікавить багатьох архітекторів та психологів з усього світу. Однак, незважаючи на безліч публікацій єдиного підходу, досі не вироблено. Це дає змогу стверджувати про певну наукову новизну дослідження.

Дана робота показала, наскільки тонкими та надчуттєвими можуть бути можливі впливи архітектури на емоційний стан людини. Працюючи з такими

тонкими матеріями як «емоційний світ людини», ми запропонували новий підхід та погляд на проблему візуального комфорту архітектурного середовища. На даному етапі проведених досліджень ми отримали впевненість у правильності обраного наукового спрямування.

Із найбільш значущих результатів дослідження можна виділити такі:

– Запропонований метод дозволяє на новому рівні вивчати принципи розвитку архітектури під впливом потреб людини у візуальній безпеці. Розподіл типів страхів за трьома групами: біологічні, соціальні та екзистенційні, дозволив позначити цілі, завдання, композиційні прийоми та підходи до проектування архітектурного середовища. Це, у своєю чергою, дозволило краще формалізувати дані архітектурної композиції;

- На даному етапі дослідження сформовано концепцію наступних етапів, присвячених виявленню діапазону емоцій, характерних для кожного типу будівель з континууму об’єктів архітектурної типології. Ці емоції можуть бути як позитивними, так і негативними. Залежно від функціонального призначення будівлі цей діапазон змінюватиметься.

- Вперше запропонований метод аналізу емоційних відгуків на видиме архітектурне середовище дозволяє стверджувати принципову можливість розробки критеріїв оцінки цих відгуків. У разі отримання позитивного наукового результату можливо реалізувати програми складання карт емоційного сприйняття міського середовища з фіксацією депресивних її сегментів та розробкою рекомендацій щодо їх реабілітації.

- Отримані дані дозволяють вважати перспективним запропонований напрямок дослідження. Суть цього напряму в дуальному баченні архітектурної композиції, а саме: архітектура, що провокує страхи та тривоги та архітектура, що захищає від страхів та тривог. На нашу думку, розвиток цього напряму дозволить дати вагомі результати щодо подальшого розвитку парадигми архітектурної композиції.

У наступній статті заплановано приведення результатів експерименту, а саме тієї частини, яку присвячено дослідженню впливу архітектурної композиції на біологічні страхи людини.

D.Arch., Professor **Oxana Fomenko,**
Postgraduate student **Anton Zinchenko,**
O.M. Beketov National University of Urban Economy in Kharkiv

ASPECTS OF FORMATION OF VISUAL SIGNS OF SAFETY OF THE ARCHITECTURAL ENVIRONMENT

This study is the first of four articles that are united by one topic: the visual qualities of architecture as an environment that activates human fears and serves as a protection against them. This article is devoted to the analysis of the influence of architectural composition on the range of fears and anxiety states that a person experiences during the visual perception of the architectural environment. The relevance of this direction is due to the aspects of the negative impact of the visual-depressive environment on human health, proven in experimental psychology. The authors were the first to propose a method for analyzing the architectural environment as one that projects possible fears and anxieties.

The paper identifies and substantiates three types of fears that can be provoked by the architectural environment, namely: biological, social and existential (the following articles reveal these aspects of fears in architecture). This article describes the method and basic aspects of the experiment conducted at the Institute of Academic and Research Institute of Architecture, Design and Fine Arts of O.M. Beketov National University of Urban Economy in Kharkiv.. The experiment consisted in a questionnaire survey of a group of respondents with the task of describing in any form what fears, or vice versa, defenses against them are projected by certain categories of architectural composition. As a result of the experiment, materials were obtained that made it possible to objectify research methods, to generalize data on the connection between the architectural environment and the emotions that it evokes in a person during visual perception. The results obtained by the authors of the study made it possible to get an idea of the future direction of the research cycle devoted to the development of methods for the formation of emotional backgrounds of the architectural component of cities. Also, in the course of the experiment, students began to better understand the principles of working with categories of architectural composition, such as scale, harmony, integrity, etc. Important results of the experiment include the formation of ideas about a new direction of scientific activity, which is associated with the development of criteria for assessing the influence of visual parameters of the architectural environment on human emotions.

Keywords: architecture; emotions; visual perception; anxiety; fears.

REFERENCES

1. Allen R.C. The Neolithic Revolution in the Middle East (2024) Economic History Review, 77 (4), pp. 1154 - 1196. DOI: 10.1111/ehr.13307. {in English}.

2. Hall G.S. (1897). "A Study of Fears". American Journal of Psychology. 8 (2). University of Illinois Press: 157. doi:10.2307/1410940. ISSN 0002-9556. {in English}.

3. Kostuch L. Fear, disgust, hate: negative emotions evoked by animals in ancient literature (2022) History of Psychiatry, 33 (2), pp. 127 - 142. DOI: 10.1177/0957154X211064954. {in English}.

4. Belzer, Kenneth D., Michael B. Mckee and Michael R. Liebowitz. “Social anxiety disorder: Current perspectives on diagnosis and treatment.” Primary psychiatry 12 (2005): 35-48. {in English}.

5. Rudenko, A.M., Rodionova, V.I., Stepanova, V.N. (2019). Social Fears in the Context of Security Concern: Social and Philosophical Analysis. In: Popkova, E., Ostrovskaya, V. (eds) Perspectives on the Use of New Information and Communication Technology (ICT) in the Modern Economy. ISC 2017. Advances in Intelligent Systems and Computing, vol 726. Springer, Cham. https://doi.org/10.1007/978-3-319-90835-9_129. {in English}.

6. Pop, Dana. Arhitectură, percepţie şi frică. PAIDEIA. 2016. Cod: PAI978-606-748-130-3. {in English}.

7. Poffenberger, A.T.; Barrows, B.E. The feeling value of lines. J. Appl. Psychol. 1924, 8, 187–205. {in English}.

8. Lundholm, H. The affective tone of lines: Experimental Researches. Psychol. Rev. 1921, 28, 43–60. {in English}.

9. Gary W. Evans, Janetta Mitchell McCoy. WHEN BUILDINGS DON’T WORK: THE ROLE OF ARCHITECTURE IN HUMAN HEALTH. Journal of Environmental Psychology,Volume 18, 1998. Pages 85-94. ISSN 0272-4944, https://doi.org/10.1006/jevp.1998.0089. {in English}.

10. Higuera-Trujillo, Juan Luis, Carmen Llinares, and Eduardo Macagno. 2021. "The Cognitive-Emotional Design and Study of Architectural Space: A Scoping Review of Neuroarchitecture and Its Precursor Approaches" Sensors 21, no. 6: 2193. https://doi.org/10.3390/s21062193. {in English}.

11. Tawil, N.; Sztuka, I.M.; Pohlmann, K.; Sudimac, S.; Kühn, S. The Living Space: Psychological Well-Being and Mental Health in Response to Interiors Presented in Virtual Reality. Int. J. Environ. Res. Public Health 2021, 18, 12510. https://doi.org/10.3390/ijerph182312510. {in English}.

12. Hevner, K. (1935). Experimental studies of the affective value of colors and lines. Journal of Applied Psychology, 19(4), 385–398. https://doi.org/10.1037/h0055538. {in English}.

13. Kastl A.J., Child I.L. Emotional meaning of four typographical variables. J Appl Psychol. 1968 Dec;52(6):440-6. doi: 10.1037/h0026506. PMID: 5705849. {in English}.

14. Belin L., Henry L., Destays M., Hausberger M., Grandgeorge M. Simple Shapes Elicit Different Emotional Responses in Children with Autism Spectrum Disorder and Neurotypical Children and Adults. Front Psychol. 2017 Jan 30:8:91. doi: 10.3389/fpsyg.2017.00091. PMID: 28194129; PMCID: PMC5276997. {in English}.

15. Cotter K.N., Silvia P.J., Bertamini M., Palumbo L., Vartanian O. Curve Appeal: Exploring Individual Differences in Preference for Curved Versus Angular Objects. Iperception. 2017 Apr 3;8(2):2041669517693023. doi: 10.1177/2041669517693023. PMID: 28491269; PMCID: PMC5405906. {in English}.

16. Guido Corradi, Manuel Belman, Tommaso Currò, Erick G. Chuquichambi, Carlos Rey, Marcos Nadal. Aesthetic sensitivity to curvature in real objects and abstract designs. Acta Psychologica, Volume 197, 2019, Pages 124-130, ISSN 0001-6918, https://doi.org/10.1016/j.actpsy.2019.05.012. {in English}.

17. Chuquichambi E.G., Palumbo L., Rey C., Munar E. Shape familiarity modulates preference for curvature in drawings of common-use objects. PeerJ. 2021 Jul 6;9: e11772. doi: 10.7717/peerj.11772. PMID: 34268016; PMCID: PMC8269663.

18. Leder, H., & Carbon, C.-C. (2005). Dimensions in Appreciation of Car Interior Design. Applied Cognitive Psychology, 19(5), 603–618. https://doi.org/10.1002/acp.1088. {in English}.

19. Munar E, Gómez-Puerto G, Call J, Nadal M (2015) Common Visual Preference for Curved Contours in Humans and Great Apes. PLoS ONE 10(11): e0141106. https://doi.org/10.1371/journal.pone.0141106. {in English}.

20. Bertamini, M., Palumbo, L., Gheorghes, T. N., & Galatsidas, M. (2016). Do observers like curvature or do they dislike angularity? British Journal of Psychology, 107(1), 154–178. https://doi.org/10.1111/bjop.12132. {in English}.

21. Jadva V, Hines M, Golombok S. Infants' preferences for toys, colors, and shapes: sex differences and similarities. Arch Sex Behav. 2010 Dec;39(6):1261-73. doi: 10.1007/s10508-010-9618-z. Epub 2010 Mar 16. PMID: 20232129. {in English}.

22. Hopkins, J.R.; Kagan, J.; Brachfeld, S.; Hans, S.; Linn, S. Infant responsivity to curvature. Child. Dev. 1976, 47, https://doi.org/10.2307/1128456. {in English}.

23. Summerscale K (6 October 2022). The Book of Phobias and Manias. Profile Books. ISBN 9781788162814. {in English}.

24. Arbib, Michael & Griffero, Tonino. (2023). Atmosphere(s) for Architects: Between Phenomenology and Cognition. ISBN: 978-1-944548-50-6. {in English}.

25. Piqueras Rodríguez, José Antonio; Ramos Linares, Victoriano; Martínez González, Agustín, Ernesto; Oblitas Guadalupe, Luis Armando, EMOCIONES NEGATIVAS Y SU IMPACTO EN LA SALUD MENTAL Y FÍSICA, Suma Psicológica, vol. 16, núm. 2, diciembre, 2009, pp. 85-112, Fundación Universitaria Konrad Lorenz, Bogotá, Colombia. ISSN: 0121-4381. {in English}.

26. Cai, X., Li, L. (2024). Differential Emotions Theory. In: Kan, Z. (eds) The ECPH Encyclopedia of Psychology. Springer, Singapore. https://doi.org/10.1007/978-981-97-7874-4_186. {in English}.

27. Savenkova, Iryna & Stashevska, Maryna. (2021). Relationship between fear and emotionality. Scientific Visnyk V.O. Sukhomlynskyi Mykolaiv National University. Psychological Sciences. 48-52. 10.33310/2078-2128-2021-21-2-48-52. {in English}.

28. Plamper, Jan, and Benjamin Lazier, eds. “Front Matter.” In Fear: Across the Disciplines, i–iv. University of Pittsburgh Press, 2012. https://doi.org/10.2307/j.ctt7zw809.1. {in English}.

29. Pishchik, Vlada. (2021). Value-driven fears of modern information generations. E3S Web of Conferences. 258. 07037. 10.1051/e3sconf/202125807037.

30. Radina N.K. Social Psychology of Urban Lifestyle: City of Fear. Social Psychology and Society. No. 1. 2012 ISSN: 2221-1527 / 2311-7052. {in English}.

31. Maslow, A. Que nous apporte la psychologie existentielle? (1971) Psychologie existentielle, pp. 53-62. Allport G, Feifel H, Maslow A, May R, Rogers C. (Dir). Paris: Epi. {in English}.

32. Hall GS (1897). "A Study of Fears". American Journal of Psychology. 8 (2). University of Illinois Press: 157. doi:10.2307/1410940. ISSN 0002-9556. JSTOR 1410940. {in English}.

33. Freud, S. (1920). Fear and anxiety. In S. Freud, A general introduction to psychoanalysis (pp. 340–355). Horace Liveright. https://doi.org/10.1037/10667-024. {in English}.

34. Robertson J.G. (2003). An Excess of Phobias and Manias: A Compilation of Anxieties, Obsessions, and Compulsions That Push Many Over the Edge of Sanity. Senior Scribe Publications. p. 146. ISBN 978-0-9630919-3-2. {in English}.

35. Becker, E.S., Rinck, M., Türke, V., Kause, P., Goodwin, R., Neumer, S., & Margraf, J. (2007). Epidemiology of specific phobia subtypes: Findings from the Dresden Mental Health Study. European Psychiatry, 22(2), 69–74. https://doi.org/10.1016/j.eurpsy.2006.09.006. {in English}.

36. Andrews, Mary (April 2016). "The existential crisis". Behavioral Development Bulletin. 21 (1): 104–109. doi:10.1037/bdb0000014. {in English}.

37. Yang, William; Staps, Ton; Hijmans, Ellen (2010). "Existential crisis and the awareness of dying: the role of meaning and spirituality". Omega. 61 (1): 53–69. doi:10.2190/OM.61.1.c53-69. ISSN 0030-2228. PMID 20533648. S2CID 22290227. {in English}.

38. Cherry, Kendra. List of Phobias A to Z: Some of the Most Common Phobias. Explore Psychology 2024. https://www.explorepsychology.com/list-of-phobias/. {in English}.

39. Silvia, P.J., & Barona, C.M. (2009). Do people prefer curved objects? Angularity, expertise, and aesthetic preference. Empirical Studies of the Arts, 27(1), 25–42. https://doi.org/10.2190/EM.27.1.b. {in English}.

40. Velasco, C., Salgado-Montejo, A., Elliot, A.J. et al. The shapes associated with approach/avoidance words. Motiv Emot 40, 689–702 (2016). https://doi.org/10.1007/s11031-016-9559-5. {in English}.

41. Corradi G, Rosselló-Mir J, Vañó J, Chuquichambi E, Bertamini M, Munar E. The effects of presentation time on preference for curvature of real objects and meaningless novel patterns. Br J Psychol. 2019 Nov;110(4):670-685. doi: 10.1111/bjop.12367. Epub 2018 Dec 7. PMID: 30536967. {in English}.

42. Westerman, S.J., Gardner, P.H., Sutherland, E.J., White, T., Jordan, K., Watts, D., & Wells, S. (2012). Product design: Preference for rounded versus angular design elements. Psychology & Marketing, 29(8), 595–605. https://doi.org/10.1002/mar.20546. {in English}.

43. Palumbo, L., Rampone, G., Bertamini, M., Sinico, M., Clarke, E., & Vartanian, O. (2022). Visual preference for abstract curvature and for interior spaces: Beyond undergraduate student samples. Psychology of Aesthetics, Creativity, and the Arts, 16(4), 577–593. https://doi.org/10.1037/aca0000359. {in English}.

DOI: 10.32347/2786-7269.2025.11.213-225
УДК 728.22.012-014.325

Шевченко А.В.,
architect.artem.shevchenko1994@gmail.com, ORCID: 0009-0005-8508-9247,
Національний університет «Полтавська політехніка
імені Юрія Кондратюка»

ІННОВАЦІЇ У ФОРМУВАННІ ЖИТЛОВОГО СЕРЕДОВИЩА, ЗДАТНОГО ДО АДАПТАЦІЇ

Представлено інноваційні рішення, запроваджені при формуванні житлового середовища, здатного до адаптації. Результат отримано на підставі ґрунтовного аналізу проєктних рішень та реалізованих житлових будівель, груп, просторів з середини XX ст. й дотепер. Розкрито основні ідеї та концепції досліджуваних об'єктів, їх характеристики. Методом аналізу й синтезу виявлено інновації, які стали проривом у періоди їх імплементації. З'ясовано, що головним завданням створення адаптивного житлового середовища було вирішення гострих проблем суспільства в різні історичні періоди.

Ключові слова: житлове середовище; багатоквартирне житло; доступне житло; адаптація; трансформація; гнучкість; мобільність; інновації.

Постановка проблеми. Архітектурне середовище є цілісною системою, яка об'єднує внутрішні і зовнішні простори, форми і структури, що забезпечують повноцінну життєдіяльність як окремої людини, так і групи людей. Тисячу років тому умови життя суспільства були значно іншими, порівняно зі сучасним періодом. Можна по різному ставитися до деяких змін в процесі еволюції людства. Чи вони пішли на користь людству й природі, чи вплинули більше негативно ніж позитивно – це окреме питання. Але абсолютно однозначно зрозуміло, що наш сучасник живе абсолютно в інших природних, геополітичних та технологічних умовах, ніж його предок тисячу років тому і викликів, з якими стикається сучасна людина зараз набагато більше. Людина постійно змінює і вдосконалює середовище у відповідності з власними потребами, уподобаннями, розвитком суспільства. Окрім цього, саме міське середовище в умовах постійних змін різного роду потребує вирішення питань, пов'язаних з передчасним «моральним» старінням будівель і споруд. Це вимагає постійної модернізації, удосконалення, розширення та різного роду динамічних переробок. Це вприту стосується галузі житлового будівництва, на реконструкцію якої витрачається близько 20-25% капіталовкладень.

У зв'язку з цим на перший план виходять пошуки вирішення проблем змінності, мобільності й адаптивності житлової архітектури. Яким чином науковці, архітектори-практики, новатори свого часу здійснювали ці зміни, намагалися адаптуватися самим та своє житлове середовище? Які цікаві й інноваційні рішення було імплементовано? Саме пошук відповіді на ці питання, їх аналіз і є **метою даної публікації.**

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Адаптивне житлове середовище XX-XXI століть постійно є в колі зору зарубіжних науковців, серед них – Paul Virilio, Peter Eisenman, Bernard Tschumi та група Coop Himmelblau, Robert Kronenburg [1]**,** Robert Schmidt-III [2] та інших. Питання індивідуалізації та адаптації житла залежно від потреб його мешканців досліджувались у працях таких закордонних науковців, як Stephen Kendall [3]**,** T. Scheider [4]**,** Brian Edwards, David Trurrent [5], N.J. Habraken [6-7] та інших. Цікаві ідеї адаптації житлових приміщень шляхом використання перегородок і трансформованих спальних місць (цикл «день-ніч») знайшли своє втілення в проєктах Martinus Adrianus Stam, Broek Johannes Hendrik van den, Gerrit Thomas Rietveld, Le Corbusier (Charles-Edouard Jeanneret-Gris) [8].

Серед вітчизняних науковців питаннями динаміки, трансформації, гнучкості та мобільності в архітектурі та архітектурному середовищі займалися В. Машинський, А. Гайдученя, Ю. Демидюк, В. Мироненко, О. Смирнова, Г. Шемсединов [9], М. Габрель [10], В. Абизов, В. Куцевич, Л. Ковальський, О. Слєпцов, В. Чернявський, С. Буравченко та інші. Останнім часом українські вчені досліджують питання різного роду трансформації та адаптації. Серед них – Г. Осиченко (термоадаптація, [11]), В. Топорков (трансформація внутрішнього житлового простору, [12]), Nourel Houda Rezig (адаптація до навколишнього середовища, [13]), Ю.В. Шаталюк та О.І. Яненко (формування адаптивної архітектури, [14-15]). До цієї когорти долучився і автор статті у своїх попередніх публікаціях [16-17].

Методи дослідження, використані в роботі: аналіз і систематизація джерельної бази наукового дослідження, порівняльний аналіз просторового та планувального рішення житлового середовища у вітчизняній та закордонній практиці для обґрунтування особливостей формування їх середовища, функціональний аналіз об'єктів дослідження, натурне обстеження реалізованих проєктних рішень.

Результати дослідження та їх обґрунтування. Комплексно питання адаптації архітектурної форми розглядалося в аспекті динамічного формоутворення. Питання формування адаптивного архітектурного середовища є недостатньо опрацьованими, зокрема – адаптації до сучасних викликів, які постійно змінюються. Вони є тими факторами впливу, які

мотивують архітектурну спільноту до пошуків вирішення житлового середовища, здатним до адаптації (рис. 1).

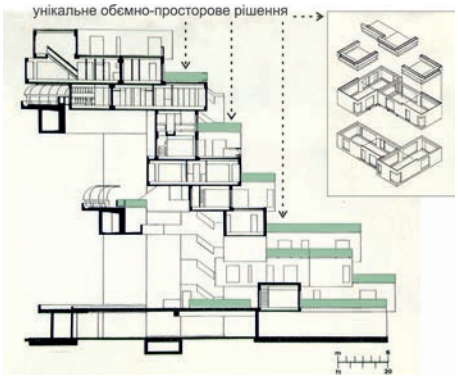
Рис. 1. Фактори, що впливають на формування адаптивної архітектури

Перші натяки на створення адаптивної архітектури почали з’являтися через певний час після Другої світової війни, а саме 50-ті – 60-ті роки XX ст. Актуальна проблема на той час була значна втрата або пошкодження житлового фонду країн Європи та колишнього СРСР. Перед архітекторами постало складне завдання – швидке відновлення житлового фонду, його максимальна доступність для всіх категорій населення. Почались активні розробки, як архітектурних так і соціальних концепцій. Вони втілились у появу панельних, блочних та «збірних» будинків (останні вже були апробовані у Франції в кінці XIX ст., а “plattenbau” – в Німеччині у 20-х рр. XX ст. [18]). Адаптивність такому типу житла забезпечувалась такими якостями, як: швидкозбірність будівельних конструкцій, адаптація фактично під будь-яку місцевість, уніфікованість архітектурних, планувальних, конструктивних рішень та, навіть, елементів конструкцій (для виготовлення яких використовувався переважно залізобетон), тощо [19]. Європейська практика мала дещо спільне з радянською, але підхід був принципово інший. На відміну від СРСР, європейські країни не здешевлювали вартість за рахунок зменшення якості та рівня комфорту житла. Але основна мета – максимально швидко відновити житловий фонд і забезпечити ним громадян – була досягнута.

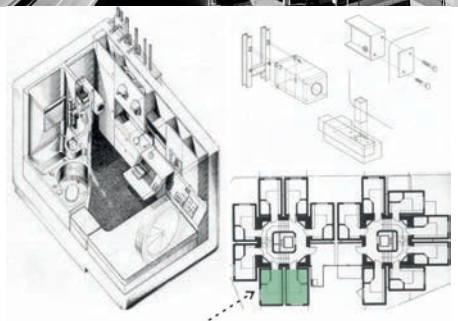
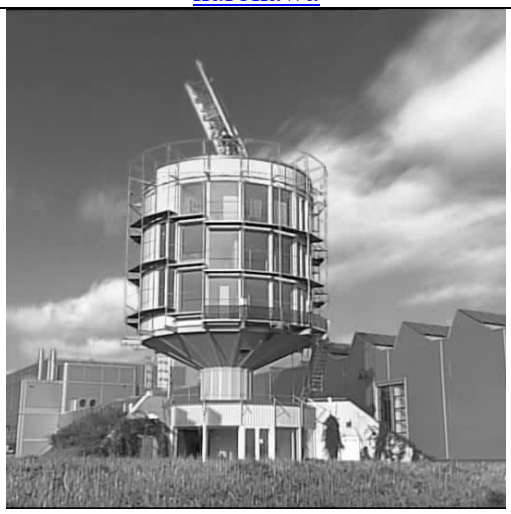
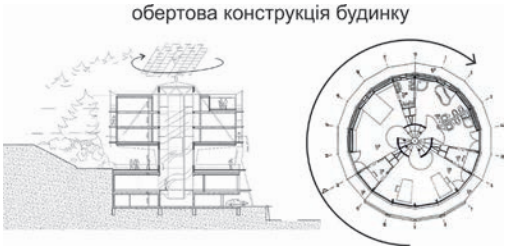
Подальші новаторські кроки у формуванні житлового середовища, здатного до адаптації висвітлено в таблиці 1.

Таблиця 1

Досвід формування житлового середовища, здатного до адаптації

Назва/локація/ автор/рік реалізації	Фото/візуалізація об'єкту	Характеристика проєктного рішення
1	2	3
Житловий комплекс «Хабітат 67» Монреаль, Канада 1966-1967 рр. арх. Moshe Safdie	  Джерело: https://www.archdaily.com/404803/ad-classics-habitat-67-moshe-safdie	нетипове для традиційних багатоквартирних будинків рішення; 354 бетонні куби встановлені один на одного й розташовані вільно (158 квартир); тераси і зелені відпочинкові зони з кожної квартири на дахах нижніх блоків; сади, палісадники, дворики на території житлового комплексу; результат: покращена інсоляція приміщень; максимально раціонально використана площа забудови; фінансова доступність житла; більше корисного простору для комфортного житлового середовища
Житло «Diagoon» Дельфт, Голандія 1967-1971 рр. арх. Herman Hertzberger	 Джерело: https://www.ahh.nl/index.php/nl/projecten2/14-woningbouw/79-diagoonwoningen	експериментальна група рядових будинків; квартал із восьми діагональних будинків; частково покриті поверхи; локація приміщень на широкому просторі; активне використання природного озеленення результат: можливість адаптації до зміни кількості мешканців; можливість об'єднання та розділення простору; самостійне облаштування мешканцями функціональних зон; максимум просторових умов для внутрішньої адаптації простору під кожну родину; власна інтерпретація житлового середовища

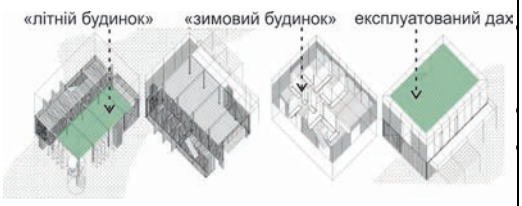
Продовження таблиці 1

1	2	3
Будинок «Nakagin Capsule Tower» (Вежа-капсула Нагакін) Токіо, Японія 1970-1972 рр. арх. Kurokawa Kishō	  трансформація внутрішнього простору Джерело: https://www.archdaily.com/110745/ad-classics-nakagin-capsule-tower-kisho-kurokawa	140 бетонних капсул; капсула розміром 4х2,5 м для комфортного проживання однієї людини; кожний блок тримає бетонна серцевина на 4 болтах високої напруги; комбінацій житлових модулів; готові модуль-капсули результат: можливість трансформації простору; маніпуляція внутрішнім простором з'єднанням капсули з іншими капсулами; швидкість та бюджетність будівництва; фінансова доступність житла вирішення проблеми нестачі житла в наслідок активних міграційних процесів
Будинок «The Heliotrope» Фрайбург, Німеччина 1994-1995 рр. арх. Rolf Disch	 обертова конструкція будинку  Джерело: https://inhabitat.com/heliotrope-the-worlds-first-energy-positive-solar-home/	унікальна система сонячних колекторів; сонячні панелі потужністю 6,6 кВт; обертання основного обєму будинку на 180º за сонцем; обертання сонячних панелей в напрямку сонця, не залежно від будівлі; система компостування в санвузлах; система повторного використання брудної та дощової води для побутових потреб результат: екологічність; енергоефективність (нульове споживання, позитивний енергетичний баланс PlusEnergy); застосування засобів кінетичної архітектури; можливість адаптації будівлі відносно розташування сонця

Продовження таблиці 1

1	2	3
Житловий комплекс «Next 21» Осака, Японія 1996 р. арх. Yositika Utida	 Джерело: http://www.open-building.org/ob/next21.html	систематизоване будівництво; різні житлові одиниці для розміщення домогосподарств; переробка повсякденних відходів і дренаж в межах території; «тривимірна вулиця»; окремі модулі, здатні переміщувати зовнішні стіни, санвузли, сади; мінімізація навантаження будівлі на навколишнє середовище результат: ефективне використання енергії; двоступенева система постачання житла; нова система проєктування житла (за індивідуальними потребами); активне використання природного озеленення
Житловий комплекс «Australia-Boston». Амстердам, Нідерланди 2002 р. арх. DKV Architecten	 Джерело: https://www.pauldevroom.com/?portfolio=oostelijke-handelskade	90 квартир Loft у новобудові, 40 – в складі XIX ст.; теплоізоляційне акустичне скло; рамна конструкція і монтажний профіль для віконних блоків; відкритий внутрішній простір; варіанти планування та каталог елементів (фасади, перегородки) результат: вільне планування квартир; вільний вибір необхідних елементів та конфігурації; захист будівлі (вітер, шум ін.)
Квартал «Quinta Monroy» Ікуікі, Чилі 2001-2004 рр. арх. бюро Elemental	 Джерело: https://www.archdaily.com/10775/quinta-monroy-elemental	13 триповерхових блоків; 4 внутрішні двори; будинки великих розмірів з бетонною конструкцією; кілька перегородок; «поступове житло» результат: швидкість будівництва; фінансова доступність житла; можливість контрольованого збільшення площі будинку; державні програми підтримки

Продовження таблиці 1

1	2	3
Будинок «OE House» Альфоржа, Іспанія 2016 р. арх. бюро Aixopluc	  Джерело: https://www.archdaily.com/783097/oe-house-fake-industries-architectural-agonism-plus-aixopluc	1-ий поверх – літній будинок; 2-ий поверх – зимовий будинок; місцева техніка «volta catalana»; індустріалізовані компоненти; «сезонна мембрана» - двоскладні напівпрозорі розсувні віконниці; експлуатований дах; засоби кінетичної архітектури результат: екологічність; трансформація будівлі, відповідно до погодних умов; використання системи «розумний дім» для зміни конфігурації будинку
Будинок «Sneglehusene» Оргус, Данія 2022 р. арх. бюро BIG	 Джерело:https://www.archdaily.com/989940/sneglehusene-housing-big	«пориста стіна»; відкрита тераса в кожному будинку; циркуляція і повторне використання води результат: екологічність; швидкість та бюджетність будівництва; створення максимально комфортного житлового середовища з оптимальними умовами проживання;
Концепція модульного житла «Re: Ukraine» Україна 2022 р. арх. бюро Balbek Bureau	 Джерело: https://pragmatika.media/standarti-gidnosti-socialne-zhitlo-dlja-povoiennoi-ukraini/	можливість моделювати житловий простір за рахунок комбінацій модулів: житлового (квартирний, технічний, дослідницький, виставковий), комунального; пілотний модуль на 15 сімей; для різних типів будівництва, місцевості й обсягу інвестицій; префаб-виробництво; онлайн-конфігуратор будинків результат: оптимізація часу та вартості будівництва; гнучкість та індивідуальність; екологічгість; комфорт та зручність адаптація забудови до ділянок різної конфігурації та рельєфу

Завершення таблиці 1

1	2	3
Концепція модульного житла “New ambience of living” Україна 2022 р. арх. Кайгородцев Ю., Бабіч Я., Івахов О.	 Джерело: https://pragmatika.media/news/krashhe-za-menshi-groshi-nova-koncepcija-personalizovanogo-modulnogo-zhitla-dlja-pereselenciv/	• одно-, двоповерхові житлові модулі; • матеріал: фальц, дерево, тонована фанера; • термін реалізації: 2,5-3 місяці (100 споруд); • створений додаток для конструювання меблів; • вертикальне озеленення фасадів; • зелені зони біля будівель; • модулі для підзарядки транспорту результат: • швидкість та економічна ефективність будівництва; • екологічність; • адаптація до зміни кількості мешканців; можна створити різні варіанти меблювання інтер’єрів
Концепція модульного житла “ReHome” Львів, Україна 2024 р. арх. бюро Cutwork	 Джерело: https://cutworkstudio.com/	• розраховані на різну кількість людей; • блоки “Lego” площею 27 м²; • 5 різних типів квартир; • додаткові простори між декількома будинками для вільного функціонального навантаження; • комбінація житлових модулів результат: • швидкість та економічна ефективність будівництва; • трансформації житлового простору; • адаптація до зміни кількості мешканців

Перехід у нове тисячоліття супроводжувався футуристичними ідеями та сучасними технологіями. Стрімкий розвиток комп’ютерних технологій, розробка та поява нових гаджетів та систем, активно з’являлись у всіх сферах життя. Щодо адаптивності – тут фактично неймовірний стрибок у розвитку технологій, як в архітектурі, так і в проєктуванні інтер’єрів. Рішення стають більш технологічними: приміщення можуть частково трансформуватися за рахунок висувних консолей, елементів стін та стель. І це відбувається за декілька хвилин натиском однієї клавіші. Адаптація освітлення, вентиляції, температури повітря тощо – все це стало керованим та простим у застосуванні.

Увага спеціалістів зміщується на фінансову доступність ефективних проєктних рішень для різних соціальних прошарків населення. Активний вплив на саму ідею має концепція сталого розвитку, яка поступово змінила вектор розвитку адаптивності від локальних питань окремих будівель – до глобальних проблем житлових районів та міст. Принципи та прийоми формування адаптивного житлового середовища можуть суттєво вплинути на вирішення проблеми забезпечення населення доступним та якісним житлом, особливо наразі, коли знищено значну кількість житлового фонду внаслідок військових дій.

Проаналізувавши світовий досвід формування тимчасового житла, архітектори Balbek Bureau (Україна) розробили систему цінностей та пріоритетів, в основі яких є забезпечення гідних умов для проживання людей [20]. Принципи, з яких формувалася дана система були розділені ними на три складові: *функція* (модульність, можливість маштабування, гнучкість), *емпатія* (гідність, соціалізація, комфорт), *технології* (швидкість, бюджет, ресурс). Головною архітектурною метою адаптації житлових просторів є швидке забезпечення якісним тимчасовим житлом великої кількості людей, за рахунок простих, універсальних та бюджетних рішень.

Висновок. Отже, розвитку житлового середовища властива постійна динаміка, пов’язана з його модернізацією, удосконаленням, розширенням та динамічними переробками. Поштовхом до цього є різного роду зміни (соціальні, політичні, економічні, технологічні, екологічні, тощо), виклики та уподобання як кожної людини, родини, так і соціуму взагалі. Пошук задоволення негайних потреб сприяв знаходженню та втіленню різного роду інноваційних рішень, серед яких:

- ті, які спрямовані на вирішення *екологічних проблем* (використання озеленених терас, дахів; запровадження компостування, циркуляції й повторного використання води, будівельних матеріалів; переробка побутових відходів; задіяння екологічних матеріалів – деревини, фанери);
- ті, які здатні адаптуватися під *запити й можливості конкретної родини* із можливістю її власної участі у процесі (шляхом реалізації цікавих об’ємно-просторових рішень з перспективою їх трансформації, комбінації житлових модулів, у тому числі – прийоми «пориста стіна», «поступове життя», «сезонна мембрана»; залученням конструктивних елементів та меблів із відповідних каталогів);
- ті, які сприяють знаходженню *енергоефективних рішень* (використовуючи сонячні панелі, кінетичні механізми, відповідні будівельні матеріали, як то акустичне теплоізоляційне скло);
- ті, які здатні адаптуватися до *кліматичних змін*, використовуючи енергоефективні та екологічні рішення, запроваджуючи систему «розумний

будинок» тощо;

- ті, які дають можливість реалізувати проєктне рішення на *ділянках різної конфігурації* (використання відповідних об'ємно-просторових рішень та житлових модулів, як то прийом «Lego»);
- ті, які ведуть до *стислих термінів реалізації проєктних рішень* (використання індустріально виготовлених блоків, основних конструктивних елементів, запровадження Prefab-виробництва).

Саме житлове середовище в умовах постійних змін різного роду потребує вирішення питань, пов'язаних «моральним» старінням будівель. У **подальших дослідженнях** необхідно приділити увагу засобам, технічним можливостям та прийомам формування сучасного житлового середовища, здатного до адаптації.

Список використаних джерел:

1. *Kronenburg, R. (2007), Flexible: Architecture that Responds to Change,* London: Laurence King*,* 240 p.

2. Schmidt-III, R. & Austin, S. (2016), *Adaptable architecture: Theory and Practice*, Routledge, 296 p. ISBN 978-0415522571.

3. Kendall, S., & Teicher, J. (2000), *Residential Open Building*, London and New York: E & FN Spon, 301 p. ISBN 0-419-23830-1.

4. Scheider, T. & Till J. (2005), Flexible housing: Opportunities and limits, *Architectural Research Quarterly*, Vol. 9, no. 02, p. 157–166. Edwards, B. & Trurrent, D. (2000), *Sustainable housing: Principles & practice,* London-New York, E&FN Spoon, 169 p. ISBN 978-0419246207.

5. Habraken, N.J. Design for flexibility, *Building Research & Information*, 2008. No 36(3). P. 292.

6. Habraken, N.J. *Supports: an alternative to mass housing*. London: The Architectural Press, 1972. 97 p.

7. Leupen, B., & Mooij, H. (2012), Housing Design, a Manual, Rotterdam, NAi Publishers, 448 p. ISBN 978-90-5662-826-0.

8. Шемсединов, Г.І. *Проектування мобільних будівель*: Навчальний посібник. К.: КНУБА, 2007. 144 с.

9. Габрель М.М., П'яста Ю.М. Передумови формування гнучкості архітектури. *Містобудування та територіальне планування.* 2020. Вип. 75. С. 97-113.

10. Осиченко Г.О. Архітектурні методи і прийоми термоадаптації будівель в умовах жаркого клімату. Просторовий розвиток. 2024. № 8 (2024). С. 130-147.

11. Топорков В.Г. Трансформація як засіб підвищення ефективності використання житлового простору. *Сучасні проблеми архітектури та містобудування*. К.: КНУБА, 2020. Вип. 56. С. 293-303.

12. Nourel Houda Rezig. Traditional dwelling of M‘zab Valley in Algeria: the point of adaptation to the environment. *Сучасні проблеми архітектури та містобудування*. 2021. Вип. 61. С. 159-168. DOI: https://doi.org/10.32347/2077-3455.2021.61.159-169.

13. Шаталюк Ю.В. Сучасна практика проектування адаптивних архітектурних об’єктів: аналіз прикладів та особливості. *Науковий вісник будівництва*, Том 88, №2. Х.: ХНУБА, 2017. С. 69-73.

14. Яненко, О.І. Визначення, виникнення та розвиток адаптивної архітектури, *Сучасні проблеми архітектури та містобудування*. К.: КНУБА, 2016. Вип. 42. С. 149-153.

15. Шевченко А.В. Стан вивченості питання адаптивного житлового середовища. *Сучасні проблеми архітектури та містобудування*. 2023. Вип. 66. С. 278-289. DOI: https://doi.org/10.32347/2077-3455.2023.66.278-289.

16. Шевченко А.В. Технічні можливості формування адаптивного житлового середовища в реальних перспективах. *Академічна й університетська наука: результати та перспективи*: збірник наукових праць за матеріалами XVII Міжнар. наук.-практ. конф., м. Полтава, 12-13 груд. 2024 р. Полтава, 2024. С. 516-518.

17. Nicole Glass. World of the Week: Plattenbau. URL: https://germanyinusa.com/2021/08/25/word-of-the-week-plattenbau/ (дата звернення 27.12.2024).

18. Мельничук В. Хрущовки. Минуле: як французька мрія стала радянською реальністю. URL: https://life.pravda.com.ua/culture/2017/09/27/226648/ (дата звернення 27.12.2024).

19. Re-Ukraine: Housing. URL: https://www.balbek.com/reukraine (дата звернення 27.12.2024).

Shevchenko Artem,
National University “Yuri Kondratyuk Poltava Polytechnic”

INNOVATIONS IN THE FORMATION OF AN ADAPTIVE RESIDENTIAL ENVIRONMENT

The article presents innovative solutions introduced in the formation of an adaptive residential environment. The result was obtained on the basis of a thorough analysis of design solutions and implemented residential buildings, groups, spaces from the middle of 20th century to the present. The main ideas and concepts of the studied objects, their characteristics are revealed. The main architectural goal of adapting living spaces is to quickly provide high-quality housing for a large number of people through simple, universal, and economical solutions. The impetus for this is various kinds of changes (social, environmental, technological, economic, political), challenges, and preferences of each person, family, and society in general.

The method of analysis and synthesis revealed innovations that became a breakthrough in the periods of their implementation. Some were aimed at solving environmental problems – the use of green terraces, roofs; the introduction of composting, circulation and reuse of water, building materials; recycling of household waste; the use of ecological materials. Others were adapted to the requests and capabilities of a particular family with the possibility of its own participation in this process. This was done by implementing volumetric and spatial solutions with the prospect of their transformation, combining residential modules, involving structural elements and furniture from relevant catalogs. A number of them contributed to finding energy-efficient solutions, using solar panels, kinetic mechanisms, and appropriate building materials. Some were adapted to climate change, using energy-efficient and ecological solutions, introducing the "smart home" system, etc. Design solutions were implemented on sites of various configurations in a short time through the use of industrially manufactured blocks, structural elements (prefab-production). It was found that at all times the main task of creating an adaptive residential space was to solve current problems of society.

Keywords: residential environment; multi-apartment housing; affordable housing; adaptation; transformation; flexibility; mobility; innovation.

REFERENSES

1. Kronenburg, R. (2007), Flexible: Architecture that Responds to Change, London: Laurence King, 240 p. {in English}

2. Schmidt-III, R. & Austin, S. (2016), *Adaptable architecture: Theory and Practice*, Routledge, 296 p. ISBN 978-0415522571. {in English}

3. Kendall, S., & Teicher, J. (2000), *Residential Open Building*, London and New York: E & FN Spon, 301 p. ISBN 0-419-23830-1. {in English}

4. Scheider, T. & Till J. (2005), Flexible housing: Opportunities and limits, *Architectural Research Quarterly*, Vol. 9 , no. 02 , p. 157 – 166 . ISSN-1359-1355. https://doi.org/10.1017/S1359135505000199 {in English}

5. Edwards, B. & Trurrent, D. (2000), *Sustainable housing: Principles & practice,* London-New York, E&FN Spoon, 169 p. ISBN 978-0419246207. {in English}

6. Habraken, N.J. Design for flexibility, *Building Research & Information*, 2008. No 36(3). P. 292. {in English}

7. Habraken, N.J. *Supports: an alternative to mass housing*. London: The Architectural Press, 1972. 97 p. {in English}

8. Leupen, B., & Mooij, H. (2012), Housing Design, a Manual, Rotterdam, NAi Publishers, 448 p. ISBN 978-90-5662-826-0. {in English}

9. Shemsedinov, H.I. Proektuvannia mobilnykh budivel: Navchalnyi posibnyk. K.: KNUBA, 2007. 144 s. {in Ukrainian}

10. Habrel M.M., Piasta Yu.M. Peredumovy formuvannia hnuchkosti arkhitektury. Mistobuduvannia ta terytorialne planuvannia. 2020. Vyp. 75. S. 97-113. DOI: 10.32347/2076-815x.2020.75.97-113. {in Ukrainian}

11. Osychenko H.O. Arkhitekturni metody i pryiomy termoadaptatsii budivel v umovakh zharkoho klimatu. Prostorovyi rozvytok. 2024. № 8 (2024). S. 130-147. DOI: 10.32347/2786-7269.2024.8.130-147. {in Ukrainian}

12. Toporkov V.H. Transformatsiia yak zasib pidvyshchennia efektyvnosti vykorystannia zhytlovoho prostoru. Suchasni problemy arkhitektury ta mistobuduvannia. K.: KNUBA, 2020. Vyp. 56. S. 293-303. DOI: https://doi.org/10.32347/2077-3455.2020.56.293-304. {in Ukrainian}

13. Nourel Houda Rezig. Traditional dwelling of M‘zab Valley in Algeria: the point of adaptation to the environment. Suchasni problemy arkhitektury ta mistobuduvannia. 2021. Vyp. 61. S. 159-168. DOI: https://doi.org/10.32347/2077-3455.2021.61.159-169. {in English}

14. Shataliuk Yu.V. Suchasna praktyka proektuvannia adaptyvnykh arkhitekturnykh obiektiv: analiz prykladiv ta osoblyvosti. Naukovyi visnyk budivnytstva, Tom 88, №2. Kh.: KhNUBA, 2017. S. 69-73. {in Ukrainian}

15. Yanenko, O.I. Vyznachennia, vynyknennia ta rozvytok adaptyvnoi arkhitektury, Suchasni problemy arkhitektury ta mistobuduvannia. K.: KNUBA, 2016. Vyp. 42. S. 149-153. {in Ukrainian}

16. Shevchenko A.V. Stan vyvchenosti pytannia adaptyvnoho zhytlovoho seredovyshcha. Suchasni problemy arkhitektury ta mistobuduvannia. 2023. Vyp. 66. S. 278-289. DOI: https://doi.org/10.32347/2077-3455.2023.66.278-289. {in Ukrainian}

17. Shevchenko A.V. Tekhnichni mozhlyvosti formuvannia adaptyvnoho zhytlovoho seredovyshcha v realnykh perspektyvakh. Akademichna y universytetska nauka: rezultaty ta perspektyvy: zbirnyk naukovykh prats za materialamy XVII Mizhnar. nauk.-prakt. konf., m. Poltava, 12-13 hrud. 2024 r. Poltava, 2024. S. 516-518. {in Ukrainian}

18. Nicole Glass. World of the Week: Plattenbau. URL: https://germanyinusa.com/2021/08/25/word-of-the-week-plattenbau/ (data zvernennia 27.12.2024). {in English}

19. Melnychuk V. Khrushchovky. Mynule: yak frantsuzka mriia stala radianskoiu realnistiu. URL: https://life.pravda.com.ua/culture/2017/09/27/226648/ (data zvernennia 27.12.2024). {in Ukrainian}

20. Re-Ukraine: Housing. URL: https://www.balbek.com/reukraine (data zvernennia 27.12.2024). {in Ukrainian}

DOI: 10.32347/2786-7269.2025.11.226-240
УДК 725.381.3(477)

Шелудько А.В.,
andrii.sheludko@igb-parking.com, ORCID: 0009-0000-5460-0077,
к.т.н. **Татаренко В.М**.,
volodymyr.tatarenko@igb-parking.com, ORCID: 0009-0002-2006-3504,
Данилко Л.А.,
danylko.l@igb-parking.com, ORCID: 0009-0004-4483-2068,
ТОВ «НВО «Інститут Гаражного Будівництва.»,
д. арх., професор **Куцевич В.В.**,
vadym.kutsevych@Knuba.edu.ua, ORCID: 0000-0001-6128-7410,
Київський національний університет будівництва і архітектури

ОСОБЛИВОСТІ ОРГАНІЗАЦІЇ ПЛАНУВАЛЬНИХ РІШЕНЬ МАШИНОМІСЦЬ ІЗ ЗАРЯДНИМИ ПРИСТРОЯМИ ДЛЯ ЕЛЕКТРОМОБІЛІВ

Розглянуто питання визначення розмірів машиномісць при проєктуванні електрозарядних пунктів та машиномісць зі станцією зарядки електромобілів у гаражах для легкових автомобілів. Проаналізовано вплив протипожежних вимог прийнятого ДСТУ 9222:2023 на розмір машиномісць з урахуванням їх розташування відносно інших автомобілів та елементів будівельних конструкцій гаража. Проаналізовані варіанти компоновки машиномісць для електромобілів з урахуванням розташування станцій заряджання. Виходячи з цього запропонована класифікація типів машиномісць електрозарядних пунктів та машиномісць зі станцією зарядки електромобілів в гаражах в залежності від їх розташування відносно інших автомобілів та елементів будівельних конструкцій з урахуванням відповідних захисних зон. Сформульовано висновок про необхідність внесення змін до ДБН В.2.3-15:2007 «Споруди транспорту. Автостоянки і гаражі для легкових автомобілів» в частині нормування розмірів машиномісць зі станцією зарядки електромобілів та машиномісць на електрозарядних пунктах у гаражах для паркування легкових електромобілів.

Ключові слова: електромобілі; автостоянки; гаражі; архітектурно-планувальні рішення; розміри паркомісць зі станцією зарядки електромобілів: розміри паркомісць електрозарядних пунктів; типи машиномісць; державні будівельні норми; комфортність обслуговування.

Постановка проблеми. Тема створення інфраструктури з обслуговування електромобілів активно розвивається на законодавчому рівні.

Так Закон України від 11 липня 2019 року № 2754-VIII [1] заклав основи розвитку зарядної інфраструктури та заохочення автовласників до переходу на легкові електромобілі.

Закон України від 24 лютого 2023 року № 2956-IX [2] спрямований на забезпечення інтенсивного розвитку інфраструктури станцій зарядки електромобілів, і в статті 4 декларує, що «Проекти нового будівництва багатоповерхової житлової забудови мають враховувати необхідність забезпечення не менше ніж 50 відсотків місць для стоянки та зберігання транспортних засобів …, оснащених електричними двигунами, станціями зарядки електромобілів…»

Прийнятий у 2023 році ДСТУ 9222:2023 «Пожежна безпека. ПРОТИПОЖЕЖНИЙ ЗАХИСТ. СИСТЕМ ЗАРЯДКИ ЕЛЕКТРОМОБІЛІВ. Основні положення» [6] формулює нові протипожежні вимоги до автостоянок та гаражів з розміщенням машиномісць зі станцією зарядки електромобілів та машиномісць на електрозарядних пунктах.

Все це спричиняє необхідність аналізу впливу нових протипожежних вимог на архітектурно-планувальні параметри машиномісць для електромобілів для впровадження цих вимог в проєктний процес. Тим більше, що поява нових протипожежних вимог прийнятого ДСТУ 9222:2023 не узгоджується з положеннями ДБН В.2.3-15:2007 «Споруди транспорту. Автостоянки і гаражі для легкових автомобілів» [3].

Аналіз останніх досліджень. В даний час в інститутах КИЇВЗНДІЕП та ТОВ «НВО «Інститут Гаражного Будівництва.» здійснюються наукові дослідження із вдосконалення положень ДБН щодо проєктування гаражів та нормативних параметрів машиномісць. Цим питанням присвячена стаття [7] авторів А.В. Шелудько, В.М. Татаренко, Л.А. Данилко, В. . Куцевич. Аналізу вітчизняного та європейського досвіду нормування вимог до зарядних станцій для електромобілів присвячена стаття [8] авторів Ю. Фещук, В. Ніжник, А. Циганков, С. Голікова.

Мета дослідження: Виявити і проаналізувати напрямки розрахунків планувальних параметрів машиномісць у гаражах. для електромобілів, оснащених зарядними пристроями.

Методи дослідження. Особливими методами застосованими у дослідженні є: загально наукові методи, які включають огляд вітчизняного та зарубіжної літератури з питань проєктування, будівництва і експлуатації гаражів з місцями для електромобілів; теоретичні методи: узагальнення практики проєктування і будівництва гаражів, ознайомлення з нормативною базою їх проєктування; емпіричні методи: опис, спостереження, визначення рівня комфортності обслуговування.

Основна частина. Для розгляду питань, пов'язаних з машиномісцями для електромобілів, спочатку необхідно встановити чітку різницю між поняттями, які позначаються термінами: електрозарядний пункт (ЕП), машиномісце із станцією зарядки автомобілів (СЗ) та машиномісце для стоянки електромобілів.

Визначення понять двох перших термінів надає ДСТУ 9222:2023 «Пожежна безпека. ПРОТИПОЖЕЖНИЙ ЗАХИСТ. СИСТЕМ ЗАРЯДКИ ЕЛЕКТРОМОБІЛІВ. Основні положення» в розділі 3:

«3.5 машиномісце зі станцією зарядки електромобілів

Машиномісце для встановлення електромобіля, обладнане СЗ, що влаштовують у гаражі з метою зарядки електромобілів та їх постійного або тимчасового зберігання.

3.6 електрозарядний пункт

Місце (група місць) для встановлення електромобіля, обладнане СЗ, що влаштовують на автостоянці, гаражі, ЕЗС, АЗС різних видів моторного палива або іншій території з метою тільки зарядки електромобілів без їх зберігання».

Визначення поняття машиномісця для стоянки електромобілів авторам статті невідоме, але у примітці до статті 1521 Закону України від 11 липня 2019 року № 2754-VIII «Про внесення змін до деяких законодавчих актів України щодо створення доступу до інфраструктури зарядних станцій для електромобілів» зазначається, що "Місцями, призначеними для паркування (у тому числі безоплатного паркування) транспортних засобів, оснащених електричними двигунами (одним чи декількома), … вважаються місця, позначені відповідними дорожніми знаками або дорожньою розміткою". Очевидно, що це положення має застосовуватись лише для громадських стоянок чи гаражів тимчасового зберігання автомобілів. На стоянках чи в гаражах із закріпленими за користувачами машиномісцями таке позначення втрачає сенс.

До речі, чинні Правила дорожнього руху України [4] та ДСТУ 4100:2021 «Безпека дорожнього руху. Знаки дорожні. Загальні технічні умови. Правила застосування» [5] містять–наступні дорожні знаки та таблиці до них, а також горизонтальну розмітку, які стосуються електромобілів:

- дорожній знак 6.7.3 "Електрозарядні станції";
- таблиця 7.23 "Місце для зарядки електромобілів";
- розмітка 1.38 позначає місця для заправки електромобілів.

Всі ці дорожні знаки призначені для позначення місць заряджання електромобілів, тоді як дорожні знаки для позначення місць паркування електромобілів без їх зарядки відповідно до Закону України від 11 липня 2019 року № 2754-VIII відсутні.

Основна відмінність між електрозарядними пунктами (ЕП) та машиномісцями зі станціями зарядки автомобілів (СЗ) полягає в тому, що ЕП призначені для відносно швидкого заряджання акумуляторних батарей електромобілів *без їх зберігання*, тоді як машиномісця із станціями зарядки автомобілів (СЗ) в першу чергу призначені *для тривалого зберігання* автомобіля і додатково обладнані електрозарядним пристроєм.

Функціональні та планувальні відмінності між електрозарядними пунктами (ЕП), машиномісцями із станціями зарядки автомобілів (СЗ) та машиномісцями для стоянки електромобілів наведені в порівняльній таблиці 1.

Таблиця 1.

Характеристики електрозарядних пунктів (ЕП), машиномісць зі станціями зарядки автомобілів (СЗ) та машиномісць для стоянки електромобілів

Ознаки	Електрозарядні пункти на стоянках та в гаражах (ЕП) (за ДСТУ 9222:2023)	Машиномісця для електромобілів із станціями заряджання (СЗ) (за ДСТУ 9222:2023)	Машиномісця для стоянки електромобілів (за ДБН В.2.3-15:2007 та ЗУ №2754-VIII)
1	2	3	4
Призначення	Заряджання електромобілів без їх зберігання	Зберігання електромобілів з одночасним їх заряджанням	Зберігання електромобілів без їх заряджання
Термін користування	Тимчасовий (на період заряджання)	Постійний (на період зберігання)	Постійний (на період зберігання)
Режим користування	Загального (громадського) користування	Індивідуальний (приватний)	Загального (громадського) користування
Режими заряджання	Як правило Режим 3 (до 43 кВт) Режим 4 (до 175 кВт)	Як правило Режим 1 (до 2,3 кВт) Режим 2 (до 22 кВт)	Заряджання не доступне
Розміщення	Як на території автостоянок так і в гаражах, а також на ЕЗС та АЗС (п.5.5)	У гаражах (п.5.6) На стоянках (п.6.3)	У гаражах та на стоянках

1	2	3	4
Ізоляція від інших машиномісць	Групувати до 10 портів (п.6.6) . В гаражах відстань від групи до інших машиномісць не менше 10 м або протипожежна перегородка 1-го типу (п.8.1). На автостоянках - забезпечувати відстань не менше ніж 3 м між краєм розмітки електрозарядного пункту та краєм розмітки суміжного машиномісця. (п.6.4); - розташовувати лише в однорядному положенні (п.6.5)	У гаражах кожне м/м з СЗ відокремлювати протипожежною перегородкою 1-го типу (п.8.2). На стоянках без додаткових обмежень	Без додаткових обмежень
Відстань до в'їзду/виїзду в гаражах	не більше 30 м	Як для автомобілів з ДВЗ за ДБН В.2.3-15	Як для автомобілів з ДВЗ за ДБН В.2.3-15
Відстань до мийки автомобілів	не менше 20 м	не менше 20 м	Не нормується
Планування машиномісця	Машиномісце включає вільний прохід до порту (зарядного кабелю) СЗ завширшки не менше ніж 1 м, проміжок між електромобілем та СЗ не менше ніж 1 м (п.6.2)	Машиномісце включає вільний прохід до порту (зарядного кабелю) СЗ завширшки не менше ніж 1 м, проміжок між електромобілем та СЗ не менше ніж 1 м (п.6.2)	Як для автомобілів з ДВЗ за Додатками Д та Є до ДБН В.2.3-15

Крім планувальних особливостей, прийнятий ДСТУ 9222:2023 містить також вимоги до систем протипожежного захисту для електрозарядних пунктів (ЕП) та машиномісць зі станціями зарядки автомобілів (СЗ), але їх аналіз лежить за межами теми цієї статті.

Планувальні особливості.

Розглянемо особливості планувальних рішень електрозарядних пунктів (ЕП) та машиномісць зі станціями зарядки автомобілів (СЗ), які випливають з ДСТУ 9222:2023 «Пожежна безпека. ПРОТИПОЖЕЖНИЙ ЗАХИСТ. СИСТЕМ ЗАРЯДКИ ЕЛЕКТРОМОБІЛІВ. Основні положення» [6].

В питанні планування машиномісць зі СЗ та електрозарядних пунктів згаданий ДСТУ посилається на ДБН Б.2.2-12, ДБН В.1.1-7, ДБН В.2.3-15 і доповнює їх двома основними вимогами:

1.Забезпечити вільний прохід до порту (зарядного кабелю) СЗ завширшки не менше ніж 1 м;

2.Забезпечити проміжок між електромобілем та СЗ не менше ніж 1 м.

Крім цього, у гаражах електрозарядні пункти необхідно об'єднувати в групи чисельністю до 10 зарядних портів, та відокремлювати від суміжних машиномісць для паркування автомобілів протипожежними перегородками 1-го типу, або забезпечити відстань між такою групою та суміжними машиномісцями для автомобілів не менше ніж 10 м, а на стоянках така відстань повинна бути не менше 3 м. До протилежно розташованих машиномісць відстань повинна становити не менше 6 м.

У гаражах кожне машиномісце зі СЗ необхідно відокремлювати від суміжних машиномісць протипожежними перегородками 1-го типу.

У статті [4] нами була запропонована класифікація машиномісць у гаражах для легкових автомобілів в залежності від розташування відносно інших автомобілів та елементів будівельних конструкцій гаража. Враховуючи вимоги прийнятого ДСТУ 9222:2023 «Пожежна безпека. ПРОТИПОЖЕЖНИЙ ЗАХИСТ. СИСТЕМ ЗАРЯДКИ ЕЛЕКТРОМОБІЛІВ. Основні положення» необхідно поширити згадану класифікацію на машиномісця для електромобілів як на електрозарядних пунктах, так і на машиномісця зі станціями заряджання.

Найбільш поширеними типами компоновки електрозарядних пунктів та машиномісць із СЗ в гаражах є два наступних варіанти:

Варіант 1. Розташування станції зарядження (СЗ) біля задньої (протилежної до в'їзду) сторони машиномісця.

Варіант 2. Розташування станції зарядження (СЗ) біля бокової сторони машиномісця.

Варіант 1.

Компоновка варіанту 1 характеризується значно збільшеною довжиною машиномісця, оскільки потребує площі для розташування станції заряджання, а також нормативної відстані від електромобіля до станції заряджання в 1 м. При цьому ширина машиномісця збільшується меншою мірою. Для електрозарядних пунктів стандартна відстань між автомобілями в 0.6 м замінюється на відстань в 1 м для забезпечення вільного проходу до порту СЗ (див. рис.1).

Для машиномісць зі СЗ ширина машиномісця збільшується за рахунок вільного проходу до порту завширшки в 1 м, який влаштовується між бічною стороною електромобіля та бічною стіною (перегородкою) (див. рис.2).

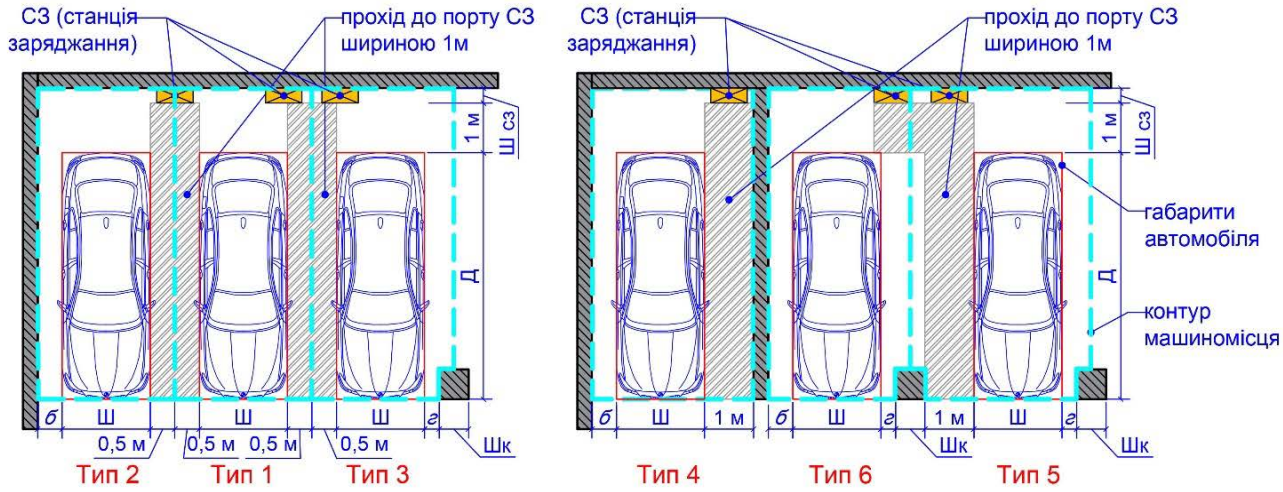


Рисунок 1. Типи машиномісць на зарядних пунктах в гаражах з розміщенням СЗ біля задньої стіни

Ш - габаритна ширина автомобіля згідно з Додатком Г до ДБН В.2.3-15:2007
Д - габаритна довжина автомобіля згідно з Додатком Г до ДБН В.2.3-15:2007
б = 0,5 м, г = 0,3 м - захисні зони за табл.Є.1 Додатку Є до ДБН В.2.3-15:2007
Ш сз - ширина станції заряджання за даними виробника
Ш к - ширина колони гаража

З урахуванням необхідності влаштування вільного проходу до порту (зарядного кабелю) СЗ та влаштування проміжку між електромобілем та СЗ, класифікація машиномісць для електромобілів на електрозарядних пунктах з розташуванням СЗ біля задньої стіни (варіант компоновки №1) має вигляд, неведений у таблиці 2.

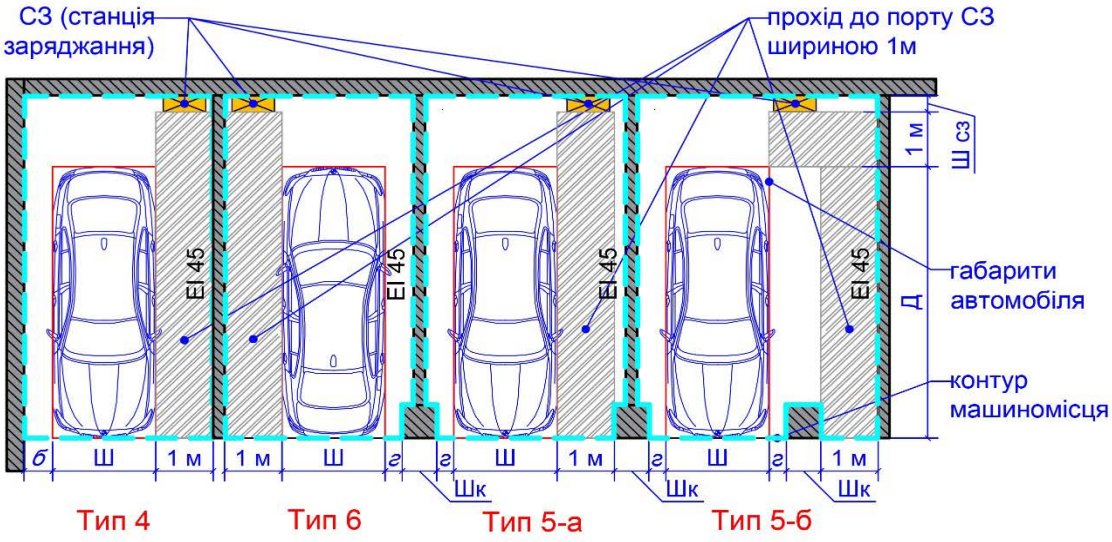


Рисунок 2. Типи машиномісць із СЗ в гаражах з розміщенням СЗ біля задньої стіни

Ш - габаритна ширина автомобіля згідно з Додатком Г до ДБН В.2.3-15:2007
Д - габаритна довжина автомобіля згідно з Додатком Г до ДБН В.2.3-15:2007
б = 0,5 м, г = 0,3 м - захисні зони за табл.Є.1 Додатку Є до ДБН В.2.3-15:2007
Ш сз - ширина станції заряджання за даними виробника
Ш к - ширина колони гаража

Таблиця 2.

Класифікація машиномісць для електромобілів на електрозарядних пунктах з розташуванням СЗ біля задньої стіни

Тип машиномісця	Характеристики машиномісця	Формула розрахунку розмірів машиномісця	
		довжини (м)	ширини (м)
Тип 1	Рядове положення в середині ряду суміжних машиномісць.	Д+1+Шсз	Ш+0,5+0,5
Тип 2	Кінцеве положеня в ряду біля стіни	Д+1+Шсз	Ш+0,5+ *б*
Тип 3	Кінцеве положеня в ряду біля колони	Д+1+Шсз	Ш+0,5+ *г*
Тип 4	Одиночне положення між стінами	Д+1+Шсз	Ш+1+ *б*
Тип 5	Одиночне положення між колонами	Д+1+Шсз	Ш+1+ *г*
Тип 6	Одиночне положення між стіною та колоною	Д+1+Шсз	Ш+*г*+*б*

Таблиця 3.

Класифікація машиномісць зі станціями заряджання для електромобілів з розташуванням СЗ біля задньої стіни

Тип машиномісця	Характеристики машиномісця	Формула розрахунку розмірів машиномісця	
		довжини (м)	ширини (м)
Тип 1	Рядове положення в середині ряду суміжних машиномісць.	-	-
Тип 2	Кінцеве положеня в ряду біля стіни	-	-
Тип 3	Кінцеве положеня в ряду біля колони	-	-
Тип 4	Одиночне положення між стінами	Д+1+Шсз	Ш+1+ *б*
Тип 5-а	Одиночне положення між колонами	Д+1+Шсз	Ш+1+ *г*
Тип 5-б	Одиночне положення між колонами	Д+1+Шсз	Ш+1+ 2*г*+*Шк*
Тип 6	Одиночне положення між стіною та колоною	Д+1+Шсз	Ш+1+ *г*

Варіант 2.

Варіант 2 компоновки характеризується стандартною довжиною машиномісця. При цьому збільшується ширина машиномісця для розташування станції заряджання, а також нормативної відстані від кожного електромобіля до

станції заряджання в 1 м. Для електрозарядних пунктів відстань між автомобілями складається з подвійної відстані по 1 м між електромобілем та зарядною станцією плюс ширина самої зарядної станції. Ширина вільного проходу до порту СЗ в цьому варіанті співпадає з відстанню від одного з електромобілів до СЗ (див. рис.3).

Рисунок 3. Типи машиномісць на зарядних пунктах в гаражах з розміщенням СЗ біля бокової сторони мащиномісця

Ш - габаритна ширина автомобіля згідно з Додатком Г до ДБН В.2.3-15:2007
Д - габаритна довжина автомобіля згідно з Додатком Г до ДБН В.2.3-15:2007
а = 0,5 м, б = 0,5 м, г = 0,3 м, д = 0,6 м - захисні зони за табл.Є.1 Додатку Є до ДБН В.2.3-15:2007
Ш сз - ширина станції заряджання за даними виробника
Ш к - ширина колони гаража

Для машиномісць зі СЗ ширина машиномісця збільшується за рахунок відстані від бічної сторони електромобіля до СЗ, а також ширини самої станції заряджання. При цьому ширина вільного проходу до порту СЗ співпадає з відстанню від електромобіля до СЗ для кожного машиномісця (див. рис.4).

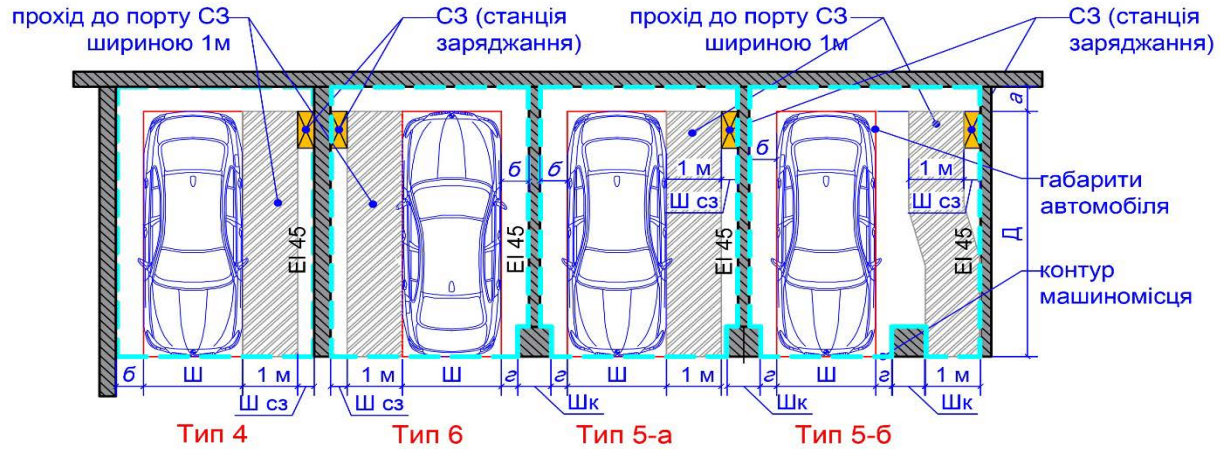


Рисунок 4. Типи машиномісць із СЗ в гаражах з розміщенням СЗ біля бокової сторони машиномісця

Ш - габаритна ширина автомобіля згідно з Додатком Г до ДБН В.2.3-15:2007
Д - габаритна довжина автомобіля згідно з Додатком Г до ДБН В.2.3-15:2007
а = 0,5 м, б = 0,5 м, г = 0,3 м - захисні зони за табл.Є.1 Додатку Є до ДБН В.2.3-15:2007
Ш сз - ширина станції заряджання за даними виробника
Ш к - ширина колони гаража

Таблиця 4.

Класифікація машиномісць на електрозарядних пунктах з розташуванням СЗ біля бокової сторони машиномісця.

Тип машиномісця	Характеристики машиномісця	Формула розрахунку розмірів машиномісця	
		довжини (м)	ширини (м)
Тип 1	Рядове положення в середині ряду суміжних машиномісць.	Д+а	Ш+1+*д*/2
Тип 2	Кінцеве положеня в ряду біля стіни	Д+а	Ш+1+ *б*
Тип 3	Кінцеве положеня в ряду біля колони	Д+а	Ш+1+*д*/2
Тип 4	Одиночне положення між стінами	Д+а	Ш+1+ *б+Шсз*
Тип 5	Одиночне положення між колонами	Д+а	Ш+1+ *г*
Тип 6	Одиночне положення між стіною та колоною	Д+а	Ш+*г+1*+ *Шсз*

Таблиця 5.

Класифікація машиномісць зі станціями заряджання для електромобілів з розташуванням СЗ біля бокової сторони машиномісця.

Тип машиномісця	Характеристики машиномісця	Формула розрахунку розмірів машиномісця	
		довжини (м)	ширини (м)
Тип 1	Рядове положення в середині ряду суміжних машиномісць.	-	-
Тип 2	Кінцеве положеня в ряду біля стіни	-	-
Тип 3	Кінцеве положеня в ряду біля колони	-	-
Тип 4	Одиночне положення між стінами	Д+а	Ш+1+ *б+Шсз*
Тип 5-а	Одиночне положення між колонами	Д+а	Ш+1+*г+Шсз*
Тип 5-б	Одиночне положення між колонами	Д+а	Ш+1+2*г+Шк*
Тип 6	Одиночне положення між стіною та колоною	Д+а	Ш+1+*г+Шсз*

Для порівняння ефективності використання площі гаража проведемо розрахунки площі машиномісць для електромобілів на електрозарядних пунктах та машиномісць зі станціями заряджання для варіантів компоновки 1 і 2. Розрахунки проведем на прикладі автомобілів середнього класу відповідно

до Додатку Г до ДБН В.2.3-15:2007, використовуючи формули розмірів машиномісць, наведені в таблицях 2, 3, 4 та 5 цієї статті. Значення розрахункових розмірів захисних зон наведені на рис. 1, 2, 3 та 4. Розрахункова ширина станції заряджання прийнята 0,3 м, розрахункова ширина колони – 0,4 м. Площі машиномісць в таблицях розраховані за вирахуванням площі колон, які знаходяться в межах машиномісця. Результати розрахунків площ машиномісць для електромобілів на електрозарядних пунктах зведено в таблицю 6, а для машиномісць із станціями заряджання електромобілів – в таблицю 7.

Таблиця 6.

Площі машиномісць на електрозарядних пунктах

Тип машино-місця	Компоновка вар. 1			Компоновка вар. 2			Різниця площ ($м^2$)
	Довжина (м)	Ширина (м)	Площа ($м^2$)	Довжина (м)	Ширина (м)	Площа ($м^2$)	
Тип 1	6,25	2,8	17,50	5,45	3,25	17,71	-0,21
Тип 2	6,25	2,8	17,50	5,45	3,45	18,80	-1,30
Тип 3	6,25	2,9	17,94	5,45	3,25	17,44	0,50
Тип 4	6,25	3,3	20,63	5,45	3,6	19,62	1,01
Тип 5	6,25	3,7	22,76	5,45	3,25	19,08	3,68
Тип 6	6,25	2,9	17,94	5,45	3,4	19,98	-2,04
Середня площа			19,04			18,77	0,27

Таблиця 7.

Площі машиномісць зі станціями заряджання (СЗ)

Тип машино-місця	Компоновка вар. 1			Компоновка вар. 2			Різниця площ ($м^2$)
	Довжина (м)	Ширина (м)	Площа ($м^2$)	Довжина (м)	Ширина (м)	Площа ($м^2$)	
Тип 4	6,25	3,3	20,63	5,45	3,6	19,62	1,01
Тип 5-а	6,25	3,1	21,63	5,45	3,6	19,38	2,25
Тип 5-б	6,25	3,8	25,77	5,45	4,2	22,41	3,36
Тип 6	6,25	3,1	20,50	5,45	3,6	19,5	1,00
Середня площа			22,13			20,23	1,90

Порівняльний аналіз площ машиномісць демонструє наступне:

1. Площі машиномісць на електрозарядних пунктах в залежності від варіанту компоновки відрізняються незначною мірою. Зокрема, для типів машиномісць 1, 2 та 3 більшу площу потребує компоновка з боковим розміщенням СЗ (варіант 2), тоді як для типів машиномісць 4, 5 та 6 більшу площу потребує компоновка з розміщенням СЗ біля задньої стіни (варіант 1). При одночасному застосуванні всіх типів машиномісць різниця середніх площ по кожному з варіантів компоновки складає 0,27 м^2, що становить 1,43% . Отже, для машиномісць на електрозарядних пунктах за показником необхідної площі машиномісць, середня площа варіанту компоновки 1 перевищує середню площу варіанту 2 незначним чином.

2. Площі машиномісць зі станціями заряджання (СЗ) в залежності від варіанту компоновки відрізняються в більшій мірі. Оскільки за вимогою ДСТУ 9222:2023 кожне машиномісце зі СЗ повинне бути відокремлене від сусідніх машиномісць протипожежною перегородкою, то для них відсутні рядові типи машиномісць (типи 1, 2 та 3). Площа машиномісць типів 4, 5-а, 5-б, та 6 в більшій мірі залежить від варіанту компоновки. З табл.7 видно, що середня площа машиномісць компоновки варіанту 1 більша від середньої площі машиномісць компоновки варіанту 2 на 1.9 м, що становить 8.6% . Отже варіанти компоновки 1 і 2 для машиномісць із станціями заряджання (СЗ) за показником необхідної площі машиномісць значно відрізняються один від одного. Компоновки з боковим розміщенням СЗ (варіант 2) в цілому на 8.6% економніші у порівнянні з компоновкою з розміщенням СЗ біля задньої стіни (варіант 1).

Висновки. В статті вперше запропоновано розроблення класифікації машиномісць зі станціями заряджання (СЗ) та на електрозарядних пунктах в гаражах залежно від їх розташування відносно інших автомобілів та елементів будівельних конструкцій гаража, що сприятиме врахуванню відповідних захисних зон автомобілів та протипожежних вимог при проєктуванні та експертизі проєктів гаражів для легкових електромобілів. Це, в свою чергу, підвищить комфорт та функціональність гаражів громадського призначення для розміщення електромобілів та їх зарядки.

Порівняльний аналіз найбільш поширених планувальних схем машиномісць зі станціями заряджання (СЗ) та на електрозарядних пунктах виявив, що за критерієм ефективності використання площі, варіант компоновки з розташуванням станції зарядження (СЗ) біля бокової сторони машиномісця (варіант 2) є більш ефективним у порівнянні з варіантом компоновки з розташуванням станції зарядження (СЗ) біля задньої (протилежної до в'їзду) сторони машиномісця (варіант 1). Для машиномісць на електрозарядних

пунктах ця перевага становить 1.43% площі машиномісця, тоді як для машиномісць із станціями заряджання (СЗ) така перевага становить 8.6% площі машиномісця.

На основі викладених у статті результатів проведених досліджень з проєктування гаражів для легкових електромобілів можуть бути розроблені Зміни для нової редакції ДБН В.2.3-15 «Споруди транспорту. Автостоянки і гаражі для легкових автомобілів», які сприятимуть підвищенню комфортності обслуговування гаражів для різних типів автомобілів.

Список джерел

1. Закон України від 11 липня 2019 року № 2754-VIII «Про внесення змін до деяких законодавчих актів України щодо створення доступу до інфраструктури зарядних станцій для електромобілів». Київ: Відомості Верховної Ради України від 09.08.2019 р., №32, стор. 5.

2. Закон України від 24 лютого 2023 року № 2956-IX «Про деякі питання використання транспортних засобів, оснащених електричними двигунами, та внесення змін до деяких законів України щодо подолання паливної залежності і розвитку електрозарядної інфраструктури та електричних транспортних засобів». Київ: Відомості Верховної Ради України від 04.12.2023 р., №61, стор. 57.

3. ДБН В.2.3-15:2007 Споруди транспорту. Автостоянки і гаражі для легкових автомобілів. Актуалізована редакція зі Змінами №1, №2 і №3. [Чинні від 2022-09-01]. Київ: ДП «Укрархбудінформ», 2022. 53 с.

4. Постанова КМУ від 10 жовтня 2001 р № 1306 Про Правила дорожнього руху. Київ: Офіційний вісник України від 26.10.2001 р., №41, стор. 35.

5. ДСТУ 4100:2021 «Безпека дорожнього руху. Знаки дорожні. Загальні технічні умови. Правила застосування». [Чинний від 2021-11-01]. Київ: ДП «УкрНДНЦ», 2021. 140 с.

6. ДСТУ 9222:2023 «Пожежна безпека. Протипожежний захист. Системи зарядки електромобілів. Основні положення» [Чинний від 2023-11-01]. Київ: ДП «УкрНДНЦ», 2024. 15 с.

7. Шелудько А.В., Татаренко В.М., Данилко Л.А., Куцевич В.В. Питання проєктування гаражів для легкових автомобілів різного класу. Просторовий розвиток, випуск 10, К.: КНУБА, 2024. - С. 221-231.

8. АНАЛІЗ ВІТЧИЗНЯНОГО ТА ЄВРОПЕЙСЬКОГО ДОСВІДУ НОРМУВАННЯ ВИМОГ ДО ЗАРЯДНИХ СТАНЦІЙ ДЛЯ ЕЛЕКТРОМОБІЛІВ. Надзвичайні ситуації: попередження та ліквідація, Том 6, № 1. - С.115-121, 2022, Ю. Фещук, В. Ніжник, А. Циганков, С. Голікова.

Sheludko Andrii,
Candidate of Engineering Sciences **Tatarenko Volodymyr, Danylko Leonid,**
Limited Liability Company "Scientific and Production Association
"Institution of Garage Construction",
Doctor of Architecture, Professor **Kutsevych Vadim,**
Kyiv National University of Construction and Architecture

PLANNING FEATURES OF PARKING SPACES EQUIPPED WITH CHARGING DEVICES FOR ELECTRIC VEHICLES

The article considers the issue of determining the size of parking spaces when designing electric charging points and parking spaces with an electric vehicle charging station in garages for passenger cars. The impact of the fire protection requirements of the adopted DSTU 9222:2023 on the size of parking spaces, taking into account their location relative to other cars and elements of the garage's building structures. Variants of the layout of parking spaces for electric vehicles, taking into account the location of charging stations, are analyzed.

The topic of creating an infrastructure for servicing electric vehicles is actively developing at the legislative level. Thus, the Law of Ukraine No. 2754-VIII of July 11, 2019 [1] laid the foundations for the development of charging infrastructure and encouraging car owners to switch to electric cars.

DSTU 9222:2023 "Fire safety. FIRE PROTECTION. ELECTRIC VEHICLE CHARGING SYSTEMS. Basic provisions" [6], adopted in 2023, formulates new fire safety requirements for parking lots and garages with parking spaces with electric vehicle charging stations and parking spaces at electric charging points, but the emergence of new fire safety requirements is not consistent with the provisions of DBN V.2.3-15:2007 "Transport structures. Parking lots and garages for passenger cars" [3].

All this makes it necessary to analyze the impact of new fire safety requirements on the architectural and planning parameters of parking spaces for electric vehicles in order to implement these requirements into the design process.

Based on this, a classification of types of parking spaces at electric charging points and parking spaces with an electric vehicle charging station in garages is proposed depending on their location relative to other cars and elements of building structures, taking into account the relevant protective zones. A conclusion is made on the need to make amendments to DBN V.2.3-15:2007 "Transport structures. Parking lots and garages for passenger cars" in terms of standardizing the sizes of parking spaces with an electric vehicle charging station and parking spaces at electric charging points in garages for parking passenger electric vehicles.

Keywords: electric vehicles; parking lots; garages; architectural and planning solutions; dimensions of parking spaces with electric vehicle charging stations: dimensions of parking spaces of electric charging points; types of parking spaces; state building codes; comfort of service.

REFERENCES

1. Zakon Ukrainy vid 11 lypnia 2019 roku № 2754-VIII «Pro vnesennia zmin do deiakykh zakonodavchykh aktiv Ukrainy shchodo stvorennia dostupu do infrastruktury zariadnykh stantsii dlia elektromobiliv». Kyiv: Vidomosti Verkhovnoi Rady Ukrainy vid 09.08.2019 r., №32, stor. 5. {in Ukrainian}

2. Zakon Ukrainy vid 24 liutoho 2023 roku № 2956-IKh «Pro deiaki pytannia vykorystannia transportnykh zasobiv, osnashchenykh elektrychnymy dvyhunamy, ta vnesennia zmin do deiakykh zakoniv Ukrainy shchodo podolannia palyvnoi zalezhnosti i rozvytku elektrozariadnoi infrastruktury ta elektrychnykh transportnykh zasobiv». Kyiv: Vidomosti Verkhovnoi Rady Ukrainy vid 04.12.2023 r., №61, stor. 57. {in Ukrainian}

3. DBN V.2.3-15:2007 Sporudy transportu. Avtostoianky i harazhi dlia lehkovykh avtomobiliv. Aktualizovana redaktsiia zi Zminamy №1, №2 i №3. [Chynni vid 2022-09-01]. Kyiv: DP «Ukrarkhbudinform», 2022. 53 s. {in Ukrainian}

4. Postanova KMU vid 10 zhovtnia 2001 r № 1306 Pro Pravyla dorozhnoho rukhu. Kyiv: Ofitsiinyi visnyk Ukrainy vid 26.10.2001 r., №41, stor. 35. {in Ukrainian}

5. DSTU 4100:2021 «Bezpeka dorozhnoho rukhu. Znaky dorozhni. Zahalni tekhnichni umovy. Pravyla zastosuvannia». [Chynnyi vid 2021-11-01]. Kyiv: DP «UkrNDNTs», 2021. 140 s. {in Ukrainian}

6. DSTU 9222:2023 «Pozhezhna bezpeka. Protypozhezhnyi zakhyst. Systemy zariadky elektromobiliv. Osnovni polozhennia» [Chynnyi vid 2023-11-01]. Kyiv: DP «UkrNDNTs», 2024. 15 s. {in Ukrainian}

7. Sheludko A.V., Tatarenko V.M., Danylko L.A., Kutsevych V.V. Pytannia proiektuvannia harazhiv dlia lehkovykh avtomobiliv riznoho klasu. Prostorovyi rozvytok, vypusk 10, K.: KNUBA, 2024. - S. 221-231. {in Ukrainian}

8. ANALIZ VITChYZNIaNOHO TA YeVROPEISKOHO DOSVIDU NORMUVANNIa VYMOH DO ZARIaDNYKh STANTsII DLIa ELEKTROMOBILIV. Nadzvychaini sytuatsii: poperedzhennia ta likvidatsiia, Tom 6, № 1. - S.115-121, 2022, Yu. Feshchuk, V. Nizhnyk, A. Tsyhankov, S. Holikova. {in Ukrainian}

DOI: 10.32347/2786-7269.2025.11.241-252
УДК 711.25

д.арх., доцент **Шульга Г.М.,**
geshulha@gmail.com, ORCID: 0000-0002-1346-8062,
Національний лісотехнічний університет України

МЕТОДИКА ІМІТАЦІЙНОГО МОДЕЛЮВАННЯ МІГРАЦІЙНИХ ПРОЦЕСІВ У ЗАХІДНОМУ РЕГІОНІ УКРАЇНСЬКИХ КАРПАТ

Розглянуті принципові положення моделювання просторового розподілу рекреаційних потоків та тимчасово переселенців на територіях Закарпатської, Прикарпатської областях та у гірських районах Українських Карпат. В результаті проведеного дослідження формування нових та трансформації існуючих містобудівних об'єктів регіону було встановлено проблеми містобудівного освоєння регіональних рекреаційних територій за своїм характером подібні, навіть повторюються у міграційних процесах.

Сучасні урбаністичні процеси вимагають інноваційних підходів у містобудівних техніко-економічних розрахунків активного освоєння нових ділянок у цінному та унікальному середовищі в регіоні Українських Карпат. Головне не втратити біотичний та біоценозний ресурс Карпат, не перетворити природне середовище у техногенне довкілля, що не придатне для комфортного перебування людини.

Основна увага приділяється виявленню та аналізу впливу сукупності соціопросторових, урбопросторових та ресурсних факторів на геопросторове вирішення та планування територій, їх систематизацію.

Наукові методи, які пропонуються для розрахунку та прогнозування розподілу рекреаційних потоків на території регіону можна застосовувати і для учасників внутрішнього процесу переселення людей з інших територій України.

В основу розрахунків закладені наступні чинники: допустимі навантаження на природно-територіальні комплекси, ««коефіцієнт якості об'єкту», «коефіцієнт задоволення», враховуючи специфіку гірських рекреаційних територій.

Визначення навантажень на одиницю території грунтуються на «вибірково-моментному» та «хронометражному» методах. За допомогою математичного та графічного моделювання розроблено відповідні інструменти (варіанти) для обчислення: а) показників імовірного приросту населення регіону, що впливає на навантаження в часі та в просторі на територію природних комплексів з використанням даних експертної оцінки; б) показників сумарних цілорічних реальних та прогнозованих навантажень; в)

розрахункової величини потоку людей на територіях Закарпаття, гірських районів Карпат та Прикарпаття; показників ємності (місткості) ділянок гірсько-рекреаційних територій з урахуванням площі забудови.

Ключові слова: внутрішні мігранти; територіальний розподіл; «коефіцієнт якості об'єкту»; «коефіцієнт задоволення»; тимчасові мігранти; біота; біоценоз; допустимі навантаження на природно-територіальні комплекси; математичне та графічне моделювання.

Актуальність роботи. Рекреаційна діяльність людини на території природних ландшафтів Українських Карпат створює критичні умови для стійкості природних комплексів. нових підходів до визначення сумарної оцінки допустимих навантажень на складові елементи природного комплексу. Тенденції активізації рекреаційних потоків, потоків тимчасово переміщених осіб з південних, східних та центральних районів України, що обумовлюють значну щільність населення на одиницю площі ставлять перед містобудівниками завдання по створенню умов сталого розвитку західних територій з метою збереження елементної бази біоти, біоценозу та антропогенного ландшафту в цілому.

Проблема полягає в тому, що реальні навантаження на природу залежать від ймовірного розподілу відпочиваючих на рекреаційних територіях. Традиційні методи просторового планування не завжди враховують певною мірою негативні загрози та специфіку ресурсної бази та форму соціального запиту на функціонально-планувальні умови простору життєдіяльності, що призводить до незадовільної організації середовища.

Таким чином, збільшення активності рекреаційної діяльності у районах Українських Карпат вимагає раціонального територіального розподілу потоків відпочиваючих та внутрішніх мігрантів у часі і у просторі.

Мета даної роботи – розробити адекватні математичні співвідношення, які дозволяють проводити аналіз розподілу людських, природних, фінансових та інвестиційних можливостей територій освоєння з метою їх оптимального використання як з позицій збереження природних ресурсів, так і задоволення потреб відпочиваючих, які їх відвідують, та провести математичне моделювання територіально-просторового розподілу рекреаційних потоків відпочиваючих до об'єктів рекреації на території Українських Карпат.

Аналіз останніх досліджень та публікацій. Вивченню географічних та містобудівних проблем «курортів – рекреації – туризму» присвячено праці багатьох вітчизняних та зарубіжних фахівців в галузі раціонального природокористування та охорони навколишнього середовища: рекреаційної та економічної географії – В.І. Нудельмана, Ю.М. Палехи, О.Г. Топчієва М.Й.

Рутинського; урбоекології та геоурбаністики – Л.Г. Руденка, І.І. Устінової. Галузеві та регіональні проблеми розвитку рекреації та туризму відображені у працях дослідників – В.С. Кравців, В.К. Євдокименко, М.М. Габрель, М.В. Копач, Ф.Ф. Мазур; узагальнення науково-проектного досвіду туристично-рекреаційних районів відображено у роботах Т.Ф. Панченко, В.І. Гетьмана, В.В. Гоблика, Л.Г. Лук'янової, С.І. Поповича, Я.М. Тарас, В.В. Шулика.

Викладення основного матеріалу. Основною вимогою до математичної моделі повинна бути її здатність не тільки до кількісного аналізу експериментальних співвідношень, але й можливість пошуку оптимальних шляхів вирішення проблеми, яку вона описує.

Так, наприклад, дослідження рекреаційних навантажень на гірські рекреаційні території базується на припущенні, що мінімальний показник кількості осіб на 1 га території – це граничний стан використання природних ресурсів, що дозволяє забезпечити їх саморегуляцію та відновлення; максимальні значення цих показників, тобто максимально допустиме навантаження на природу при розрахунках місткості рекреаційних територій, – хоча і не викликає безповоротної деградації природних комплексів, однак вимагає спеціальних заходів відновлення.

При розрахунках оптимального значення рекреаційних навантажень на гірські рекреаційні території приймається припущення, що 50% величини розрахункових показників повинні забезпечувати комфорт відпочинку, решта 50% величини цих показників повинна забезпечувати економічну зацікавленість суб'єктів рекреаційної діяльності.

На розрахунок техніко-економічних показників та визначення рентабельності об'єктів відпочинку у свою чергу впливають: кількісні та якісні показники рекреаційних ресурсів (характеристики умов розміщення об'єктів відпочинку, характер природно-ландшафтного середовища, види ресурсів тощо), перелік та склад послуг, що надають суб'єкти (кластери, рекреаційні комплекси тощо), форми організації відпочинку (організований, самодіяльний тощо) та часова тривалість відпочинку (довготривалий, короткочасний). Дані характеристики є сукупністю математичних критеріїв, які мають мінімальні та максимальні значення. У спрощеному вигляді (при врахуванні мінімальної кількості ознак) можна запропонувати *метод імітаційного моделювання прогнозування* величини рекреаційного потоку.

Припустимо, що на певній обмеженій території знаходиться N – на кількість рекреаційно-туристичних об'єктів (санаторіїв, будинків відпочинку тощо $(T_1,...,T_N)$, кожен з яких характеризується сукупністю критеріїв $\{\alpha_1,...,\alpha_M\}$, для яких характерні певні обмеження:

$$\beta_z^j \le \alpha_z^j \le \gamma_z^j, \quad (1)$$

де: $z = 1,...,M$, β_z^j, γ_z^j – допустимі нижня і верхня межа зміни параметрів.

Під критеріями у даному випадку можна розуміти здатність закладу відпочинку прийняти відповідну кількість людей, наявність певних природних ресурсів, температурні режими території, можливості об'єднувати різноманітні види відпочинку тощо; із мінімальними та максимально допустимими значеннями кожного врахованого критеріального показника: наприклад, кількість людей, що приймає об'єкт, може знаходитися в межах від 100 до 800 осіб; температурні умови – становити від -10 °С до +20 °С; вологість – від 30 % до 45 % тощо.

Розміщення відпочиваючих у рекреаційних закладах приймаємо згідно аналітичного матеріалу з метою задоволення їх потреб у відпочинку, яке у сукупності всього рекреаційного потоку повинно бути максимальними. В якості числового еквівалента – величини, згідно якої аналізується «коефіцієнт якості об'єкту», або «коефіцієнт задоволення» сформульованого вище співвідношення, приймаємо коефіцієнт k_j як максимальний ефект відпочинку середньостатистичного відпочиваючого в межах T_i рекреаційного об'єкту.

Визначення коефіцієнту k_j представимо у вигляді наступної математичної формули:

$$k_j = \frac{\omega_j^1}{\omega_j^*}, \quad (2)$$

де: $\omega_j{}^1$ – кількість позитивних відгуків про об'єкт, $\omega_j{}^*$ – загальна кількість відгуків.

У даному випадку коефіцієнт k_j є співвідношенням кількості позитивних відгуків про об'єкт до загальної кількості відгуків (як аналог визначення інтенсивності певних подій у загальній кількості випробовувань).

У разі наявності «шкали відгуків», за результатами опитувань, про рекреаційні об'єкти показник k_j може бути представлений у наступному вигляді:

У разі наявності «шкали відгуків», за результатами опитувань, про рекреаційні об'єкти показник k_j може бути представлений у наступному вигляді:

$$\tilde{k}_j = \frac{\sum_{l=1}^{q} \tilde{\omega}_j^l \cdot c_j^l}{\sum_{l=1}^{q} c_j^l \cdot \max\left(c_j^1,...,c_j^q\right)}, \quad (3)$$

де: c_j^l – кількість відгуків з «вагою» $\tilde{\omega}_j^l$ для об'єкту T_j, $\max(...)$ – максимальне значення серед безлічі аргументів, q – величина шкали відгуків, l – поточний індекс.

У формулі (3) складова $\sum_{l=1}^{q} \tilde{\omega}_j^l \cdot c_j^l$ відповідає за зважену оцінку всіх

відповідей (величина оцінки певного параметра множиться на кількість відповідей з даною оцінкою), $\sum_{l=1}^{q} c_j^l$ відповідає за суму всіх відповідей, а складова $\max\left(c_j^1,...,c_j^q\right)$ використовується для «нормування» (тобто приведення відповіді в межі від 0 до 1 за аналогом відсоткового відношення).

Приклад 1. Припустимо, що для об'єкта рекреації «Відпочинок в Карпатах» серед відпочиваючих було 10 позитивних відгуків і 5 негативних. Тоді попередній розрахунок згідно співвідношення (2): $k_j = \frac{10}{10+5} = \frac{2}{3} \approx 0.67$.

Для уточнення отриманого розрахунку величини рекреаційного потоку можна рекомендувати застосування оціночної п'ятибальної шкали (*q = 1 ...5*) відгуків при опитуванні експертів.

Якщо прийняти показники оцінювання від 1 до 3 як негативну оцінку, а 4-5 як позитивну, та подати результати опитування у табличній формі,

Величина оцінки *q*	1	2	3	4	5
Кількість відгуків	2	1	2	6	4

то згідно формули (3) отримаємо: $\tilde{k}_j = \frac{1\cdot 2 + 2\cdot 1 + 3\cdot 2 + 4\cdot 6 + 5\cdot 4}{(2+1+2+6+4)\cdot 5} = 0.72$.

Чим більше критеріїв послуг сервісної інфраструктури та бальність шкали їх оцінювання, тим точніше отримаємо прогноз розподілу рекреаційного потоку по об'єктах відпочинку. Оптимальна величина рекреаційного потоку на об'єкті буде означати максимальний ефект відпочинку та виражатися показником k_j.

Математичний опис сформульованих вище вимог щодо оптимізації показника максимального ефекту відпочинку *F* згідно співвідношення (2) можна представити у наступному вигляді:

$$F = \sum^{\cdot\cdot} k_j \cdot n_j \to \max, \qquad (4)$$

або згідно співвідношення (3) таким чином:

$$\tilde{F} = \sum^{\cdot\cdot} \tilde{k}_j \cdot n_j \to \max. \qquad (5)$$

У вищенаведених співвідношеннях (4), (5) використовується лінійний адитивний (той, що характеризується додаванням) функціонал.

Наприклад: об'єкт C_1 має характеристику «коефіцієнту задоволення» 0,6 (тобто 60% людей були задоволені відпочинком на об'єкті згідно формули (2)), а об'єкт C_2 має «коефіцієнт задоволення» 0,45 (тобто 45% людей були задоволені відпочинком). У результаті загальна кількість задоволення від відпочинку на об'єкті C_1 при відпочинку у ньому n_1 осіб склала $0,6 \times n1$, а на об'єкті C_2 при

відпочинку у ньому n_2 осіб склала $0{,}45 \times n_2$.

Тоді загальна характеристика відпочинку всіх (n_1+n_2) відпочиваючих на об'єктах C_1 і C_2 склала $(0{,}6 \times n_1 + 0{,}45 \times n_2)$; і цей параметр має прямувати до максимуму (тобто коефіцієнт задоволення всієї групи людей має бути максимальним). Аналогічно будується функціонал (5), тільки у ньому коефіцієнт $\tilde{k}_i$ розраховується за формулою (3) замість формули (2).

У результаті узагальнена математична модель оптимізації показника розподілу рекреаційного потоку матиме вигляд:

$$(\tilde{F} \to \max). \qquad (6)$$

Узагальнена схема рішень моделі буде полягати в знаходженні оптимальної гіперплощини виду (3) або (4) в багатовимірному просторі виду (1). Даний метод полягає у пошуку такої точки або сукупності (множини точок) в N-вимірному багатокутнику (який будується на основі системи обмежень (1)), що дозволяє знаходити максимальне значення функціоналу (4) або (5).

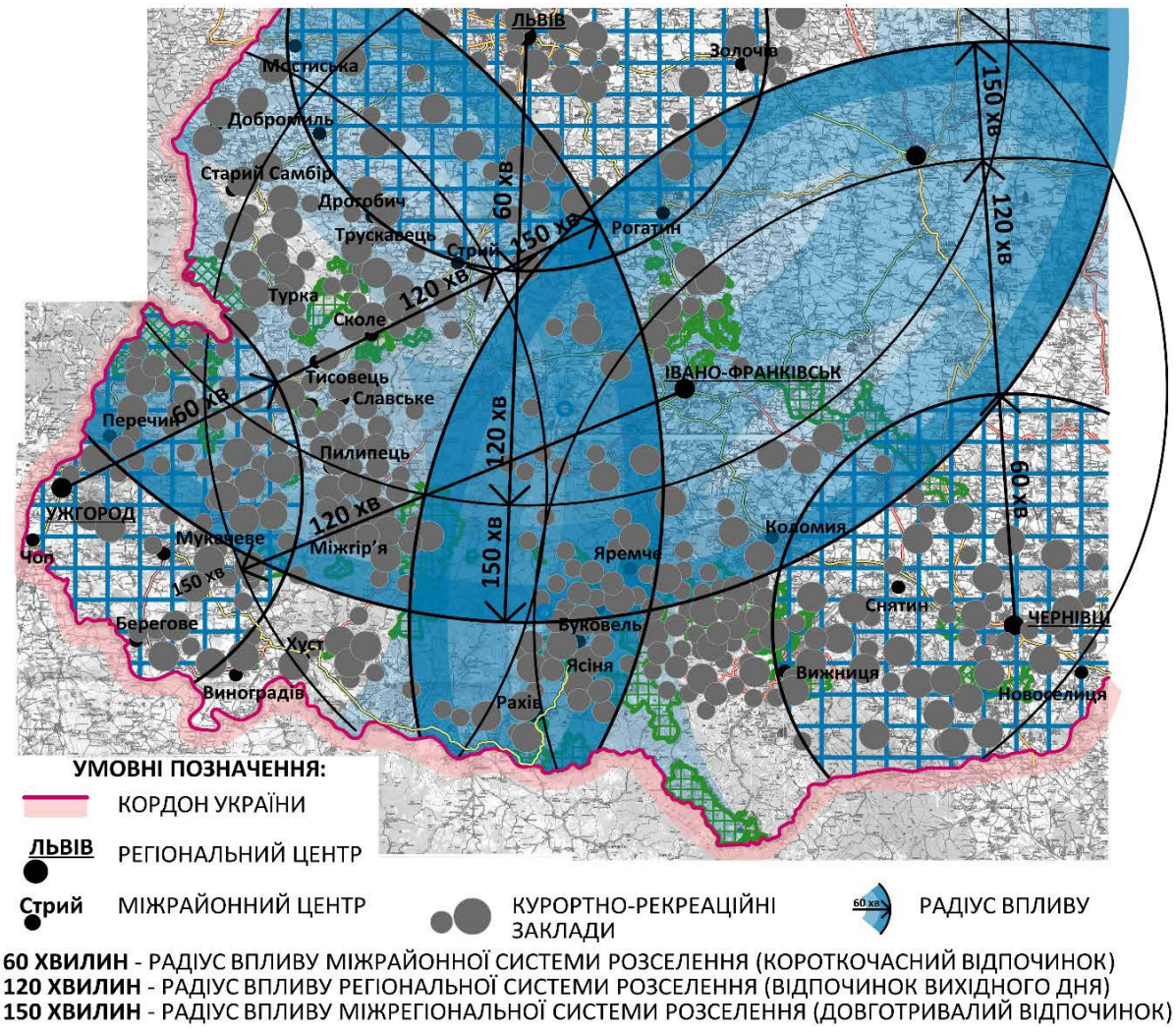


Рис. 1. Імітаційне моделювання рекреаційних потоків.

Приклад 2. Графічний метод побудови математичної моделі рекреаційних потоків. Приймаємо, що на території «Б» є два рекреаційні комплекси A_1 і A_2. Кількість осіб, які максимально можуть приїхати на цю територію з метою відпочинку, дорівнює 1000; комплекс A_1 може максимально вмістити без наслідків для рекреаційно-територіального потенціалу 600 осіб, а мінімально (для підтримки його рентабельності) 100 осіб; комплекс A_2 – від 200 до 750 осіб. При цьому коефіцієнт максимального ефекту відпочинку для комплексу A_1, визначений за формулами (2), (3) приймемо $k_1 = 0.8$, а для комплексу A_2– $k_2=0.7$.

Друга задача – знайти оптимальне значення величини рекреаційного потоку при максимальному наданні послуг відпочиваючим засобами сервісної інфраструктури.

Математичну постановку даного завдання представимо у наступному вигляді: x_1 – кількість відпочиваючих, що прибули на комплекс A_1, а x_2 – на комплекс A_2, тоді має місце наступна система обмежень (з врахуванням вищенаведеного запишемо: $x_1 \geq 100$ – як мінімальна границя кількості відпочиваючих на об'єкті A_1 для підтримання його рентабельності, інакше A_1 буде збитковим, $x_2 \geq 200$ – як мінімальна границя кількості відпочиваючих на об'єкті A_2 для підтримання його рентабельності; $x_1 \leq 600$ – як обмеження максимально можливої кількості відпочиваючих на об'єкті A_1 без негативних наслідків для рекреаційно-територіального потенціалу території A_1, $x_2 \leq 750$ – як обмеження максимальної кількості осіб на об'єкті A_2 без безповоротних негативних наслідків для рекреаційно-територіального потенціалу території A_2, загальна кількість осіб, які можуть одночасно відпочити, є меншою або рівною 1000 осіб – $F = k_1 \cdot x_1 + k_2 \cdot x_2 \to \max$.):

$$\begin{cases} x_1 \geq 100 \\ x_1 \leq 600 \\ x_2 \geq 200 \\ x_2 \leq 750 \\ x_1 + x_2 \leq 1000 \end{cases} \quad (7)$$

Функціональна (цільова) функція F матиме вигляд:

$$F = k_1 \cdot x_1 + k_2 \cdot x_2 \to \max . \quad (8)$$

Тобто, якщо прийняти за основу, що один середньостатистичний відпочиваючий, який перебував на об'єкті A_1, отримав «коефіцієнт отриманого задоволення» k_1, то за умов присутності x_1 осіб на об'єкті A_1 загальний «коефіцієнт отриманого задоволення» складатиме $k_1 \times x_1$; якщо ж один середньостатистичний відпочиваючий, що відвідав об'єкт A_2, відчув «коефіцієнт отриманого задоволення» k_2, то за умов наповненості об'єкта A_2 кількістю x_2 відпочиваючих, отримаємо загальний «коефіцієнт отриманого

задоволення» $k_2 \times x_2$, і сумарний – $F = k_1 \times x_1 + k_2 \times x_2$, який має бути максимальним або наближатись до нього (стрілочка «→»).

Висновки. В результаті проведеного дослідження формування нових та трансформації існуючих містобудівних об'єктів регіону було встановлено наступне.

1. Загальні проблеми містобудівного освоєння регіональних рекреаційних територій за своїм характером подібні, навіть повторюються у міграційних процесах, які пов'язані із створенням умов для життєдіяльності внутрішнім мігрантам. Таким чином, наукові методи, що були запропоновані для розрахунку та прогнозування розподілу рекреаційних потоків на території західного регіону можна застосовувати і для учасників внутрішнього процесу переселення людей з інших територій України.

2. Визначено методи наукового обґрунтування розподілу тимчасового перебування людських потоків (відпочиваючих та мігрантів) на території Карпатського регіону: літературний, порівняльний, статистичний, типологічний аналіз тощо).

3. Удосконалено методи розрахунку розподілу рекреантів з врахуванням потоків тимчасового контингенту внутрішньої міграції. В основу розрахунків закладені наступні чинники: допустимі навантаження на природно-територіальні комплекси, ««коефіцієнт якості об'єкту», «коефіцієнт задоволення», враховуючи специфіку гірських рекреаційних територій.

4. Базовими методами визначення навантажень на одиницю території, на які спирався автор, були «вибірково-моментний» та «хронометражний». На цій основі за допомогою математичного та графічного моделювання розроблено відповідні інструменти (варіанти) для обчислення: а) показників імовірного приросту населення регіону, що впливає на навантаження в часі та в просторі на територію природних комплексів з використанням даних експертної оцінки; б) показників сумарних цілорічних реальних та прогнозованих навантажень; в) розрахункової величини потоку людей на територіях Закарпаття, гірських районів Карпат та Прикарпаття; показників ємності (місткості) ділянок гірсько-рекреаційних територій з урахуванням площі забудови.

5. Розроблено методику імітаційного моделювання потоків, за допомогою яких визначаються кількісні та якісні показники площ територій освоєння для розміщення житлової, культурно-побутової та рекреаційної сфери (кількість мешканців, відпочиваючих, атрактивність рекреаційних ресурсів тощо); враховуються такі чинники як «коефіцієнт якості об'єкту», як показник задоволення середньостатистичного мешканця (відпочиваючого); кількість «позитивних відгуків» («шкала» відгуків); критерії та «номенклатура послуг» сервісної інфраструктури тощо. Представлено математичний опис

сформульованих вимог щодо встановлення показника «максимального ефекту» відпочинку та математичну модель оптимізації показника «розподілу» потоку у містобудівній системі.

Таким чином, розроблена математична модель визначення оптимального значення величини рекреаційного потоку при максимальному ефекті отриманого задоволення середньостатистичного мешканця (відпочиваючого) зі збереженням природно-рекреаційного потенціалу території.

Запропонована вперше методика моделювання рекреаційного потоку апробована у реальному проектуванні.

Список використаних джерел:

1. Габрель М.М. Просторова організація містобудівних систем. К.: Видавничий дім А.С.С., 2004. 400 с.

2. Дьомин М.М. Городские агломерации в контексте исследования феномена форм и систем расселения. Містобудування та територіальне планування. 2012. № 45(1). С. 3-15. URL: http://nbuv.gov.ua/UJRN/MTP_2012 (дата звернення 21.03.2018).

3. Кравців В.С., Жук П.В. Концептуальні основи перспективного розвитку рекреаційної індустрії в Карпатах. Економіка України. 1993. № 12. С. 57-62.

4. Куйбіда В.С., Білоконь Ю.М. Територіальне планування в Україні: Європейські засади та національний досвід. К.: Логос, 2009. 108 с.

5. Мазур Ф.Ф. Соціально-економічні умови розвитку рекреаційної індустрії (на прикладі Карпатського регіону): навчальний посібник. К.: Центр учб. літератури, 2005. 96 с.

6. Нудельман В.І. Передумови розвитку Карпатського регіону в Європейському контексті. Карпато-Український міст в Європу: проблеми і перспективи: тези доп. міжн. наук.-практ. конф. Львів, 1993.

7. Нудельман В.І. Социально-экономические проблемы рекреационного природопользования. Киев: Наукова думка, 1987. 131 с.

8. Палеха Ю.М. Теорія і практика визначення вартості територій і оцінки земель населених пунктів України (економіко-географічне дослідження): автореф. дис. ... д-ра геогр. н.: 11.00.02 / Інститут географії НАН України. Київ, 2009. 38 с.

9. Панченко Т.Ф. Ландшафтно-рекреаційне планування природно-заповідних територій. К.: Логос, 2015. 176 с.

10. Панченко Т.Ф. Методика територіально-просторової організації систем туризму регіонального рівня. Досвід та перспективи розвитку міст України. 2003. Вип. 5. С. 50-57.

11. Панченко Т.Ф. Расчет параметров развития курортно-рекреационных зон на различных уровнях проектирования. Градостроительство. Теория и практика курортного стр-ва: респ. межвед. сб. Киев, 1982. Вып. 32. С.18-23.

12. Панченко Т.Ф. Туристичне середовище: архітектура, природа, інфраструктура. К.: Логос, 2009. 176 с.

13. Попович С.І. Туристично-екскурсійні ресурси України: Вступ до проблеми. Туристичні ресурси України: Зб. наук. статей. К.: Вид-во ФПУ, 1996. С. 7-17.

14. Руденко Л.Г., Лісовський С.А., Маруняк Є.О. Досвід застосування стратегічної екологічної оцінки в процеси планування в Україні. Український географічний журнал. 2016. № 2. С. 3-12.

15. Рутинський М.Й., Стецюк О.В. Туристичний комплекс Карпатського регіону України. Чернівці: Книги – XXI, 2008. 440 с.

16. Спільний проект містобудівного розвитку транскордонного регіону «Україна – Польща». URL: http://dipromisto.gov.ua/ index.php?categoryid=76 (дата звернення 09.01.2018).

17. Топчієв О.Г. Суспільно-географічні дослідження: методологія, методи, методики. Одеса: Астропринт, 2005. 632 с.

18. Шаблій О.І. Основи загальної суспільної географії: підручник. Львів: Видавничий центр ЛНУ імені Івана Франка, 2003. 444 с.

19. Шулик В.В. Методологічні основи формування рекреаційних систем в Україні: автореф. дис. … д-ра арх.: 18.00.01 / Харків. держ. техн. ун-т будівництва та архітектури. Харків, 2008. 36 с.

20. Шульга Г.М., Кузін М.О. Моделювання процесу розподілу рекреаційних потоків. Science and Education a New Dimension. Natural and Technical Sciences. 2016. Issue 110. IV (12). С. 7-9.

D.Sc. in Arch., Associate Professor **Shulha Hennadiy,**
National Forestry University of Ukraine

METHOD OF SIMULATION MODELING OF MIGRATION PROCESSES IN THE WESTERN REGION OF THE UKRAINIAN CARPATHIAN

The fundamental provisions on modeling the spatial distribution of recreational flows and temporary migrants in the territories of the Transcarpathian, Precarpathian regions and in the mountainous areas of the Ukrainian Carpathians are considered. As a result of the study of the formation of new and transformation of existing urban development objects in the region, the problems of urban development development of regional recreational territories were identified, which are similar in nature, even repeated in migration processes.

Modern urban processes require innovative approaches in urban development technical and economic calculations of active development of new areas in a valuable and unique environment in the Ukrainian Carpathians region. The main thing is not to lose the biotic and biocenotic resource of the Carpathians, not to turn the natural environment into a technogenic environment that is not suitable for a comfortable stay of a person.

The main attention is paid to identifying and analyzing the impact of a set of socio-spatial, urban-spatial and resource factors on the geospatial solution and planning of territories, their systematization.

The scientific methods proposed for calculating and forecasting the distribution of recreational flows in the region can also be applied to participants in the internal process of resettlement of people from other territories of Ukraine.

The calculations are based on the following factors: permissible loads on natural and territorial complexes, "object quality coefficient", "satisfaction coefficient", taking into account the specifics of mountain recreational areas.

The determination of loads per unit of territory is based on the "sampling-moment" and "time-based" methods. Using mathematical and graphical meta-modeling, appropriate tools (options) have been developed to calculate: a) indicators of the likely population growth of the region, which affects the load in time and space on the territory of natural complexes using expert assessment data; b) indicators of total year-round real and forecast loads; c) the estimated value of the flow of people in the territories of Transcarpathia, the mountainous regions of the Carpathians and the Precarpathians; indicators of the capacity (capacity) of sections of mountain recreational areas, taking into account the area of development.

Keywords: internal migrants; territorial distribution; "object quality coefficient"; "satisfaction coefficient"; temporary migrants; biota; biocenosis; permissible loads on natural and territorial complexes; mathematical and graphical metamodeling.

REFERENCES:

1. Habrel M.M. Prostorova orhanizatsiia mistobudivnykh system. K.: Vydavnychyi dim A.S.S., 2004. 400 s. {in Ukrainian}

2. Domin M.M. Horodskye ahlomeratsyy v kontekste issledovanyia fenomena form y system rasselenyia. Mistobuduvannia ta terytorialne planuvannia. 2012. № 45(1). S. 3-15. {in Russian}

3. Kravtsiv V.S., Zhuk P.V. Kontseptualni osnovy perspektyvnoho rozvytku rekreatsiinoi industrii v Karpatakh. Ekonomika Ukrainy. 1993. № 12. S. 57-62. {in Ukrainian}

4. Kuibida V.S., Bilokon Yu.M. Terytorialne planuvannia v Ukraini: Yevropeiski zasady ta natsionalnyi dosvid. K.: Lohos, 2009. 108 s. {in Ukrainian}

5. Mazur F.F. Sotsialno-ekonomichni umovy rozvytku rekreatsiinoi industrii (na prykladi Karpatskoho rehionu): navchalnyi posibnyk. K.: Tsentr uchbovoi literatury, 2005. 96 s. {in Ukrainian}

6. Nudelman V.I. Peredumovy rozvytku Karpatskoho rehionu v Yevropeiskomu konteksti. Karpato-Ukrainskyi mist v Yevropu: problemy i

perspektyvy: tezy dop. mizhn. nauk.-prakt. konf. Lviv, 1993. {in Ukrainian}

7. Nudelman V.I. Sotsyalno-ekonomycheskye problemy rekreatsyonnoho pryrodopolzovanyia. Kyev: Naukova dumka, 1987. 131 s. {in Russian}

8. Palekha Yu.M. Teoriia i praktyka vyznachennia vartosti terytorii i otsinky zemel naselenykh punktiv Ukrainy (ekonomiko-heohrafichne doslidzhennia): avtoref. dys. ... d-ra heohr. n.: 11.00.02 / Instytut heohrafii NAN Ukrainy. Kyiv, 2009. 38 s. {in Ukrainian}

9. Panchenko T.F. Landshaftno-rekreatsiine planuvannia pryrodno-zapovidnykh terytorii. K.: Lohos, 2015. 176 s. {in Ukrainian}

10. Panchenko T.F. Metodyka terytorialno-prostorovoi orhanizatsii system turyzmu rehionalnoho rivnia. *Dosvid ta perspektyvy rozvytku mist Ukrainy*. 2003. Vyp. 5. S. 50-57. {in Ukrainian}

11. Panchenko T.F. Raschet parametrov razvytyia kurortno-rekreatsyonnыkh zon na razlychnыkh urovniakh proektyrovanyia. Hradostroytelstvo. Teoryia y praktyka kurortnoho str-va: resp. mezhved. sb. Kyev, 1982. Vыp. 32. S.18-23. {in Ukrainian}

12. Panchenko T.F. Turystychne seredovyshche: arkhitektura, pryroda, infrastruktura. K.: Lohos, 2009. 176 s. {in Ukrainian}

13. Popovych S.I. Turystychno-ekskursiini resursy Ukrainy: Vstup do problemy. *Turystychni resursy Ukrainy*: Zb. nauk. statei. K.: Vyd-vo FPU, 1996. C. 7-17. {in Ukrainian}

14. Rudenko L.H., Lisovskyi S.A., Maruniak Ye.O. Dosvid zastosuvannia stratehichnoi ekolohichnoi otsinky v protsesy planuvannia v Ukraini. *Ukrainskyi heohrafichnyi zhurnal*. 2016. № 2. S. 3-12. {in Ukrainian}

15. Rutynskyi M.I., Stetsiuk O.V. Turystychnyi kompleks Karpatskoho rehionu Ukrainy. Chernivtsi: Knyhy – KhKhI, 2008. 440 s. {in Ukrainian}

16. Spilnyi proekt mistobudivnoho rozvytku transkordonnoho rehionu «Ukraina – Polshcha». URL: http://dipromisto.gov.ua/ index.php?categoryid=76 (data zvernennia 09.01.2018). {in Ukrainian}

17. Topchiiev O.H. Suspilno-heohrafichni doslidzhennia: metodolohiia, metody, metodyky. Odesa: Astroprynt, 2005. 632 s. {in Ukrainian}

18. Shablii O.I. Osnovy zahalnoi suspilnoi heohrafii: pidruchnyk. Lviv: Vydavnychyi tsentr LNU imeni Ivana Franka, 2003. 444 c. {in Ukrainian}

19. Shulyk V.V. Metodolohichni osnovy formuvannia rekreatsiinykh system v Ukraini: avtoref. dys. … d-ra arkh.: 18.00.01 / Kharkiv. derzh. tekhn. un-t budivnytstva ta arkhitektury. Kharkiv, 2008. 36 s. {in Ukrainian}

20. Shulha H.M., Kuzin M.O. Modeliuvannia protsesu rozpodilu rekreatsiinykh potokiv. *Science and Education a New Dimension*. Natural and Technical Sciences. 2016. Issue 110. IV (12). S. 7-9. {in Ukrainian}

DOI: 10.32347/2786-7269.2025.11.253-264
УДК 711

доктор архітектури, професор **Дьомін М.М.**,
deminmaster@gmail.com, ORCID:0000-0002-3144-761X,
к.т.н. **Михайлик О.О.**,
mykhailykolga@gmail.com; ORCID: 0000-0003-3648-9410,
Київський національний університет будівництва і архітектури

СТРУКТУРНО-ЛОГІЧНА МОДЕЛЬ ПРИБЕРЕЖНОГО МІСТА

Зазначено важливість річкової системи в формуванні етносів й в заснуванні міст. Надано показники річок, що течуть територією України. Відмічено особливості та переваги прибережних територій в містах. Створено структурно-логічну модель прибережного міста.

Ключові слова: басейн річки; містобудівний інструмент; структурно-логічна модель; прибережне місто; структура міста; прибережна територія.

Вступ. Етноси сформувались в басейнах річок - територіальній одиниці, що продукує сукупність природних ресурсів під впливом сонячної енергії. Слов'янський етнос сформувався в басейнах річок, які впадають в Чорне, Балтійське та Азовське моря. Наші пращури наділяли річки сакральним значенням, що оспівано в багатьох легендах та міфах. Згідно з міфами, Чорне море – це останнє видіння перед переходом у царство Аїда - підземне царство мертвих. Вхід у те царство знаходиться приблизно в зоні Керченського мосту. На території дніпровських плавнів знаходилась Гілея – підлеглий Ольвії простір, де було святилище Матері богів Гекати. Тут Геракл зустрічався з Єхидною, щоб започаткувати рід скіфів. На Тендрівській косі поблизу Херсона стояв храм Ахілла, який став оселею для душ героїв. В козацькі часи грецька Гілея стає Великим Лугом. На острові Зміїний за легендами колись стояв храм Ахілла – покровителя Ольвії. Іфігенея в Тавриді – світовий сюжет, що розгортається на землях тавроскіфів у Криму, а в літературі й музиці «подорожує» між Расіном і Генделем, Гете і Глюком, Лесею Українкою і Стеценком [1].

На місцях злиття річок, на перетині річкових долин з дорогами та залізничними шляхами виникали міста, як перевалочні пункти торгових шляхів: Київ, Белград, Гамбург, Париж, Клівленд, Буффало, Чикаго тощо. Найзначніші міста виникли на берегах великих річок: Париж - в долині Сени, багато міст зібрав на своїх берегах Рейн та Дунай, Київ було засновано на Дніпрі. Вчений, письменник, публіцист, етнограф, приятель молодих років Тараса Шевченка О.С. Афанасьєв-Чужбинський в своїй праці «Нариси Дніпра»

зазначає: «Головна торгова артерія, він (Дніпро) був постійно у центрі уваги; маєтки на його берегах купували найбагатші поміщики. На берегах Дніпра розташовані найкращі села» [2]. Більшість сіл на берегах Дніпра від Катеринослава до Чорного морі були заселені українцями, що після ліквідації Січі переселилися на Подніпров'я з Чернігівської і Полтавської губерній. Долина Дністра й Західного Бугу є найдавнішими ареалами заселення території Львівської області. Багато містечок виникли в долинах приток Дністра, Західного Бугу, в долині Сяну та його приток. Багато поселень, географічне положення яких визначає розміщення в заплавах та низьких терасах річок, мають лінійну конфігурацію [3].

Україна має 9 річкових басейнів: Дніпра, Дністра, Дунаю, Дону, Південного Бугу, Вісли, річок Криму, Причорномор'я, Приазов'я. Більшість річок знаходиться в басейнах Чорного та Азовського морів: у басейні Дніпра – 27,7 %, Дунаю – 26,3 %, Дністра – 23,7 %, Південного Бугу – 9,3 % [4]. У басейні Балтійського моря - лише 4,4 %. Майже половина загальної довжини всіх річок України припадає на басейни річок Дніпра та Дністра. Найбільша густота річкової мережі в Карпатах, найменша – у Херсонській області [5]. В басейні річки Дніпро утворилися великі міста з великою щільністю населення: в м. Кременчук щільність населення - 2392 осіб/км², в м. Дніпро - 2394 осіб/км², в м. Кам'янське - 1691 осіб/км², в м. Київ - 3516,93 осіб/км², в м. Черкаси - 4005 осіб/км², в м. Запоріжжя - 2145 осіб/км², в м. Нікополь - 2213 осіб/км², в м. Херсон - 1994 осіб/км². Середня щільність населення України становить 68,2 осіб/км² (на 2022 р) [6].

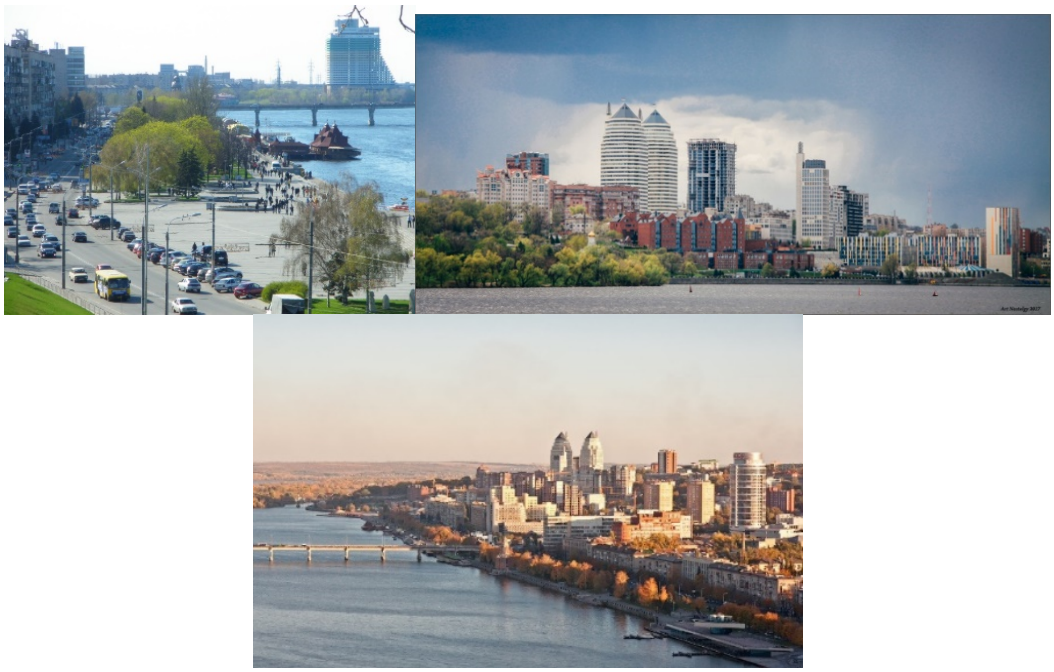
Стан проблеми. Займаючи достатньо невелику площу в містах - біля 5% всієї площі міста, прибережні території виступають центрами перетину логістичних, промислових, торгівельних зон, громадських просторів, зон відпочинку – тобто, є поліфункціональними, соціально активними територіями міста, місцями тяжіння населення. Найбільша концентрація населення міст та висока щільність сільського населення спостерігаються саме в прибережних районах, в долинах великих річок та на рівнинних територіях. Збереження річкових екосистем в містах шляхом містобудівного моделювання є однією з найактуальніших завдань сучасного етапу просторового планування задля покращення якості міського середовища та вдосконалення теоретичних засад міського планування.

Метою роботи є створення структурно-логічної моделі прибережного міста задля фахової організації міської прибережної території та збереження річкових екосистем в урбанізованому середовищі.

Попередні дослідження. Дослідженню природних особливостей та містобудівного навантаження на прибережні території річок в урбанізованому

середовищі було присвячено ряд наукових статей, а саме: «Акваторії Києва: втрати, здобутки та шляхи відродження» [7], «Річкові екосистеми України: природні особливості, проблеми трансформації та заходи з оздоровлення» [8], «Річкові екосистеми українських Карпат: природні особливості та містобудівна організація прибережних територій» [9], «Методи містобудівної організації та регенерації річкових екосистем Полісся» [10], «Практика використання води в містах» [11], «Річкові екосистеми Лісостепу й Степу: природні характеристики та особливості містобудівного освоєння» [12], «Сині лінії обмеження як засіб графічної фіксації меж водних об'єктів в містобудівній документації» [13], «Інженерне облаштування водоохоронних зон як першочерговий захід збереження водних об'єктів» [14], «Прибережна територія та прибережна зона: визначення, особливості, містобудівне освоєння» [15], «Генеза функціонально-планувальної структури дніпрової прибережної зони Подолу в Києві» [16], «Транспортна функція річок в містах» [17] тощо.

Основна частина. Річки з їх прибережними територіями – це місця-магніти, місця сили, які володіють тяжінням, неповторною аурою, потужним характером й потенціалом. Чим більшою є річка, тим сила тяжіння водної стихії є сильнішою. Цей природний ресурс формує відкритість портових міст в наслідок безперервного потоку новоприбулих пасажирів та вантажів, мальовничість прибережних міст, вишуканість та економічні успіхи прибережних столиць, креативність та затишну атмосферу курортних міст, загадкову магію заміських прибережних ландшафтів. Важливу роль публічних просторів відіграють набережні – Оболонська, Русанівська, Дніпровська в Києві, Січеславська набережна в Дніпрі (св.1-3) тощо [3].



Світлини 1-3. Січеславська набережна в місті Дніпро

Річки є домінантою, що визначає архітектурно-планувальну структуру міста. Транспортною, рекреаційною, інженерно-комунікаційною артерією із загальним колектором для каналізаційної, водогінної, теплової та газової мереж міста Дніпро та презентативним міським фасадом протяжністю 27 км є Січеславська набережна вздовж річки Дніпро, яка забезпечила зростання міста у просторі [18].

Комфортна та безпечна прибережна зона збагачує міську тканину (відкриті простори, панорамність), об'єднує мешканців (соціалізація), сприяє гуманізації міського середовища (екологічність). Через мости набережна стає спільним простором для мешканців різних частин міста. Підсилена зеленими насадженнями прибережна зона створює природний оазис в урбанізованому середовищі, тому є популярним місцем відпочинку містян. Прибережні території з облаштованими набережними, розвиненою інфраструктурою, зручними елементами благоустрою стають обличчям міста, його презентацією, зоною громадської забудови, що залучають мешканців до активного соціального життя в містах.

Виконуючи важливі функції для життя міста, річки та їхні прибережні території зазнають потужного антропогенного навантаження, що вкрай негативно впливає на стан річкової екосистеми. Забезпечення охоронної зони водного об'єкту, організація благоустрою прибережної території, як громадського простору та його інтеграція в міську тканину є важливою задачею просторового планування. Містобудівним інструментом для цього має стати структурно-логічна модель прибережного міста (таблиця 1), що включатиме складові - таблиці 2-7.

Таблиця 1

Структурно-логічна модель прибережного міста

характеристика прибережного міста	характеристика річкової екосистеми	архітектурно-планувальна структура прибережної території міста	функціонально-планувальна структура прибережної території міста	економічні фактори річки	річково-транспортні споруди
таблиця 2	таблиця 3	таблиця 4	таблиця 5	таблиця 6	таблиця 7

Таблиця 2

Характеристика прибережного міста

Назва міста, країна	Площа міста, км²	Кількість населення, осіб	Щільність населення, осіб/км²	Містоутворююча база	Річкова екосистема

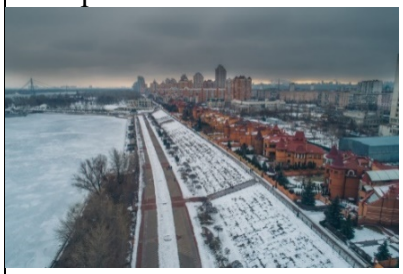
Таблиця 3

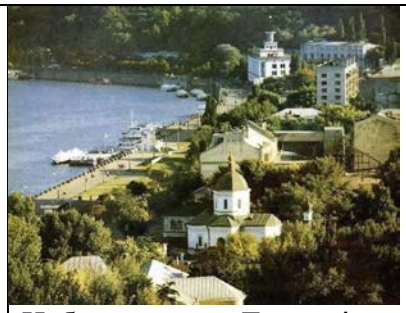
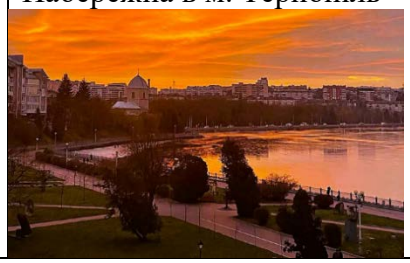
Характеристика річкової екосистеми

Фактори	Види
1	2
Басейн (карта)	площа басейну (водозбору) загальна/в Україні, км²; об'єм річкового стоку, км³; довжина загальна/ в межах України, км;
Притоки	Великі, середні, малі, км
Тип річки за кліматичною зоною	Поліські Розчленованих долин (рівнинні) Гірські
Розмір акваторії	За площею водозбору (згідно з додатком II п.1.2.1 Директиви Європейського Союзу), км²: • дуже великі > 10000 • великі 1000-10000 • середні 100-1000 • малі 10-100 • струмки < 10 За довжиною водотоку, км • великі >500 • середні 100-500 • малі 10-100 • дуже малі < 10
Географічний регіон/ тип річки, живлення	
Країна - % розташування території по річці	
Зарегулювання:	водосховища, ставки, канали
Навігаційна ділянка	місце відправлення - місце призначення
Клас водного шляху	I-III клас -регіонального значення, IV-VII клас – міжнародного значення

Таблиця 4

Архітектурно-планувальна структура прибережної території міста

Розпланування міста відносно річки:	Прибережна панорама:	Забудова прибережної території
•витягнуте, лінійно-смужкове вздовж річки; •пропорційно сформоване як вздовж річки, так і вглиб берегу; •компактно на прибережній території й витягнуте вглиб	•віддаленість: з короткими перспективами < 150 м, з середніми перспективами 150-400 м, з далекими перспективами-400-2500м, силуетна- 2500-5000м; • архітектурна виразність: наявність домінанти, наявність архітектурного ансамблю,	Оболонська та Дніпрова набережні в Києві 

території міста, або заміської території (вздовж залізниці); •розчленування міста річкою	багатоплановість; • відкритість: відкрита–проглядність≥60% напіввідкрита– проглядність 20-60%, закрита-проглядність≤ 20%; •пейзажна виразність: залісненість, унікальна мальовничість, водна панорама	 Набережна в м. Тернопіль 

Таблиця 5

Функціонально-планувальна структура прибережної території міста

Фактори	Зони закладів забудови/споруди
1.Сельбищна територія 1.1. Зона житлової забудови	Багатоповерхові будинки Приватна забудова Садибна забудова
	Підприємства торгівлі й громадського харчування
	Адміністративні
	Громадських і релігійних організацій
	Зелені насадження загального користування на набережних
2.Виробнича територія 2.1.Промислова зона	промпідприємства
	Риборозплідники
2.2.Підприємства зовнішнього транспорту	Річкові порти: - пасажирські райони -вантажні райони місцевих вантажів Причали незагального користування Річкові вокзали
2.3. підприємства інженерної інфраструктури	Водозабірні споруди, очисні споруди міської каналізації
	Гідроелектростанції
	Меліоративні канали
	Набережні, акведуки, мости, шлюзи, греблі
3.Ландшафтно-рекреаційна територія	зони короткочасного відпочинку-фізкультурно-оздоровчі споруди, підприємства побутового обслуговування; зони довготривалого відпочинку-заклади охорони здоров’я; Спортивний відпочинок- спортивні споруди Пізнавальний відпочинок-заклади культури, мистецтва Утилітарний відпочинок

Таблиця 6

Економічні фактори річки

Фактори				
судноплавство	гідроенергетичний потенціал	водокористування: водозабезпечення, сільське господарство, зрошення, житлово-комунальне господарство	рекреація	рибальство

Таблиця 7

Річково-транспортні споруди

Споруди	Види
Порти, пристані, причали	За призначенням: • вантажні • пасажирські • порти-сховища • карантинні • оборонні За розміщенням: • руслові • поза руслові • змішані За об'ємом робіт, за технічним оснащенням: • розрядні (1-7) • поза розрядні • зупиночні За характером діяльності: •причали промислових, продовольчих товарів •причали овочів, фруктів •причали будматеріалів -вантажні райони перевалочних вантажів -район нафтоналивних вантажів -райони вугля, бавовни, пилових будівельних матеріалів -рибний район -судоремонтні підприємства
Річкові вокзали	• берегові • плавучі (дебаркадери) • комбіновані
Засоби регулювання руху	• шлюзи • бакіни • навігаційні знаки
Транспортні вузли	• залізнично-річковий • автомобільно-річковий • контейнерний парк

Висновок. Річкові долини та береги річок здавна були й залишаються найщільнішими територіями поселень. Річки задають вектор функціонально-планувальної й архітектурно-планувальної структури міста, впливають на характер суспільних відносин. Якість міського середовища впливає на самопочуття, настрій та світосприйняття людини: середовище з природними локаціями (річка, ставок, лісок тощо) надає людям візуальний та емоційний комфорт, природну енергію, радість підживлення силами природи. Щоб зберегти безцінні природні дари, життя в містах має базуватися на екологічних та моральних принципах. Організація прибережної зони вимагає спільної роботи науковців, містобудівничих, екологів, міської влади, а також нових підходів, прийняття відповідних документів на законодавчому рівні, достатнього фінансування. Збереження та охорона існуючих водойм та зелених насаджень в міському середовищі є пріоритетом містобудівних завдань. Фахово організовані прибережні території є окрасою міської тканини. Структурно-логічна модель прибережного міста, як містобудівний інструмент, сприятиме покращенню якості міської тканини, охороні та збереженню річкових екосистем в урбанізованому середовищі.

Список використаних джерел

1. Ліна Костенко. Скіфська Одіссея: поема-балада.-К.:А-БА-БА-ГА-ЛА-МА-ГА, 2024. – 144с., с.132

2. Афанасьєв-Чужбинський О.С. Нариси Дніпра. / О.С.Афанасьєв-Чужбинський. - Львів: Апріорі, 2016. - 544 с.

3. Мережа міст України: динаміка та регіональні паттерни, С.104-105.

4. Вишневський В.І. Річки і водойми України. Стан і використання: монографія. - К.: Віпол, 2000. - 376 с.

5. Вишневський В.І., Овчаренко І.І. Блакитний скарб України. -К.: Інтерпрес ЛТД, 2019. - 112 с.

6. Населення України. https://uk.wikipedia.org/wiki/%D0%9D%D0%B0%D1%81%D0%B5%D0%BB%D0%B5%D0%BD%D0%BD%D1%8F_%D0%A3%D0%BA%D1%80%D0%B0%D1%97%D0%BD%D0%B8.

7. Дьомін М.М., Михайлик О.О. Акваторії Києва: втрати, здобутки та шляхи відродження. / Дьомін М.М., О.О. Михайлик // Містобудування та територіальне планування: наук.-техн. збірник. – К.: КНУБА, 2020. – Вип. 75. – С. 154-162.

8. Михайлик О.О. Річкові екосистеми України: природні особливості, проблеми трансформації та заходи з оздоровлення. / О.О. Михайлик // Сучасні

проблеми архітектури та містобудування: наук.-техн. збірник. – К.: КНУБА, 2021. – Вип. 61. – С.238-255.

9. Михайлик О.О. Річкові екосистеми українських Карпат: природні особливості та містобудівна організація прибережних територій./ О.О. Михайлик // Містобудування та територіальне планування: наук.-техн. збірник. – К.: КНУБА, 2022. – Вип. 81. – С. 263-273.

10. Михайлик О.О. Методи містобудівної організації та регенерації річкових екосистем Полісся. / О.О. Михайлик // Містобудування та територіальне планування: наук.-техн. збірник. – К.: КНУБА, 2022. – Вип. 80. – С. 295-305.

11. Михайлик О.О. Практика використання води в містах. / О.О. Михайлик // Просторовий розвиток: научн.-техн. збірник. – К.: КНУБА, 2023. – Вип. 2, С. 94-105.

12. Михайлик О.О. Річкові екосистеми Лісостепу й Степу: природні характеристики та особливості містобудівного освоєння/ О.О. Михайлик // Містобудування та територіальне планування: наук.-техн. збірник. – К.: КНУБА, 2023. – Вип. 83. – С. 200-210.

13. Дьомін М.М. Михайлик О.О. Сині лінії обмеження як засіб графічної фіксації меж водних об'єктів в містобудівній документації. / О.О. Михайлик // Просторовий розвиток: научн.-техн. збірник. – К.: КНУБА, 2022. - Вип.3, С. 56-62.

14. Михайлик О.О. Інженерне облаштування водоохоронних зон як першочерговий захід збереження водних об'єктів. / О.О. Михайлик // Просторовий розвиток: наук.-техн. збірник. – К.: КНУБА, 2023. - Вип. 4, С. 103-110

15. Михайлик О.О. Прибережна територія та прибережна зона: визначення, особливості, містобудівне освоєння. / О.О. Михайлик // Просторовий розвиток: наук.-техн. збірник. – К.: КНУБА, 2024. - Вип. 7, С. 251-263.

16. Михайлик О.О. Генеза функціонально-планувальної структури дніпрової прибережної зони Подолу в Києві/ О.О. Михайлик // Просторовий розвиток: наук.-техн. збірник. – К.: КНУБА, 2024. - Вип. 9, С. 209-211.

17. Михайлик О.О. Транспортна функція річок в містах. / О.О. Михайлик // Просторовий розвиток: научн.-техн. збірник. – К.: КНУБА, 2024. - Вип. 10, С. 378-388.

18. Урбаністична Україна: в епіцентрі просторових змін: монографія / за ред. К. Мезенцева, Я. Олійника, Н. Мезенцевої. – Київ: Видавництво «Фенікс», 2017. – 438 с.

19. Климентов П.П. Общая гидрогеология: Учебник для гидрогеологических специальных учебных заведений. -4-е изд., перераб. и доп.- М.: Высш.школа, 1980. - 303 с., ил.

20.Леснов О.В. Застройка приречных территорий городов. Киев: Будівельник, 1977. 28 с.

Doctor of Architecture, Professor **Mykola Demin,**
candidate of science **Olha Mykhailyk,**
Kyiv National University of Construction and Architecture

STRUCTURAL AND LOGICAL MODEL OF A COASTAL CITY

River valleys and river banks have long been the densest areas of settlement. Rivers set the vector for the functional planning and architectural planning structure of the city, and influence the nature of social relations. The quality of the urban environment affects a person's well-being, mood, and worldview: an environment with natural locations (river, pond, forest, etc.) provides people with visual and emotional comfort, natural energy, and the joy of being nourished by the forces of nature. To preserve priceless natural gifts, urban life should be based on environmental and moral principles. The organization of the coastal zone requires the joint work of scientists, urban planners, ecologists, and city authorities, as well as new approaches, the adoption of relevant documents at the legislative level, and sufficient funding. Preserving and protecting existing water bodies and green spaces in the urban environment is a priority for urban planning. Professionally organized coastal areas are an adornment of the urban fabric. The coastal city model, as an urban planning tool, will help improve the quality of urban fabric, protect and preserve river ecosystems in the urbanized environment.

Occupying a fairly small area in cities - about 5% of the total city area - coastal areas are the centers of intersection of logistics, industrial, commercial zones, public spaces, and recreation areas, i.e., they are multifunctional, socially active areas of the city, places of attraction for the population. The largest concentration of urban population and high density of rural population are observed in coastal areas, in the valleys of large rivers and in flat areas. The preservation of river ecosystems in cities through urban planning modeling is one of the most urgent tasks of the current stage of spatial planning to improve the quality of the urban environment and improve the theoretical foundations of urban planning.

The importance of the river system in the formation of ethnic groups and in the foundation of cities is emphasized. Indicators of river ecosystems flowing through the

territory of Ukraine are given. The features and advantages of coastal areas in cities are noted. A structural and logical model of a coastal city has been created.

Key words: river basin; urban planning tool; structural and logical model; coastal city; city structure; coastal area.

REFERENCES

1. Lina Kostenko. Skifska Odisseia: poema-balada.-K.:A-BA-BA-HA-LA-MA-HA, 2024. – 144 s. S. 132{in Ukranian}

2. Afanasiev-Chuzhbynskyi O.S. Narysy Dnipra/O.S.Afanasiev-Chuzhbynskyi.- Lviv: Apriori, 2016.-544 s. {in Ukranian}

3. Merezha mist Ukrainy: dynamika ta rehionalni patterny, S.104-105. {in Ukranian}

4. Vyshnevskyi V.I. Richky i vodoimy Ukrainy. Stan i vykorystannia: monohrafiia. - K.: Vipol 2000. - 376 s. {in Ukranian}

5. Vyshnevskyi V.I., Ovcharenko I.I. Blakytnyi skarb Ukrainy. - K.: Interpres LTD, 2019.-112 s. {in Ukranian}

6. Naselennia Ukrainy. https://uk.wikipedia.org/wiki/%D0%9D%D0%B0%D1%81%D0%B5%D0%BB%D0%B5%D0%BD%D0%BD%D1%8F_%D0%A3%D0%BA%D1%80%D0%B0%D1%97%D0%BD%D0%B8. {in Ukranian}

7. Domin M.M. Mykhailyk O.O. Akvatorii Kyieva: vtraty, zdobutky ta shliakhy vidrodzhennia. / Domin M.M., O.O. Mykhailyk // Mistobuduvannia ta terytorialne planuvannia: nauk.-tekhn. zbirnyk. – K.: KNUBA, 2020. – Vyp. 75. – S. 154-162. {in Ukranian}

8. Mykhailyk O.O. Richkovi ekosystemy Ukrainy: pryrodni osoblyvosti, problemy transformatsii ta zakhody z ozdorovlennia. / O.O. Mykhailyk // Suchasni problemy arkhitektury ta mistobuduvannia: nauk.-tekhn. zbirnyk. – K.: KNUBA, 2021. – Vyp. 61. – S. 238-255. {in Ukranian}

9. Mykhailyk O.O. Richkovi ekosystemy ukrainskykh Karpat: pryrodni osoblyvosti ta mistobudivna orhanizatsiia pryberezhnykh terytorii./ O.O.Mykhailyk // Mistobuduvannia ta terytorialne planuvannia: nauk.-tekhn. zbirnyk. – K.: KNUBA, 2022. – Vyp. 81. – S. 263-273. {in Ukranian}

10. Mykhailyk O.O. Metody mistobudivnoi orhanizatsii ta reheneratsii richkovykh ekosystem Polissia. / O.O. Mykhailyk // Mistobuduvannia ta terytorialne planuvannia: nauk.-tekhn. zbirnyk. – K.: KNUBA, 2022. – Vyp. 80. – S. 295-305. {in Ukranian}

11. Mykhailyk O.O. Praktyka vykorystannia vody v mistakh. / O.O. Mykhailyk // Prostorovyi rozvytok: nauchn.-tekhn. zbirnyk. – K.: KNUBA, 2023. – Vyp. 2, S. 94-105. {in Ukranian}

12. Mykhailyk O.O. Richkovi ekosystemy Lisostepu y Stepu: pryrodni kharakterystyky ta osoblyvosti mistobudivnoho osvoiennia/ O.O. Mykhailyk // Mistobuduvannia ta terytorialne planuvannia: nauk.-tekhn. zbirnyk. – K.: KNUBA, 2023. – Vyp. 83. – S. 200-210. {in Ukranian}

13. Domin M.M., Mykhailyk O.O. Syni linii obmezhennia yak zasib hrafichnoi fiksatsii mezh vodnykh obiektiv v mistobudivnii dokumentatsii. / O.O. Mykhailyk // Prostorovyi rozvytok: nauk.-tekhn. zbirnyk. – K.: KNUBA, 2022. - Vyp. 3, S. 56-62. {in Ukranian}

14. Mykhailyk O.O. Inzhenerne oblashtuvannia vodookhoronnykh zon yak pershocherhovyi zakhid zberezhennia vodnykh obiektiv. / O.O. Mykhailyk // Prostorovyi rozvytok: nauk.-tekhn. zbirnyk. – K.: KNUBA, 2023. - Vyp. 4, S. 103-110. {in Ukranian}

15. Mykhailyk O.O. Pryberezhna terytoriia ta pryberezhna zona: vyznachennia, osoblyvosti, mistobudivne osvoiennia. / O.O. Mykhailyk // Prostorovyi rozvytok: nauchn.-tekhn. zbirnyk. – K.: KNUBA, 2024. - Vyp. 7, S. 251-263. {in Ukranian}

16. Mykhailyk O.O. Heneza funktsionalno-planuvalnoi struktury dniprovoi pryberezhnoi zony Podolu v Kyievi/ O.O. Mykhailyk // Prostorovyi rozvytok: nauchn.-tekhn. zbirnyk. – K.: KNUBA, 2024. - Vyp. 9, S. 209-211. {in Ukranian}

17. Mykhailyk O.O. Transportna funktsiia richok v mistakh. / O.O. Mykhailyk // Prostorovyi rozvytok: nauk.-tekhn. zbirnyk. – K.: KNUBA, 2024. - Vyp.10, S. 378-388. {in Ukranian}

18. Urbanistychna Ukraina: v epitsentri prostorovykh zmin: monohrafiia / za red. K. Mezentseva, Ya. Oliinyka, N. Mezentsevoi. – Kyiv: Vydavnytstvo «Feniks», 2017. – 438 s. {in Ukranian}

19. Klymentov P.P. Obshchaia hydroheolohyia: Uchebnyk dlia hydroheolohycheskykh spetsyalnыkh uchebnыkh zavedenyi. - 4-e yzd., pererab. y dop. - M.: Vыssh.shkola, 1980. -303 s., yl. {in Russian}

20. Lesnov O.V. Zastroika pryrechnыkh terrytoryi horodov. Kyev: Budivelnyk, 1977. 28 s. {in Russian}.

DOI: 10.32347/2786-7269.2025.11.265-281
УДК 691.11 (620.17)

Бітюков Д.О.,
bitiukov.do@gmail.com, ORCID: 0009-0002-1438-7595,
доктор техн. наук, професор **Білик С.І.,**
vartist@ukr.net, ORCID: 0000-0001-8783-5892,
Київський національний університет будівництва і архітектури

ВИЗНАЧЕННЯ ТА АНАЛІЗ ФІЗИКО-МЕХАНІЧНИХ ХАРАКТЕРИСТИК БАЛОК З МАСИВНОЇ, КЛЕЄНОЇ ТА ПЕРЕХРЕСНО-КЛЕЄНОЇ ДЕРЕВИНИ

Представлені комплексні експериментальні дослідження деформаційних характеристик трьох видів дерев'яних конструкційних матеріалів: масивної, клеєної та перехресно-клеєної деревини. Основна мета дослідження полягала в оцінці механічних властивостей, ефективності та поведінки цих матеріалів. Експериментальний підхід включав аналіз залежностей між зусиллям і прогином, розраховано модифіковані модулі деформації (модулі деформації з урахуванням модулів зсуву), а також побудовано експериментальні графіки деформацій та модулів деформацій досліджуваних екземплярів. Визначено перехідні коефіцієнти між досліджуємими типами деревини. Цей аналіз забезпечив чітке розуміння механічних реакцій кожного типу матеріалу під дією навантажень. Отримані результати вказують на знижену деформаційну стійкість перехресно-клеєної деревини порівняно із масивною та клеєною деревиною вздовж волокон. Клеєна деревина показала співвідносні результати із масивною деревиною. Кожен матеріал демонструє унікальні переваги, що підкреслює їх придатність для конкретних конструкційних застосувань на основі навантажень і експлуатаційних вимог. Рекомендується провести подальші дослідження, щоб оцінити поведінку цих матеріалів за різних факторів навколишнього середовища, вплив зміни кількості шарів ламелей клеєної та перехресно-клеєної деревини. Такі дослідження дозволять глибше зрозуміти довговічність і експлуатаційні характеристики дерев'яних матеріалів у різноманітних будівельних контекстах і розширять їх застосування в інноваційних архітектурних та інженерних рішеннях.

Ключові слова: масивна деревина; клеєна деревина; перехресно-клеєна деревина; модуль деформації; модуль зсуву; зусилля-прогин; будівельні матеріали; механічна стійкість.

Постановка проблеми. Деревина є важливим будівельним матеріалом, який широко використовується завдяки своїм унікальним властивостям:

екологічності, доступності, естетичній привабливості та високому співвідношенню міцності до ваги [1]. Натомість згідно з працями [2,3] у сучасному будівництві зростає потреба у матеріалах, здатних забезпечувати високу надійність та довговічність у складних умовах експлуатації. Що в свою чергу стимулює розвиток нових технологій обробки деревини, таких як виготовлення клеєних та перехресно-клеєних дерев'яних елементів.

Проте на сьогодні існує необхідність глибшого дослідження поведінки різних типів дерев'яних конструкцій. Зокрема особливу увагу у дослідників привертає питання порівняння деформаційних характеристик масивної, клеєної та перехресно-клеєної деревини для визначення їх ефективності в реальних умовах експлуатації.

Актуальність необхідності проведення вище зазначених досліджень обумовлена розвитком сучасного будівництва, яке вимагає надійних, екологічних і економічно ефективних матеріалів, а також необхідністю створення універсальних моделей для прогнозування поведінки дерев'яних конструкцій у процесі проектування.

У даній роботі акцент зроблено на експериментальних дослідженнях трьох типів дерев'яних балок – з масивної, клеєної та перехресно-клеєної деревини. Проведено аналіз залежностей зусилля/прогин, розраховано модулі деформації з урахуванням модулів зсуву, а також визначено перехідні коефіцієнти між різними типами деревини. Отримані результати плануються використовуватисти при аналізі наступних досліджень та у аналітичних розрахунках.

Таким чином, робота є актуальною як з наукової, так і з практичної точки зору, оскільки спрямована на покращення розуміння механічної поведінки сучасних дерев'яних матеріалів та їх раціонального використання у будівництві.

Аналіз досліджень. Аналіз фахових джерел по піднятому в данній статті питанню показує значні досягнення в дослідженнях механіки деревини та дерев'яних конструкцій, зокрема у вивченні їх міцності, деформацій та поведінки під різними навантаженнями. Зокрема у монографії Гомон С.С. (2019) [1] розглянуто напружено-деформований стан елементів з деревини при одноразових і повторних навантаженнях, розроблено деформаційну методику розрахунку таких елементів. Дослідження є фундаментальним у визначенні основних параметрів деформації дерев'яних конструкцій, але потребує уточнення для складних комбінованих навантажень.

В праці [2] запропоновано рекомендації щодо розрахунку несучої здатності дерев'яних балок під поперечним згином з використанням деформаційної моделі. Вдосконалено підхід до прогнозування міцності, але

необхідні експериментальні дослідження з більшою варіативністю геометрії балок.

Результатами роботи [3] вказано на необхідність впровадження деформаційної моделі в розрахунок дерев'яних конструкцій для підвищення точності прогнозування їх міцності. Дослідження підкреслює перспективність моделі, але бракує даних щодо впливу вологісних і температурних факторів.

В науковій праці Поліщук М.В. (2022) [4] висвітлені дослідження напружено-деформованого стану клеєних дерев'яних елементів із комбінованим армуванням. Виявлено підвищення міцності при застосуванні армування, але необхідно додатково вивчити довговічність таких конструкцій під циклічними навантаженнями.

У роботі Сасовського Т.А. (2016) [5] досліджено напружено-деформований стан балок із клеєної деревини за малоциклових навантажень. Результати є важливими для оцінки поведінки таких балок, але потребують розширення на інші типи деревини.

В дисертації Сурмай М.І. (2015) [6] розглянуто міцності дощатоклеєних балок, армованих склопластиковою і базальтовою арматурою. Дослідження показало ефективність армування, але відсутній аналіз поведінки під комбінованими навантаженнями.

Внутрішнє армування клеєних балок низької якості деревини за допомогою GFRP-листів досліджено у праці [7]. Підтверджено покращення механічних характеристик, однак вплив довготривалих навантажень залишився недослідженим.

У статті [8] вивчено розташування нейтральної осі в дерев'яних балках. Запропоновано базові аналітичні методи, але відсутній розширений аналіз для конструкцій із комбінованими матеріалами.

Радіальне та тангенціальне згинання хвойних і твердих порід деревини під статичними та динамічними навантаженнями порівняно і висвітлено у статті [9]. Дослідження є актуальним, але не охоплює поведінку під впливом короткочасних ударних навантажень.

Поведінку дерев'яних колон із поздовжніми тріщинами, підсилених CFRP-листами досліджено у праці [10]. Ефективність підсилення підтверджена, але потребує уточнення методологія для інших типів дефектів.

У статті [11] запропоновано механічну модель деформації клітинної стінки деревини. Модель корисна для теоретичних досліджень, однак її практична апробація для структурних конструкцій обмежена.

Вивчено статично-згинальні властивості деревини із поверхневим підсиленням асиметричними волокнами вивчено у роботі [12]. Підсилення виявилося ефективним, але потребує перевірки за різних умов навантаження.

Результатами роботи [13] визначено модуль пружності термічно обробленої деревини методом ультразвуку та резонансу. Методи є перспективними, але потребують адаптації для складних конструктивних елементів.

Поведінку CLT-панелей із деревини евкаліпта під короткостроковими навантаженнями досліджено у статті [14]. Результати є інноваційними, але необхідний детальний аналіз взаємодії між шарами панелей.

В праці [15] розроблено методи розрахунку напружень і деформацій при сушінні деревини розроблено. Методологія є важливою для початкової обробки матеріалу, але обмежена щодо конструкційних застосувань.

Із проведеного аналізу фахових джерел видно, що більшість сучасних робіт зосереджена на вдосконаленні методів розрахунку напружено-деформованого стану дерев'яних елементів, зокрема клеєних та армованих, для підвищення точності прогнозування їх міцності. Однак існують обмеження, пов'язані з недостатнім дослідженням впливу довготривалих навантажень, температури, вологості та нестандартних умов експлуатації [16-27]. Для більш комплексних умов навантаження необхідні додаткові експериментальні дослідження, а також розширення застосування методів на інші види деревини та комбіновані матеріали. Таким чином зазначенні роботи формують значну базу знань, але подальші дослідження мають враховувати різноманітність дерев'яних матеріалів, дії складних навантажень та довготривалих впливів.

Виклад основного матеріалу дослідження. Мета проведення експерементальних досліджень полягає в аналізі деформаційних характеристик дерев'яних конструкцій з порівнянням ефективності різних типів деревини (масивної, клеєної та перехресно-клеєної) в умовах експлуатації.

Виконання поставленої мети передбачає вирішення наступних завдань:

1. Проведення експериментальних досліджень трьох типів дерев'яних балок (масивних, клеєних та перехресно-клеєних);
2. Аналіз залежностей між зусиллям та прогином, а також визначення модифікованих модулів деформації (модулів деформації з урахуванням модулів зсуву) для кожного типу деревини;
3. Побудова експериментальних графіків, що описують залежності прогину балок в залежності від прикладеного навантаження;
4. Визначення перехідних коефіцієнтів між досліджуємими типами деревини.

Під час експериментальних досліджень дерев'яні балки були випробовані на лабораторному стенді у горизонтальному положенні за схемою однопрольотної балки з лівою нерухомою та правою рухомою опорами (рис.1).

Навантаження здійснювалося за допомогою механічного домкрата через механічний динамометр стиснення ДОСМ-3 (динамометр ДОСМ-3 працює за принципом визначення сили за величиною деформації силового пружного елемента, показання сили відраховуються за індикатором, який закріплений на підставі) та прикладалось до верхньої грані елемента по середині прольоту. Навантажування відбувалось у 5 етапів на кожному з яких крок навантаження зменшувався приблизно в 2 рази.

Прогин балки по середині прольоту вимірювався індикатором годинникового типу ИЧ-10 (діапазон вимірювання 0-10 мм, ціна поділки 0,01 мм).

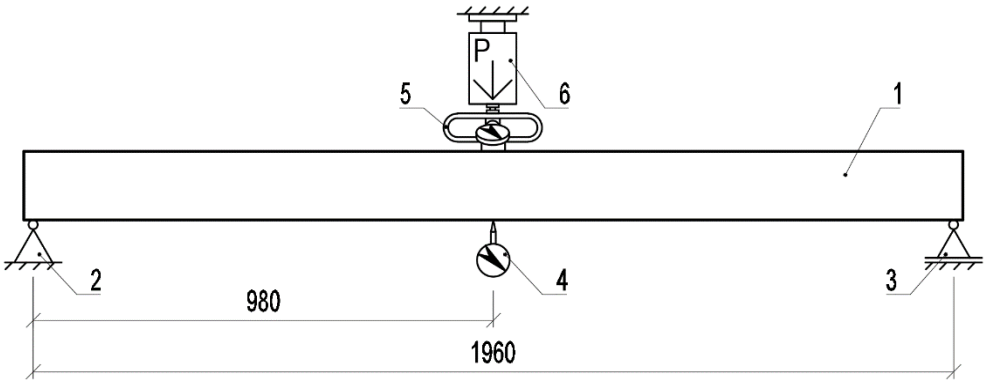


Рис. 1. Схема розміщення елементів випробувальної установки: 1 - балка; 2 - шарнірно-нерухома опора; 3 - шарнірно-рухома опора; 4 - індикатор; 5 - динамометр; 6 - домкрат.

Загалом було проведено серію з трьох експериментальних досліджень для балки кожного типу деревини. За результатами проведених досліджень були побудовані експериментальні графіки залежностей прогинів балок та модифікованих модулів деформації від навантаження.

Досліджували три типи деревини: масивну, клеєну та перехресно-клеєну. Загалом було проведено дев’ять експерементальних досліджень. Усі балки вопроблялись з соснового брусу, який виготовлявся з однакової деревини та зберігався в однакових умовах.

На першому етапі дослідження було забезпечено збір даних експерименту, який включав такі параметри: навантаження (P, кН), прогин (δ, мм). Після цього виконано очищення даних, перевірено їх на наявність пропущених значень, аномалій або помилкових записів. Для зручності подальшого аналізу дані були структуровані у вигляді таблиць із чітким позначенням етапів навантаження.

Методи обробки експериментальних даних:

1. Аналіз навантаження-прогин:

- побудова залежності між зусиллям (P) і прогином (δ) для кожного типу деревини (масивна, клеєна, перехресно-клеєна).

- визначення нелінійних змін у характеристиках при підвищенні навантаження.

2. Розрахунок модуля деформації:

Згідно ДБН В.2.6.-161:2017 [28] маємо:

- прогин від згину у середині прольоту при зосередженому навантаженні у середині прольоту шарнірно обпертої балки δ_f:

$$\delta_f = \frac{P}{4E_0 b}\left(\frac{l_{ef}}{h}\right)^3 \quad (1)$$

- підвищувальний коефіцієнт при зсуві k_G:

$$k_G = 1 + 1.2\frac{E_0}{G_0}\left(\frac{h}{l_{ef}}\right) \quad (2)$$

де: P – навантаження (кН); l_{ef} – розрахунковий проліт (мм); b - ширина елемента (мм); h - вистота елемента (мм); E_0 - модуль деформації вздовж влокон (кН/мм^2); G_0 - модуль зсуву вздовж влокон (кН/мм^2).

Повний прогин δ з урахуванням впливу зсуву визначається добутком прогину від згину δ_f на підвищувальний коефіцієнт при зсуві k_G:

$$\delta = \delta_f \cdot k_G \quad (3)$$

$$\delta = \frac{P}{4E_0 b}\left(\frac{l_{ef}}{h}\right)^3 \cdot k_G \quad (4)$$

Модуль деформації E_0 визначаємо з рівняння (4):

$$E_0 = \frac{1}{\delta}\cdot\frac{P}{4b}\left(\frac{l_{ef}}{h}\right)^3 \cdot k \quad (5)$$

3. Врахування зсуву:

Врахування зсуву передбачало визначення модифікованого модулю деформації E^*, що враховує зсув балки:

$$E^* = \frac{E_0}{k_G} \quad (6)$$

$$E^* = \frac{1}{\delta}\cdot\frac{P}{4b}\left(\frac{l_{ef}}{h}\right)^3 \quad (7)$$

4. Визначення перхідних коефіцієнтів:

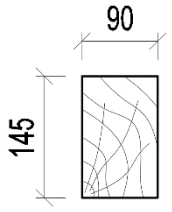
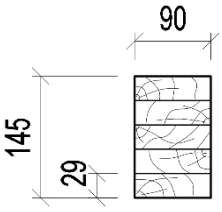
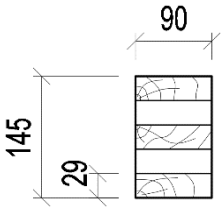
Усереднений перехідний коефіцієнт k_δ визначається відношенням прогина балки з одного типу деревини δ_i до прогина балки з іншого типу деревини δ_j (i та j – різні типи деревини).

$$k_\delta = \frac{\delta_i}{\delta_j} \quad (8)$$

Вихідні данні для дослідження наведено в табл. 1.

Таблиця 1

Вихідні данні дослідження

Масивна	Клеэна	Перехресно-клеэна
		

Розрахунковий проліт	l_{ef}	1960	мм
Вистота елемента	h	145	мм
Ширина елемента	b	90	мм
Відносна вологість матеріала	RH	7	%
Момент інерції перерізу	I	$2.286 \cdot 10^{-5}$	$м^4$
Момент опору перерізу	W	$3.154 \cdot 10^{-4}$	$м^3$

В табл.2. наведено середні значення результатів дослідження дерев'яних балок з масивної деревини.

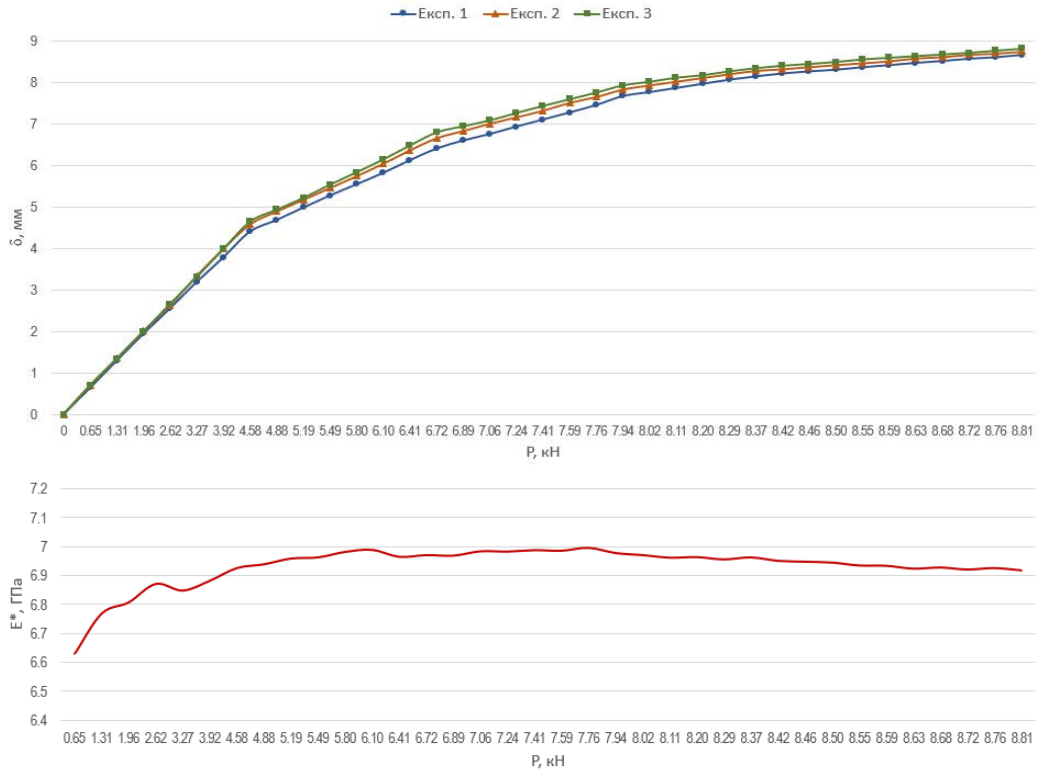
Таблиця 2

Результати дослідження дерев'яних балок з масивної деревини

№	$\boldsymbol{P}$, кН	$\boldsymbol{\delta}$, мм	$\boldsymbol{E}^*$, ГПа	№	$\boldsymbol{P}$, кН	$\boldsymbol{\delta}$, мм	$\boldsymbol{E}^*$, ГПа
1	0.65	0.68	6.627	19	7.59	7.46	6.985
2	1.31	1.33	6.767	20	7.76	7.62	6.995
3	1.96	1.98	6.806	21	7.94	7.81	6.977
4	2.62	2.61	6.870	22	8.02	7.90	6.970
5	3.27	3.28	6.847	23	8.11	8.00	6.961
6	3.92	3.92	6.881	24	8.20	8.08	6.963
7	4.58	4.54	6.925	25	8.29	8.17	6.955
8	4.88	4.83	6.938	26	8.37	8.25	6.962
9	5.19	5.12	6.958	27	8.42	8.31	6.950
10	5.49	5.42	6.962	28	8.46	8.36	6.947
11	5.80	5.70	6.981	29	8.50	8.40	6.944
12	6.10	6.00	6.988	30	8.55	8.46	6.934
13	6.41	6.32	6.964	31	8.59	8.50	6.933
14	6.72	6.61	6.970	32	8.63	8.56	6.923
15	6.89	6.79	6.968	33	8.68	8.60	6.927
16	7.06	6.94	6.983	34	8.72	8.65	6.920
17	7.24	7.12	6.982	35	8.76	8.68	6.925
18	7.41	7.28	6.987	36	8.81	8.74	6.917

Аналіз даних (табл.2). показує, що під час навантаження до розрахункового значення масивна деревина зберігає свої основні фізико-механічні властивості, що говорить про її довговічність та придатність для тривалого використання.

Масивна деревина демонструє високу механічну стійкість та поступовість у зміні параметрів під впливом навантажень. Стабільність значень модифікованого модуля деформації (рис.2) вказує на те, що матеріал має достатньо рівномірний розподіл напружень по своїй структурі, що запобігає локальним деформаціям, що особливо важливо для будівельних конструкцій, де недопустимі різкі прогини чи руйнування.



а)

б)

Рис. 2. Результати дослідження дерев'яних балок з масивноної деревини:
а) Залежності між зусиллям P і прогином δ;
б) Середнє значення модифікованого модулю деформації E^*.

В табл.3. наведено середні значення результатів дослідження дерев'яних балок з клеєної деревини.

Таблиця 3

Результати дослідження дерев'яних балок з клеєної деревини

№	P, кН	δ, мм	E^*, ГПа	№	P, кН	δ, мм	E^*, ГПа
1	**2**	**3**	**4**	**5**	**6**	**7**	**8**
1	0.65	0.74	6.055	19	7.59	7.82	6.659
2	1.31	1.43	6.286	20	7.76	8.02	6.639

1	**2**	**3**	**4**	**5**	**6**	**7**	**8**
3	1.96	2.10	6.407	21	7.94	8.18	6.658
4	2.62	2.73	6.577	22	8.02	8.29	6.645
5	3.27	3.34	6.729	23	8.11	8.39	6.630
6	3.92	4.03	6.685	24	8.20	8.50	6.616
7	4.58	4.70	6.681	25	8.29	8.61	6.606
8	4.88	4.98	6.731	26	8.37	8.70	6.600
9	5.19	5.28	6.749	27	8.42	8.75	6.598
10	5.49	5.63	6.700	28	8.46	8.81	6.588
11	5.80	5.96	6.675	29	8.50	8.86	6.583
12	6.10	6.28	6.675	30	8.55	8.91	6.583
13	6.41	6.62	6.642	31	8.59	8.97	6.572
14	6.72	6.92	6.661	32	8.63	9.02	6.566
15	6.89	7.13	6.630	33	8.68	9.07	6.565
16	7.06	7.31	6.633	34	8.72	9.12	6.561
17	7.24	7.51	6.619	35	8.76	9.17	6.559
18	7.41	7.66	6.639	36	8.81	9.23	6.547

Дослідження клеєних балок під навантаженням вказує на їхню підвищену деформативність, але здатність протидіяти прогинам при значних навантаженнях зберігається. Збільшення прогину у порівнянні із масивною деревиною може бути результатом перерванням волокон у зоні клеєвих з'єднань та деформації зсуву по клеєвому з'єднанню що потребує більш детальних досліджень. Балка з клеєної деревини є суцільним композитним метеріалом що працює як єдиний елемент але зі збільненими деформативними характеристиками. Додаткові деформації зсуву перерізів відбуваються по висоті балки за лінійними законами. Модифікований модуль деформації демонструє стабільність навіть при зростанні навантаження. Клеєна деревина ефективно витримує навантаження (рис.3).

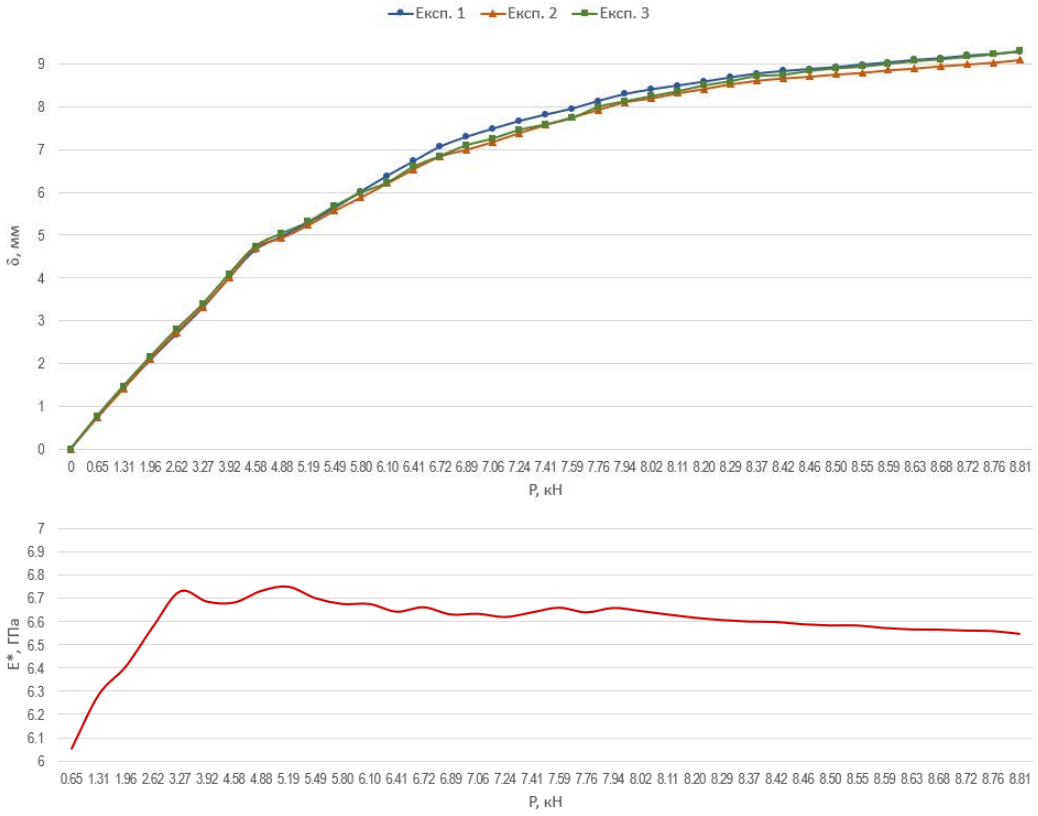
В табл.4. наведено середні значення результатів дослідження дерев'яних балок з перехресно-клеєної деревини.

Таблиця 4

Результати дослідження дерев'яних балок з перехресно-клеєної деревини

№	$\boldsymbol{P}$, кН	$\boldsymbol{\delta}$, мм	$\boldsymbol{E}^*$, ГПа	№	$\boldsymbol{P}$, кН	$\boldsymbol{\delta}$, мм	$\boldsymbol{E}^*$, ГПа
1	**2**	**3**	**4**	**5**	**6**	**7**	**8**
1	0.65	0.93	4.830	16	6.32	8.08	5.367
2	1.31	1.74	5.155	17	6.41	8.21	5.359
3	1.96	2.56	5.263	18	6.50	8.32	5.360
4	2.62	3.37	5.335	19	6.58	8.43	5.360

1	2	3	4	5	6	7	8
5	3.27	4.20	5.343	20	6.67	8.54	5.358
6	3.92	5.01	5.371	21	6.76	8.64	5.367
7	4.23	5.42	5.358	22	6.80	8.72	5.351
8	4.53	5.81	5.356	23	6.85	8.80	5.341
9	4.84	6.19	5.364	24	6.89	8.85	5.341
10	5.15	6.58	5.366	25	6.93	8.91	5.339
11	5.45	6.97	5.364	26	6.98	8.97	5.336
12	5.63	7.19	5.368	27	7.02	9.03	5.338
13	5.80	7.41	5.373	28	7.06	9.08	5.338
14	5.97	7.64	5.365	29	7.11	9.14	5.337
15	6.15	7.86	5.367				

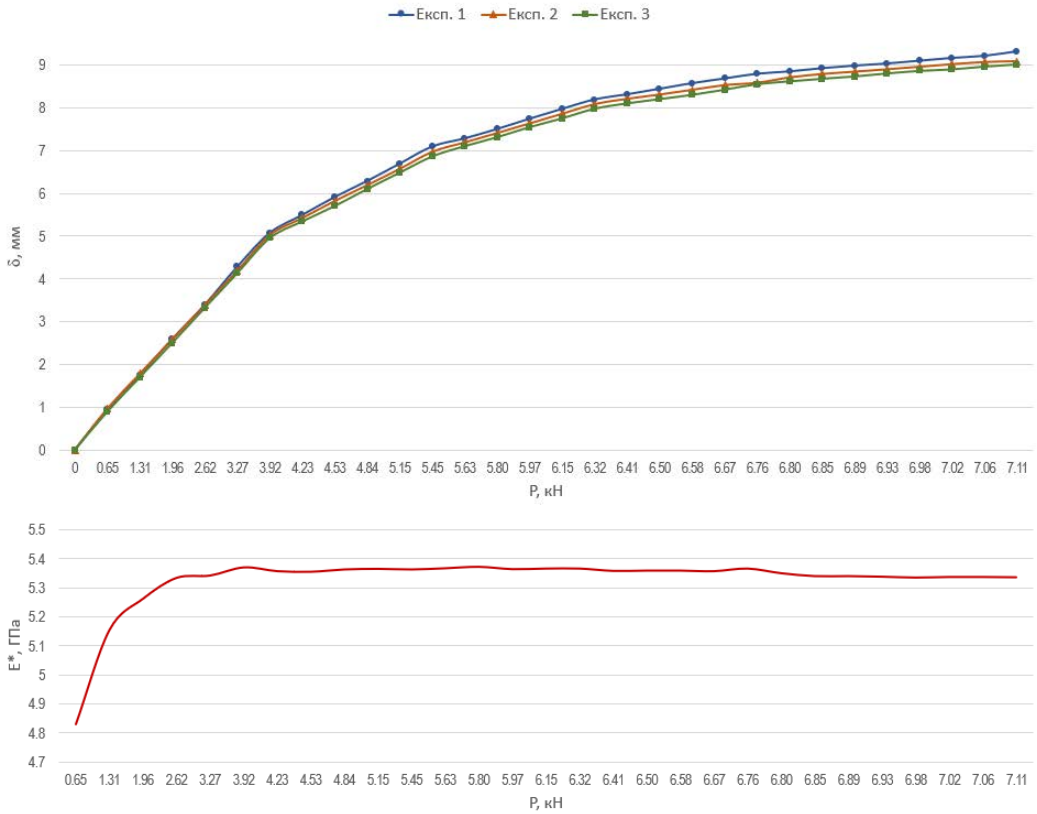


а)

б)

Рис. 3. Результати дослідження дерев'яних балок з клеєної деревини:
а) Залежності між зусиллям P і прогином δ;
б) Середнє значення модифікованого модулю деформації E^*.

Як бачимо з табл.4. балкам із перехресно клеєної деревини властива більша деформаційність та суттєво знижений модифікований модуль деформації порівняно з масивною та клеєною деревиною (рис.4, табл. 5).



а)

б)

Рис. 4. Результати дослідження дерев'яних балок з перехресно-клеєної деревини: а) Залежності між зусиллям P і прогином δ;
б) Середнє значення модифікованого модулю деформації E^*.

Таке зниження характеристик обумовлено тим що деревина у частині шарів повернута на 90°, тобто розміщена у її слабкому мапрямку. Як бачимо з рис.3. прогини залишаються помірними.

Використовуючи рівняння 8 та на основі експерементальних даних табл.2, табл.3 і табл.4 визначені усереднені перехідні коефіцієнти пари деревини та коефіцієнти наведені у табл.5.

Таблиця 5

Перехідні коефіцієнти

Типи деревини	Перехідні коефіцієнти	
Масивна – клеєна	$k_{\delta,m\text{-}gl}$	0.952
Масивна – перехресно-клеєна	$k_{\delta,m\text{-}clt}$	0.769
Клеєна – перехресно-клеєна	$k_{\delta,gl\text{-}clt}$	0.805

Висновок. Проведені експерементальні випробування балок з трьох типів деревини: масивної, клеєної та перехресно-клеєної що виготовлені з деревини сосни місцевого походження для визначення їх деформаційних характеристик (прогину, модифікованого модуля деформації). Проведено по три виміри для кожного типу.

Визначено що клеєна та перехресно-клеєна деревина мають знижені жорсткосні характеристики перерізу (EI) у порівнянні із масивною. Очікувано що перехресно-клеєна деревина має найнижчі показники серед досліджуємих матеріалів, але предбачається що такий матеріал буде мати збільшені характерстики у поперечному напрямку.

За результатами експерементів отримані наступні середні значення модифікованих модулей деформації: $E^*_{mean,m} = 6.930$ ГПа, $E^*_{mean,gl} = 6.599$ ГПа, $E^*_{mean,clt} = 5.527$ ГПа. Визначені прехідні коефіцієнти між досліджуваними типами деревини: $k_{\delta,m-gl} = 0.952$, $k_{\delta,m-clt} = 0.769$, $k_{\delta,m-gl} = 0.805$. Отримані дані добре корелюються із нормативними даними [28].

Подальші дослідження можливо вести у напрямку визначення і порівняння впливу на результати досліджень кількості шарів ламелей для клеєної та перехресно-клеєної деревини, дослідження інших порід деревини, вплив недосконалостей деревини (сучків, тріщин, тощо), вплив кліматичних факторів (вологість, температура, ультрафіолетове випромінювання), можливість і доцільність використання при різних типах навантаження (динамічне довготривале, динамічне короткотривале).

Визначені фізико-механічні характеристики досліджуваних екземплярів планується використовувати у наступних дослідженнях та розрахунках балок при складному навантаженні.

Література:

1. Гомон С.С. (2019). Напружено-деформований стан і розрахунок за деформаційною методикою елементів з деревини при одноразових та повторних навантаженнях: монографія Рівне: Волинські обереги. 288 с.

2. Гомон С.С., Бабич Є.М., Павлюк А.П. (2019). Розрахунок несучої здатності дерев'яних балок за поперечного згину з використанням деформаційної моделі. Рекомендації Рівне: НУВГП. 28 с.

3. Гомон С.С., Гомон П.С., Гомон С.С., Пугач Ю.В., (2024). Щодо необхідності використання деформаційної моделі в розрахунку дерев'яних конструкцій. Ресурсоекономні матеріали, конструкції, будівлі та споруди, (46), 175–191. https://doi.org/10.31713/budres.v0i46.21

4. Поліщук М.В. (2022). Напружено-деформований стан згинальних елементів з клеєної деревини з комбінованим армуванням: дис. докт. філософії. 192"Будівництво та цивільна інженерія" Рівне: НУВГП. 168с.

5. Сасовський Т.А. (2016). Напружено-деформований стан балок із клеєної деревини за дії малоциклових навантажень: дис. канд. техн. наук: 05.23.01 (200 с.). Рівне.

6. Сурмай М.І. (2015). Міцність та деформативність дощатоклеєних балок армованих склопластиковою та базальтовою арматурою: дис. канд. техн. наук: 05.23.01 Львів. 185 с..

7. Basterra L.A., Balmori J.A., Morillas L., Acuña L., Casado M. (2017). Internal reinforcement of laminated duo beams of low-grade timber with GFRP sheets. Construction and Building Materials, 154, 914–920.

8. Betts S.C., Miller T.H., Gupta R. (2010). Location of the neutral axis in wood beams: A preliminary study. Wood Material Science and Engineering, 5(3-4), 173–180. https://doi.org/10.1080/17480272.2010.500060.

9. Borůvka V., Novák D., Šedivka P. (2020). Comparison and analysis of radial and tangential bending of softwood and hardwood at static and dynamic loading. Forests, 11(8), 896. https://doi.org/10.3390/f11080896.

10. Cai Y.J., Zhang W., Zhang W.P. (2012). Experimental study on eccentric compression behavior of timber columns with longitudinal cracks strengthened by CFRP sheets. Advanced Materials Research, 446-449, 3132–3136. https://doi.org/10.4028/www.scientific.net/amr.446-449.3132.

11. Fratzl P., Burgert I., Keckes J. (2004). Mechanical model for the deformation of the wood cell wall. International Journal of Materials Research, 95(7), 579–584. https://doi.org/10.1515/ijmr-2004-0112.

12. Guo X., Zhou F., Deng S., Dong C. (2023). Study on the static-bending properties of surface-reinforced wood with asymmetric fibers. Forests, 14(12), 2454. https://doi.org/10.3390/f14122454.

13. Holeček T., Gašparík M., Lagaňa R., Borůvka V., Oberhofnerová E. (2016). Measuring the modulus of elasticity of thermally treated spruce wood using the ultrasound and resonance methods. BioResources, 12(1). https://doi.org/10.15376/biores.12.1.819-838.

14. Kurata Y. (2020). A comparison of the loading direction for bending strength with different wood measurement surfaces using near-infrared spectroscopy. Forests, 11(6), 644. https://doi.org/10.3390/f11060644.

15. Liang Y., Taoum A., Kotlarewski N., Chan A., Holloway D. (2023). Behavior of Cross-Laminated Timber Panels Made from Fibre-Managed Eucalyptus nitens under Short-Term Serviceability Loads. Buildings, 13(1), 245. https://doi.org/10.3390/buildings13010245.

16. Oberhofnerová E., Arnetová K., Holeček T., Borůvka V., Bomba J. (2016). Determination of correlation between destructive and nondestructive test methods applied on modified wood exposed to natural weathering. BioResources, 11(2). https://doi.org/10.15376/biores.11.2.5155-5168.

17. Perre P., Passard J. (1995). A Control-Volume procedure compared with the Finite-Element method for calculating Stress and Strain during Wood Drying. Drying Technology, 13(3), 635–660. https://doi.org/10.1080/07373939508916978

18. Rajczyk M., Jończyk D. (2019). Behavior of glulam beams strengthened with BFRP bars. Materials Science and Engineering, 603.

19. Rescalvo F.J., Valverde-Palacios I., Suarez E., Gallego, A. (2018). Experimental and analytical analysis for bending load capacity of old timber beams with defects when reinforced with carbon fiber strips. Composite Structures, 186, 29–38.

20. Romanov P.G., Sivtsev P.V. (2021). Deformation features of cross-glued wooden panel structures for northern construction. IOP Conference Series: Earth and Environmental Science, 625, 012018. https://doi.org/10.1088/1755-1315/625/1/012018.

21. Scherer G.W. (2018). Stress and strain during supercritical drying. Journal of Sol-Gel Science and Technology, 90(1), 8–19. https://doi.org/10.1007/s10971-018-4808-6.

22. Sockalingam S., Casem D., Weerasooriya T., McDaniel P., Gillespie J. (2017). Experimental investigation of the high strain rate transverse compression behavior of ballistic single fibers. Journal of Dynamic Behavior of Materials, 3(3), 474–484. https://doi.org/10.1007/s40870-017-0126-2.

23. Yahyaei-Moayyed M., Taheri F. (2011). Experimental and computational investigations into creep response of AFRP reinforced timber beams. Composite Structures, 93, 616–628.

24. Yamaguchi K., Otsubo M., Motomura Y., Marumo Y., Shiozaki H., Kawase T. (2006). Deformation characteristics of wood structures under compression. Materials Science Forum, 505-507, 1051–1056. https://doi.org/10.4028/www.scientific.net/msf.505-507.105.1.

25. Yin Q., Liu H.-H. (2021). Drying stress and strain of wood: A review. Applied Sciences, 11(11), 5023. https://doi.org/10.3390/app11115023.

26. Zheng X., Li Z., He M., Lam F. (2021). Experimental investigation on the rheological behavior of timber in longitudinal and transverse compression. Construction and Building Materials, 304, 124633. https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2021.124633.

27. Zhou A., Bian Y., Shen Y., Huang D., Zhou M. (2017). Inelastic bending performances of laminated bamboo beams: Experimental investigation and analytical study. BioResources, 13(1). https://doi.org/10.15376/biores.13.1.131-146.

28. ДБН В.2.6-161:2017. Конструкції будинків і споруд. Дерев'яні конструкції. Основні положення Київ: Мінрегіонбуд України, 2017. 111 с.

Post-graduate student **Bitiukov Dmytro,**
D.Sc. (Technology), Professor **Bilyk Serhii,**
Kyiv National University of Construction and Architecture

DETERMINATION AND ANALYSIS OF PHYSICAL AND MECHANICAL PROPERTIES OF SOLID, GLUED LAMINATED AND CROSS-LAMINATED TIMBER BEAMS

The article presents comprehensive experimental studies of the deformative characteristics of three types of wood structural materials: solid, glulam and cross-laminated timber. The main objective of the study was to assess the mechanical properties, efficiency and behavior of these materials. The experimental approach included an analysis of the relationships between force and deflection, calculated modified deformation moduli (deformation moduli taking into account shear moduli), and constructed experimental graphs of deformations and deformation moduli of the studied specimens. Transition coefficients between the studied wood types were determined. This analysis provided a clear understanding of the mechanical responses of each type of material under load. The results obtained indicate a reduced deformation resistance of cross-laminated timber compared to solid and glulam timber along the fibers. Glulam showed comparable results to solid timber. Each material demonstrates unique advantages, which emphasizes their suitability for specific structural applications based on loads and operational requirements. Further research is recommended to assess the behavior of these materials under different environmental conditions, the effect of varying the number of layers of glulam and cross-laminated timber. Such research will provide a deeper understanding of the

durability and performance of wood-based materials in various construction contexts and expand their applications in innovative architectural and engineering solutions.

Keywords: massive timber; glued laminated timber; cross-laminated timber; elasticity modulus; shear modulus; force-deflection; construction materials; mechanical resistance.

REFERENCES

1. Homon S.S. (2019). Napruzheno-deformovanyi stan i rozrakhunok za deformatsiinoiu metodykoiu elementiv z derevyny pry odnorazovykh ta povtornykh navantazhenniakh: monohrafiia Rivne: Volynski oberehy. 288 p. {in Ukrainian}

2. Homon S.S., Babych Ye.M., Pavliuk A.P. (2019). Rozrakhunok nesuchoi zdatnosti derevianykh balok za poperechnoho zghynu z vykorystanniam deformatsiinoi modeli. Rekomendatsii Rivne: NUVHP. 28 p. {in Ukrainian}

3. Homon S.S., Homon P.S., Homon S.S., Puhach Yu.V., (2024). Shchodo neobkhidnosti vykorystannia deformatsiinoi modeli v rozrakhunku derevianykh konstruktsii. Resursoekonomni materialy, konstruktsii, budivli ta sporudy, (46), 175–191. https://doi.org/10.31713/budres.v0i46.21. {in Ukrainian}

4. Polishchuk M.V. (2022). Napruzheno-deformovanyi stan zghynalnykh elementiv z kleienoi derevyny z kombinovanym armuvanniam: dys. dokt. filosofii. 192"Budivnytstvo ta tsyvilna inzheneriia" Rivne: NUVHP. 168p. {in Ukrainian}

5. Sasovskyi T.A. (2016). Napruzheno-deformovanyi stan balok iz kleienoi derevyny za dii malotsyklovykh navantazhen: dys. kand. tekhn. nauk: 05.23.01 (200 p.). Rivne. {in Ukrainian}

6. Surmai M.I. (2015). Mitsnist ta deformatyvnist doshchatokleienykh balok armovanykh skloplastykovoiu ta bazaltovoiu armaturoiu: dys. kand. tekhn. nauk: 05.23.01 Lviv. 185 p. {in Ukrainian}

7. Basterra L.A., Balmori J.A., Morillas L., Acuña L., Casado M. (2017). Internal reinforcement of laminated duo beams of low-grade timber with GFRP sheets. Construction and Building Materials, 154, 914–920. {in English}

8. Betts S.C., Miller T.H., Gupta R. (2010). Location of the neutral axis in wood beams: A preliminary study. Wood Material Science and Engineering, 5(3-4), 173–180. https://doi.org/10.1080/17480272.2010.500060 {in English}

9. Borůvka V., Novák D., Šedivka P. (2020). Comparison and analysis of radial and tangential bending of softwood and hardwood at static and dynamic loading. Forests, 11(8), 896. https://doi.org/10.3390/f11080896 {in English}

10. Cai Y.J., Zhang W., Zhang W.P. (2012). Experimental study on eccentric compression behavior of timber columns with longitudinal cracks strengthened by CFRP sheets. Advanced Materials Research, 446-449, 3132–3136. https://doi.org/10.4028/www.scientific.net/amr.446-449.3132 {in English}

11. Fratzl P., Burgert I., Keckes J. (2004). Mechanical model for the deformation of the wood cell wall. International Journal of Materials Research, 95(7), 579–584. https://doi.org/10.1515/ijmr-2004-0112 {in English}

12. Guo X., Zhou F., Deng S., Dong C. (2023). Study on the static-bending properties of surface-reinforced wood with asymmetric fibers. Forests, 14(12), 2454. https://doi.org/10.3390/f14122454 {in English}

13. Holeček T., Gašparík M., Lagaňa R., Borůvka V., Oberhofnerová E. (2016). Measuring the modulus of elasticity of thermally treated spruce wood using the ultrasound and resonance methods. BioResources, 12(1). https://doi.org/10.15376/biores.12.1.819-838 {in English}

14. Kurata Y. (2020). A comparison of the loading direction for bending strength with different wood measurement surfaces using near-infrared spectroscopy. Forests, 11(6), 644. https://doi.org/10.3390/f11060644 {in English}

15. Liang Y., Taoum A., Kotlarewski N., Chan A., Holloway D. (2023). Behavior of Cross-Laminated Timber Panels Made from Fibre-Managed Eucalyptus nitens under Short-Term Serviceability Loads. Buildings, 13(1), 245. https://doi.org/10.3390/buildings13010245 {in English}

16. Oberhofnerová E., Arnetová K., Holeček T., Borůvka V., Bomba J. (2016). Determination of correlation between destructive and nondestructive test methods applied on modified wood exposed to natural weathering. BioResources, 11(2). https://doi.org/10.15376/biores.11.2.5155-5168 {in English}

17. Perre P., Passard J. (1995). A Control-Volume procedure compared with the Finite-Element method for calculating Stress and Strain during Wood Drying. Drying Technology, 13(3), 635–660. https://doi.org/10.1080/07373939508916978 {in English}

18. Rajczyk M., Jończyk D. (2019). Behavior of glulam beams strengthened with BFRP bars. Materials Science and Engineering, 603. {in English}

19. Rescalvo F.J., Valverde-Palacios I., Suarez E., Gallego, A. (2018). Experimental and analytical analysis for bending load capacity of old timber beams with defects when reinforced with carbon fiber strips. Composite Structures, 186, 29–38. {in English}

20. Romanov P.G., Sivtsev P.V. (2021). Deformation features of cross-glued wooden panel structures for northern construction. IOP Conference Series: Earth and Environmental Science, 625, 012018. https://doi.org/10.1088/1755-1315/625/1/012018 {in English}

21. Scherer G.W. (2018). Stress and strain during supercritical drying. Journal of Sol-Gel Science and Technology, 90(1), 8–19. https://doi.org/10.1007/s10971-018-4808-6 {in English}

22. Sockalingam S., Casem D., Weerasooriya T., McDaniel P., Gillespie J. (2017). Experimental investigation of the high strain rate transverse compression behavior of ballistic single fibers. Journal of Dynamic Behavior of Materials, 3(3), 474–484. https://doi.org/10.1007/s40870-017-0126-2 {in English}

23. Yahyaei-Moayyed M., Taheri F. (2011). Experimental and computational investigations into creep response of AFRP reinforced timber beams. Composite Structures, 93, 616–628. {in English}

24. Yamaguchi K., Otsubo M., Motomura Y., Marumo Y., Shiozaki H., Kawase T. (2006). Deformation characteristics of wood structures under compression. Materials Science Forum, 505-507, 1051–1056. https://doi.org/10.4028/www.scientific.net/msf.505-507.1051 {in English}

25. Yin Q., Liu H.-H. (2021). Drying stress and strain of wood: A review. Applied Sciences, 11(11), 5023. https://doi.org/10.3390/app11115023 {in English}

26. Zheng X., Li Z., He M., Lam F. (2021). Experimental investigation on the rheological behavior of timber in longitudinal and transverse compression. Construction and Building Materials, 304, 124633. https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2021.124633 {in English}

27. Zhou A., Bian Y., Shen Y., Huang D., Zhou M. (2017). Inelastic bending performances of laminated bamboo beams: Experimental investigation and analytical study. BioResources, 13(1). https://doi.org/10.15376/biores.13.1.131-146. {in English}

28. DBN V.2.6-161:2017. Konstruktsii budynkiv i sporud. Dereviani konstruktsii. Osnovni polozhennia Kyiv: Minrehionbud Ukrainy, 2017. 111 p. {in Ukrainian}

DOI: 10.32347/2786-7269.2025.11.282-302
УДК 624.014 (688.775.3)

к.т.н., доцент **Білик А.С.**,
artem.bilyk@gmail.com, ORCID: 0000-0002-9219-920X,
Джанов Л.В., angeldl@ukr.net, ORCID: 0000-0001-5144-3424,
Терновий М.І., maxbox007@gmail.com, ORCID: 0009-0003-7586-7872,
Київський національний університет будівництва і архітектури

ВИЗНАЧЕННЯ ОПТИМАЛЬНОЇ ВИСОТИ СТАЛЕВИХ ДВОТАВРІВ ЗМІННОГО ПЕРЕРІЗУ ЗА МЕТОДИКОЮ МНОЖНИКІВ ЛАГРАНЖА

Проведені аналітичні дослідження вибору оптимальної висоти сталевих балок із змінною висотою стінки і полиці по довжині конструкції. Дослідження проведені за методикою множників Лагранжа з урахуванням умов Куна-Такера для визначення достатніх умов пошуку сідловидної точки. Задача сформульована як задача нелінійного математичного програмування. Прийнято, що товщина стінки незмінна по довжині балки. Отримані аналітичні формули для визначення раціональної висоти балки в поточному перерізі за умовами міцності. Отримані аналітичні співвідношення площі і стінки для формування оптимального перерізу та загальної форми балкової конструкції. Наведено приклад пошуку раціональної форми консольної сталевих балок із змінною шириною полиць і стінки завантажену на вільному кінці зосередженою силою. Наведено приклад використання методики для балок постійного перерізу. Підтверджено, що достатніми умовами оптимальності двотаврової балки є рівність площі полиць площі стінки. Такий результат співпадає з дослідженнями інших авторів, що вказує на достовірність отриманих аналітичних досліджень. Також аналогічні дослідження проведені для ідеальних двотаврів з постійною і змінною висотою перерізу. Що важливо для досліджень оптимальної висоти балок із гофрованою стінкою та досліджень наскрізних конструкцій. Результати проведених досліджень використовують під час варіантного проєктування та для початкових даних при використання інших методик оптимального проектування.

Ключові слова: моделювання; металеві конструкції; сталеві двотаврові балки змінного перерізу; ідеальний двотавр оптимальна висота; цільова функція; умови Куна-Такера; методи множників Лагранжа .

Постановка проблеми. Під час розрахунку сталевих балок двотаврового перерізу при прольотах та при різних навантаженнях, виникає можливість за рахунок зміни перерізу по довжині сталевої двотаврової конструкції

знаходити оптимальне рішення конструкції. Вирішення таких задач важливе на всіх етапах проєктування. На етапі варіантного проектування це суттєво скорочує час і витрати на пошук раціональної конструкції. При збільшених навантаженнях зміна перерізу двотаврових конструкції по довжині прольоту дає особливий економічний ефект, який зростає під час використання високоміцних сталей. Тому задача пошуку оптимальної конструкції із сталевого двотавра, яка працює на згин є важливою науково-технічною проблемою. Особливо важливим є проведення досліджень з позиції удосконалення методологічного апарату, визначення можливостей використання оптимальних конструкцій із змінною висотою стінки та змінною шириною полиць, а також із змінною товщиною стінки.

Фундаментальними роботами вибору оптимальних конструкції двотаврового перерізу при статичному навантаженні є роботи [1,15,25,26,36], які включають і історичні аспекти розвитку теорії і методів оптимального проектування і сучасні підходи та проблеми.

Методологія досліджень оптимальних параметрів сталевих балок постійного перерізу багато років базувалась на вирішенні елементарної задачі пошуку оптимальної висоти із двотавровим так і замкнутим перерізом [1,6, 9,14,15]. Такий підхід був розповсюджений і для пошуку раціоанальних комбінованих шпренгельних конструкцій сталевих ферм покриттів із використанням в поясах балкових профілів перерізом [6, 9,10,11,29]. Такий підхід давав і достатні результати при пошуку оптимальної висоти двотаврів з гофрованою стінкою [13], а також балок постійного перерізу з урахуванням розвитку обмежених пластичних деформацій [6]. Модифікація вибору оптимального рішення за пошуком екстремумів цільової функції був застосований і для визначення оптимальної геометрії розмірів балок рам із змінною висотою стінки з постійним перерізом полиць при пружні роботі сталі [5,8], а також при розвитку обмежених пластичних деформацій [7]. Узагальнена задача пошуку оптимальних параметрів балок постійного перерізу з використанням метода Куна-Такера приведена у фундаментальній роботі [12].

Удосконалення методів вибору оптимального рішення сталевих конструкцій з урахуванням дискретності сортаменту привело до появи нових напрямків розвитку методологій з обмеженнями у вигляді алгортимчіних функцій із створенням роя сталевих конструктивних форм за праметрами сортаменту [2]. Отримали суттєвих розвиток градієнтні методи першого порядку, що малочутливі до початкового проекту та кількості обмежень у формі додаткових рівнянь на основі генетичних алгоритмів та їх модифікації для вирішення задач багатомірної безумовної оптимізації балкових систем так і стрижневих конструкцій [35,36,38, 40].

Новим напрямком оптимального проектування балкових і стрижневих будівельних систем стало удосконалення методики оптимального проектування з урахування динамічних та імпульсних навантажень і, відповідно, врахування динамічних властивостей самої конструктивної системи [3,24,30,31,34,39].

Нові навантаження та розрахунок сталевих конструкцій рам і стрижневих конструкцій на живучість та дію температур [5,17,19,20,21,22,23 27,33,37] формулюють задачі із створення сталевих балкових елементів змінного перерізу з урахуванням зміни товщини стінок і ширини полиць з метою зменшення витрат сталі і зменшення витрат на вогнезахист із збереженням надійності довготривалої експлуатації.

Складність вирішення задач оптимального проектування балок змінного перерізу пов'язана з необхідністю врахування складного напружено-деформованого стану і врахування можливої втрати стійкості пласкої форми згину [18, 29, 32, 33, 41,42]. Такі задачі вирішуються градієнтними методами та їх модифікаціями [29, 32, 33]. Також розвивається підхід за яким на першому етапі оптимального проектування використовується методологію множників Лагранжа із умови плавності функцій зміни сортаменту , а на другому етапі розрахунок виконується методом скінчених елементів [29, 33]. Це пояснюється із можливою не випуклістю (пологістю) області множини можливих рішень, наявністю мультимодальністю, дискретною зміною шуканих параметрів, складністю запису аналітичних рівнянь апроксимації конструктивних, технологічних, економічних та експлуатаційних вимог [3,5].

Для варіантного проектування залишаються необхідність розвитку і розповсюдження методології множників Лагранжа, як одна з ефективних методик [1,4,12,25,32,33,36] на вибір оптимальних реконструктивних рішень балок змінного перерізу із змінною висотою стінки і полиць.

Виклад основного матеріалу дослідження. Розглянута балка двотаврового перерізу складена з верхньої та нижньої полиці, які між собою з'єднані стінкою. В подальшому позначено розміри двотаврового ригеля $h_z = h_0(1-\gamma_h z/l_b)$ – висота ригеля змінного перерізу, $b_{f,z} = b_{f,0}(1-\gamma_b z/l_b)$ – ширина полиці ригеля змінного пернерізу, l_b– прогін балки. Гнучкість стінки $\lambda_\omega \approx h_0/t_\omega$, умовна гнучкість стінки $\overline{\lambda}_{u\omega} \geq \overline{\lambda}_\omega \approx \lambda_\omega\sqrt{\frac{R_y}{E}}$. Локальна стійкість полиць і стінки прийнята забезпеченою.

Площа полиць така: $2A_{f,z} = 2b_{f,z}t_f$ і товщини стінки t_w, тоді можна маса балки змінного перерізу буде (2.1). $2A_f h_o + t_w h_o = A_b$. Приймається Задача оптимізації є пошук мінімальної маси балки змінного перерізу.

$$m_{b,z} = 2\rho l_0\left(\frac{A_{f,0}+A_{f,n}}{2}\right)+\rho l_0\left(\frac{A_{w,0}+A_{w,n}}{2}\right)=2\rho l_0\left(\frac{A_{f,0}+A_{f,n}}{2}\right)+\rho l_0\left(\frac{h_{w,0}+h_{w,n}}{2}\right)t_w.$$

$$A_{f,zk}=\left(\frac{A_{f,0}+A_{f,n}}{2}\right);\qquad h_{w,zk}=\left(\frac{h_{w,0}+h_{w,n}}{2}\right)$$

$$m_{b,z} = 2\rho l_0 A_{f,zk}+\rho l_0 h_{w,zk}t_w$$

$$h_z = h_0(1-\gamma_h\frac{z}{l_b})\to z=l_b\to h_{z=l_b}=h_n\to\gamma_h=(1-\frac{h_n}{h_0}).$$

$$b_{f,z} = b_{f,0}(1-\gamma_h\frac{z}{l_b})\to z=l_b\to b_{f,z=l_b}=b_{f,n}\to\gamma_h=(1-\frac{b_{f,n}}{b_{f,0}}).$$

$$A_{f,z} = t_f b_{f,0}(1-\gamma_b\frac{z}{l_b})$$

$$A_{w,z} = t_w b_{f,0}(1-\gamma_h\frac{z}{l_b})$$

(1)

Геометричні характеристики перерізу разом з формулами (2.1) дають взаємозалежність розмірів полиць і стінки двотавра з висотою перерізу. А також залежність зміни по довжині.

$$I_{x,0}=2\frac{A_{f,0}h_0^2}{4}+\frac{t_w h_0^3}{12}=\frac{A_{f,0}h_0^2}{2}\left(1+\frac{t_w h_0}{6A_{f,0}}\right);$$

$$W_{x,0}=\frac{2I_{x,0}}{h_0}=A_{f,0}h_0+\frac{t_w h_0^2}{6}=A_{f,0}h_0\left(1+\frac{t_w h_0}{6A_{f,0}}\right).$$

$$I_{x,z}=2\frac{A_{f,z}h_z^2}{4}+\frac{t_w h_z^3}{12}=\frac{A_{f,z}h_z^2}{2}\left(1+\frac{t_w h_z}{6A_{f,z}}\right).$$

$$W_{x,z}=\frac{2I_{x,z}}{h_z}=A_{f,z}h_z+\frac{t_w h_z^2}{6}=A_{f,z}h_z\left(1+\frac{t_w h_z}{6A_{f,z}}\right).$$

(2)

Задача оптимального проектування сталевих балок змінного перерізу є задача нелінійного математичного програмування (2.3), [1]. Цільова функція мінімальної маси витрат сталі (2.3) об'єднує всі геометричні параметри перерізу балки , та їх зміну по довжині (2.1,2.2).

$$m_{b,z} = 2\rho l_0 A_{f,k}+\rho l_0 h_{w,k}t_w\to\min$$

(3)

В якості обмежень прийняті обмеження за міцністю.

$$u_1\left(h_z, t_{w,z}, A_{f,z}\right) = \frac{M_{x,z} h_k}{2I_{x,z}} - R_y \gamma_c \geq 0.$$

$$u_2\left(h_z, t_{w,z}, A_{f,k}\right) \frac{Q_z}{t_{w,z} h_z} - R_s \gamma_c \geq 0.$$

$$t_{w,z} = \frac{h_0}{\lambda_{w0}} \left(\frac{h_0}{h_z}\right)^m \rightarrow u_2\left(h_z, t_{w,z}, A_{f,k}\right) \frac{Q_z}{t_{w,z} h_z} - R_s \gamma_c \geq 0.$$

$$A_{f,z} \geq 0.$$

$$I_{x,z} - I_{x,d} \geq 0$$

(4)

Прийнятті умови опуклості цільової функції (3). Цільова функція (3), дає можливість знайти точку глобального мінімума (сідловидну точку) на основі плавного порівняння варіантів. Це досягається тим, що відходять від дискретності сортаменту товщини листів і раціоналізації розкрою листа з позицій мінімізації відходів. Приймаються умови плавної зміни геометричні розмірів сталевої балки, а отримані товщині висоти листів будуть виготовлені.

Сформована задача нелинейного математического програмування (3, 4) описується в просторі змінних h_z , A_z , $t_{w,z}$ та обмежувальними функціями у вигляді нерівностей (4). Перша нерівність обмеження за міцністю кожного перерізу при згинанні по довжині балки, друга нерівність обмеження міцності на зріз стінки двотавра кожного перерізу по довжині балки. Останні дві умовами обмеження (4) є обмеження по жорсткості та приймається умова значення площі перерізу полиць позитивними.

Рівняння (5) називають рівняннями умова доповнюючої нежорсткості.

$$u_1\left(h_z, t_{w,z}, A_{f,z}\right) = \frac{M_{x,z} h_z}{2I_{x,z}} - R_y \gamma_c = 0. \qquad u_1\left(h_z, t_{w,z}, A_{f,z}\right) \frac{Q_z}{t_{w,z} h_z} - R_s \gamma_c = 0.$$

(5)

Складність вирішення задачі полягає в тому, що при зменшенні висоти перерізу поперечна сила може наростати, а площа перерізу зменшуватись, тому на першому етапі вирішується задача мінімізації перерізу двотаврів, коли приймається обмеження міцності стінки неактивною.

Найбільш прийнятим підходом для вирішення цих задач (2) є використання методу множників Лагранжа [4] з урахуванням обмежень (4). Дослідження виконані при умові, що стінка має постійну товщину.

$$t_w = t_{w,z} = \frac{h_0}{\lambda_{w0}}\left(\frac{h_0}{h_z}\right)^{m=0} = \frac{h_0}{\lambda_{w0}} = const \rightarrow$$

$$F(\lambda_m, A_{f,z}, h_z) = \lambda_{m1}\rho l_0\left(2A_{f,z} + t_w h_z\right) + \lambda_{m2} u_1\left(h_z, t_w, A_{f,z}\right).$$

$$F(\lambda_m, A_{f,z}, h_z) = \lambda_{m1}\rho l_0\left(2A_{f,z} + t_w h_z\right) + \lambda_{m2}\left[\frac{M_{x,z}h_z}{2\left(2\frac{A_{f,z}h_z^2}{4} + \frac{h_z^3}{12}\frac{h_0}{\lambda_{w0}}\right)} - R_y\gamma_c\right]. \quad (6)$$

За рішенням оптимізаційної задачі точки екстремума повинні задовольняти умовам Куна-Такера [4,12]. За результатами диференціювання рівнянь системи (7) з урахуванням (5) приходимо до рішення системи трьох алгебраїчних рівнянь (8) з трьома невідомими членами: h_z , A_z , λ_{m1} .

$$\begin{cases} \dfrac{\partial F(\lambda_{m1}, A_{f,zk}, h_{zk})}{\partial A_{f,z}} = \lambda_{m1}\dfrac{\partial m_{b,z}}{\partial A_{f,k}} + \lambda_{m2}\dfrac{\partial u_1\left(h_{zk}, A_{f,zk}\right)}{\partial A_{f,k}} = 0. \\ \dfrac{\partial F(\lambda_{m1}, A_{f,zk}, h_k)}{\partial h_z} = \lambda_{m1}\dfrac{\partial m_{b,z}}{\partial h_k} + \lambda_{m2}\dfrac{\partial u_2\left(h_{zk}, A_{f,zk}\right)}{\partial h_k} = 0. \\ \dfrac{\partial F(\lambda_{m1}, A_{f,zk}, h_{zk})}{\partial \lambda_{m1}} = \lambda_{m1}\dfrac{\partial m_{b,z}}{\partial \lambda_{m2}} + \lambda_{m2}\dfrac{\partial u_2\left(h_{zk}, A_{f,zk}\right)}{\partial \lambda_{m2}} = 0. \end{cases} \quad (7)$$

$$\begin{cases} \dfrac{\partial F(\lambda_{m1}, A_{f,zk}, h_{zk})}{\partial A_{f,zk}} = \lambda_{m1}\dfrac{\partial\left[\rho l_0\left(2A_{f,zk} + \frac{h_0}{\lambda_{w0}}h_{zk}\right)\right]}{\partial A_{f,zk}} + \lambda_{m2}\dfrac{\partial\left[\frac{M_{x,z}h_{zk}}{2\left(2\frac{A_{f,zk}h_{zk}^2}{4} + \frac{h_{zk}^3}{12}\frac{h_0}{\lambda_{w0}}\right)} - R_y\gamma_c\right]}{\partial A_{f,zk}} = 0. \\ \dfrac{\partial F(\lambda_{m1}, A_{f,zk}, h_z)}{\partial h_z} = \lambda_{m1}\dfrac{\partial\left[\rho l_0\left(2A_{f,zk} + \frac{h_0}{\lambda_{w0}}h_{zk}\right)\right]}{\partial h_z} + \lambda_{m2}\dfrac{\partial\left[\frac{M_{x,z}h_{zk}}{2\left(2\frac{A_{f,z}h_{zk}^2}{4} + \frac{t_w h_{zk}^3}{12}\frac{h_0}{\lambda_{w0}}\right)} - R_y\gamma_c\right]}{\partial h_{zk}} = 0. \\ \dfrac{\partial F(\lambda_{m1}, A_{f,zk}, h_{zk})}{\partial \lambda_{m2}} = \dfrac{\partial\left[\rho l_0\left(2A_{f,zk} + \frac{h_0}{\lambda_{w0}}h_{zk}\right)\right]}{\partial \lambda_{m2}} + \dfrac{\partial \lambda_{m2}}{\partial \lambda_{m2}}\left[\frac{M_{x,z}h_{zk}}{2\left(2\frac{A_{f,zk}h_{zk}^2}{4} + \frac{t_w h_{zk}^3}{12}\frac{h_0}{\lambda_{w0}}\right)} - R_y\gamma_c\right] = 0. \end{cases} \quad (8)$$

Далі перетворення приводять до системи двох нелінійних алгебраїчних рівнянь за рахунок отримання з першого рівняння співвідношення (10).

$$\begin{cases} 2\lambda_{m1}\rho l_0 - \lambda_{m2}\dfrac{M_{x,z}h_z}{\left(A_{f,z}h_z + \dfrac{h_z^2}{6}\dfrac{h_0}{\lambda_{w0}}\right)^2} = 0 \\ \lambda_{m1}\rho l_0 \dfrac{h_0}{\lambda_{w0}} + \lambda_{m2}\left[\dfrac{-M_{x,z}\left(A_{f,zk} + 2\dfrac{h_{zk}}{6}\dfrac{h_0}{\lambda_{w0}}\right)}{\left(A_{f,z}h_z + \dfrac{h_z^2}{6}\dfrac{h_0}{\lambda_{w0}}\right)^2}\right] = 0 \end{cases}. \quad (9)$$

$$\frac{M_{x,z}h_{zk}}{2\left(2\dfrac{A_{f,zk}h_{zk}^2}{4} + \dfrac{h_{zk}^3}{12}\dfrac{h_0}{\lambda_{w0}}\right)} = R_y\gamma_c \cdot \left[\frac{M_{x,z}}{\left(A_{f,z}h_z + \dfrac{h_z^2}{6}\dfrac{h_0}{\lambda_{w0}}\right)} - R_y\gamma_c\right] = 0 \quad (10)$$

Умови міцності (10) відносяться до умов доповнюючої нежорсткості.

Перших два рівнянь дають систему алгебраїчних рівнянь (2.10) з двома невідомими.

Тепер є відношення коефіцієнтів (11).

$$2\lambda_{m1}\rho l_0 = \lambda_{m2}\frac{M_{x,z}h_z}{\left(A_{f,z}h_z + \dfrac{h_z^2}{6}\dfrac{h_0}{\lambda_{w0}}\right)^2} \rightarrow \lambda_{m1}\rho l_0 = \lambda_{m2}\frac{M_{x,z}}{2\left(A_{f,z}h_z + \dfrac{h_z^2}{6}\dfrac{h_0}{\lambda_{w0}}\right)}\frac{h_z}{\left(A_{f,z}h_z + \dfrac{h_z^2}{6}\dfrac{h_0}{\lambda_{w0}}\right)}$$

$$\frac{M_{x,z}}{\left(A_{f,z} + \dfrac{h_z}{6}\dfrac{h_0}{\lambda_{w0}}\right)} \geq R_y\gamma_c \rightarrow \lambda_{m1} = \frac{\lambda_{m2}}{2\rho l_0}R_y\gamma_c\frac{h_z}{\left(A_{f,z}h_z + \dfrac{h_z^2}{6}\dfrac{h_0}{\lambda_{w0}}\right)}. \quad (11)$$

Умовний критерій необхідних умов оптимальності набуває вигляду при заміні в другому рівнянні (9) коефіцієнтів за відношенням (2.11).Скорочення і використання умов міцності дає таке рівняння критерію оптимальності. В теорії металевих конструкцій для попередніх розрахунках при варіантному проєктуванні прийнято виконувати заміну товщини стінки на залежність між висотою балки і гнучкістю стінки $\lambda_w = h_w / t_w$. Тепер оптимальна висота поточного перерізу двотавра змінного перерізу буде визначатися з урахуванням стійкості перерізу з максимальної висотою стінки.

$$h_{zk}^2 = 2\frac{M_{x,z}\lambda_{w0}\left(\frac{6A_{f,zk}\lambda_{w0}}{h_0 h_{zk}}+2\right)}{h_0 R_y \gamma_c \left(\frac{6A_{f,zk}\lambda_{w0}}{h_0 h_z}+1\right)}. \quad (12)$$

$$h_{zk} = \sqrt{2\frac{\left(\frac{A_{f,zk}\lambda_{w0}}{h_{zk}h_0}+\frac{1}{3}\right)}{\left(\frac{A_{f,zk}\lambda_{w0}}{h_{zk}h_0}+\frac{1}{6}\right)}}\sqrt{\frac{M_{x,z}\lambda_{w0}}{h_0 R_y \gamma_c}}. \quad (13)$$

$$h_{zk} = \sqrt{2\frac{\left(\frac{2A_{f,zk}\lambda_{w0}}{h_{zk}h_0}+\frac{2}{3}\right)}{\left(\frac{2A_{f,zk}\lambda_{w0}}{h_{zk}h_0}+\frac{1}{3}\right)}}\sqrt{\frac{M_{x,z}\lambda_{w0}}{h_0 R_y \gamma_c}} \quad (14)$$

Дослідження показали, що множина оптимальних рішень балок змінного перерізу може бути достатньо значною, так як залежить від відносної величини - співвідношення площі полок до площі стінки. Але також є достатня залежність від площі стінки. Товщина площі стінки вибирається із умов міцності, стійкості і зведених напружень, так як сприймає не тільки дотичні, а і нормальні напруження.

$$z=0 \to \lambda_{m1}\frac{\partial\left[\rho l_0\left(2A_{f,0}+\frac{h_0^2}{\lambda_{w0}}\right)\right]}{\partial A_{f,0}}+\lambda_{m2}\frac{\partial\left[\frac{M_{x,0}}{\left(A_{f,0}h_0+\frac{h_0^3}{6\lambda_{w0}}\right)}-R_y\gamma_c\right]}{\partial A_{f,0}}=0. \quad (15)$$

$$z=0 \to \lambda_{m1}\frac{\partial\left[\rho l_0\left(2A_{f,0}+\frac{h_0^2}{\lambda_{w0}}\right)\right]}{\partial h_0}+\lambda_{m2}\frac{\partial\left[\frac{M_{x,0}}{\left(A_{f,0}h_0+\frac{h_0^3}{6\lambda_{w0}}\right)}-R_y\gamma_c\right]}{\partial h_0}=0.$$

.

$$\frac{\partial\left[\rho l_0\left(2A_{f,zk}+\frac{h_0^2}{\lambda_{w0}}\right)\right]}{\partial\lambda_{m2}}+\frac{\partial\lambda_{m2}}{\partial\lambda_{m2}}\left[\frac{M_{x,z}}{\left(A_{f,0}h_0+\frac{h_0^3}{6\lambda_{w0}}\right)}-R_y\gamma_c\right]=0.$$

Але для визначення висоти перерізу з максимальною висотою стінки h_0 буде вірний аналітичний вираз за методом множників Лагранжа. Така задача і для максимального перерізу є задачею нелінійного математичного програмування.

Система рівнянь (8) для максимального початкового перерізу балки з максимальною висотою має вигляд (15). Рішення за прийнятою методологією буде у вигляді системи.

$$\lambda_{m1} 2\rho l_0 - \lambda_{m2} \frac{M_{x,0} h_0}{\left(A_{f,0} h_0 + \frac{h_0^3}{6\lambda_{w0}} \right)^2} = 0.$$

$$2\lambda_{m1} \rho l_0 \frac{h_0}{\lambda_{w0}} - \lambda_{m2} \frac{M_{x,0} \left(A_{f,0} + 3\frac{h_0^2}{6\lambda_{w0}} \right)}{\left(A_{f,0} h_0 + \frac{h_0^3}{6\lambda_{w0}} \right)^2} = 0. \quad (16)$$

З урахуванням умов міцності (10) перш рівняння (16) стає рівнянням для визначення коефіцієнта λ_{m1} приймає запис.

$$\frac{M_{x,0}}{\left(A_{f,0} h_0 + \frac{h_0^3}{6\lambda_{w0}} \right)} = R_y \gamma_c \rightarrow 2\lambda_{m1} \rho l_0 = \lambda_{m2} \frac{M_{x,0} h_0}{\left(A_{f,0} h_0 + \frac{h_0^3}{6\lambda_{w0}} \right)^2}.$$

$$2\lambda_{m1} \rho l_0 = \lambda_{m2} \frac{R_y \gamma_c h_0}{\left(A_{f,0} h_0 + \frac{h_0^3}{6\lambda_{w0}} \right)}. \quad (17)$$

Друге рівняння системи (16) з урахуванням (17) дає критерій вибору оптимального рішення.

$$\lambda_{m2} \frac{R_y \gamma_c}{\left(A_{f,0} h_0 + \frac{h_0^3}{6\lambda_{w0}} \right)} \frac{h_0^2}{\lambda_{w0}} = \lambda_{m2} \frac{M_{x,0} \left[A_{f,0} + 3\frac{h_0^2}{6\lambda_{w0}} \right]}{\left(A_{f,0} h_0 + \frac{h_0^3}{6\lambda_{w0}} \right)^2} \rightarrow \frac{h_0^2}{\lambda_{w0}} = \frac{M_{x,0} \left[A_{f,0} + \frac{h_0^2}{2\lambda_{w0}} \right]}{R_y \gamma_c h_0 \left(A_{f,0} + \frac{h_0^2}{6\lambda_{w0}} \right)}.$$

Остаточно критерій пошуку оптимальної висоти максимального перерізу сталевої балки двотаврового перерізу є таким.

$$h_0^3 = 3\frac{M_{x,0}\lambda_{w0}\left[\frac{2A_{f,0}\lambda_{w0}}{h_0^2}+1\right]}{R_y\gamma_c\left(\frac{6A_{f,0}\lambda_{w0}}{h_0^2}+1\right)}$$

$$h_0 = \sqrt[3]{3}\sqrt[3]{\frac{M_{x,0}\lambda_{w0}\left[\frac{2A_{f,0}\lambda_{w0}}{h_0^2}+1\right]}{R_y\gamma_c\left(\frac{6A_{f,0}\lambda_{w0}}{h_0^2}+1\right)}} \qquad (18)$$

Достатні умови вибору максимальної оптимальної висоти двотавра моментально знаходять з умови (16).

$$\lambda_{m1}2\rho l_0 = \lambda_{m2}\frac{M_{x,0}h_0}{\left(A_{f,0}h_0+\frac{h_0^3}{6\lambda_{w0}}\right)^2} = 0.$$

$$\lambda_{m2}\frac{M_{x,0}h_0}{\left(A_{f,0}h_0+\frac{h_0^3}{6\lambda_{w0}}\right)^2}\frac{h_0}{\lambda_{w0}} - \lambda_{m2}\frac{M_{x,0}\left(A_{f,0}+3\frac{h_0^2}{6\lambda_{w0}}\right)}{\left(A_{f,0}h_0+\frac{h_0^3}{6\lambda_{w0}}\right)^2} = 0$$

Далі після скорочень достатні умови оптимальності будуть вказувати на співвідношення площі полиць і стінок оптимального перерізу.

$$\frac{h_0^2}{\lambda_{w0}} = A_{f,0}+3\frac{t_w h_0^2}{6\lambda_{w0}} \rightarrow \frac{h_0^2}{\lambda_{w0}} = A_{f,0}+\frac{h_0^2}{2\lambda_{w0}} \rightarrow h_0^2 = 2A_{f,0}\lambda_{w0} \rightarrow h_0 = \sqrt{2A_{f,0}\lambda_{w0}}$$

Отримані аналітичні вирази необхідних умов оптимального перерізу співпадають з дослідженнями інших авторів для балок постійного перерізу, що вказує на достовірність проведених досліджень.

$$h_0 = \sqrt{2A_{f,0}\lambda_{w0}}$$

$$h_0 t_w = 2A_{f,0}. \qquad (19)$$

Заміна співвідношення площі полиці і стінки для оптимального перерізу за (19) у критерії (18) приводить до відомого рівняння визначення оптимальної висоти двотаврових балок постійного перерізу, отримані іншими аналітичними викладками (20).

$$h_0 = \sqrt{2A_{f,0}\lambda_{w0}} \to h_0 = \sqrt[3]{3}\sqrt[3]{\frac{M_{x,0}\lambda_{w0}\left[\frac{2A_{f,0}\lambda_{w0}}{h_0^2}+1\right]}{R_y\gamma_c\left(\frac{6A_{f,0}\lambda_{w0}}{h_0^2}+1\right)}} \to h_0 = \sqrt[3]{3}\sqrt[3]{\frac{M_{x,0}\lambda_{w0}[1+1]}{R_y\gamma_c(3+1)}} \to$$

$$h_0 = \sqrt[3]{3}\sqrt[3]{\frac{2M_{x,0}\lambda_{w0}}{4R_y\gamma_c}}.$$

$$h_0 = \sqrt[3]{\frac{3}{2}}\sqrt[3]{\frac{M_{x,0}\lambda_{w0}}{R_y\gamma_c}}$$	(20)

Таким чином, отримано важливий результат для проектування двотаврових балок змінного перерізу з постійною товщиною стінки з позицій і вибору максимальної висоти двотавра (20) так і проміжних перерізів (14).

У формулі (14) для визначення висоти поточного перерізу (по середині балки із змінною висотою стінки) із постійною товщиною має про співвідношення для оптимального перерізу.

$$h_{zk}t_w = 2A_{f,zk}.$$ $$t_w = \frac{h_0}{\lambda_{w0}} \to h_{zk}\frac{h_0}{\lambda_{w0}} = 2A_{f,zk}.$$	(21)

$$h_{zk} = \sqrt{\frac{5}{2}}\sqrt{\frac{M_{x,zk}\lambda_{w0}}{h_0R_y\gamma_c}}$$	(22)

Формула (22) показує залежність оптимальної висоти двотавра по середині довжини балки ($z=z_k$) із плавно-змінними перерізом. Відмітимо, що висота двотавра зменшується більш повільно ніж зменшення згинального моменту.

Приклад 1. Визначити раціональну конструкцію двотаврової балки із змінною висотою стінки завантажену на вільному кінці зосередженою силою $P = Q_0$, площа полиць постійна: $A_{f,0} = A_{f,z}$ =const. А згинальний момент змінюється відповідно лінійно $M_{x,z}=P\ l_0\ (1-z/l_0)$.

З формулою (12) оптимальна висота балки по середині прольоту буде.

$$M_{x,z} = Pl_0\left(1 - z/l_0\right) \to h_{zk} = \sqrt{\frac{5}{2}}\sqrt{\frac{M_{x,zk}\lambda_{w0}}{h_0 R_y \gamma_c}} = \sqrt{\frac{5}{2}}\sqrt{\frac{Pl_0\left(1 - z/l_0\right)\lambda_{w0}}{h_0 R_y \gamma_c}}$$

$$z_k = \frac{l_0}{2} \to h_{zk} = \sqrt{\frac{5}{2}}\sqrt{\frac{Pl_0\lambda_{w0}}{2h_0 R_y \gamma_c}} = \sqrt{\frac{5}{4}}\sqrt{\frac{Pl_0\lambda_{w0}}{h_0 R_y \gamma_c}}$$

За формулою (20) оптимальна висота балки опорного перерізу із максимальним значенням набуває взапису.

$$M_{x,z} = Pl_0\left(1 - z/l_0\right) \to h_0 = \sqrt[3]{\frac{3}{2}}\sqrt[3]{\frac{M_{x,0}\lambda_{w0}}{R_y \gamma_c}} = \sqrt[3]{\frac{3}{2}}\sqrt[3]{\frac{M_{x,0}\lambda_{w0}}{R_y \gamma_c}}$$

$$z_0 = 0 \to h_0 = \sqrt[3]{\frac{3}{2}}\sqrt[3]{\frac{Pl_0\lambda_{w0}}{R_y \gamma_c}}.$$

Таким чином, визначена форма балки з позицій оптимального проєктування.

$$\frac{h_{z=l_0/2}}{h_{z=0}} = \frac{\sqrt{\frac{5}{4}}\sqrt{\frac{Pl_0\lambda_{w0}}{h_0 R_y \gamma_c}}}{\sqrt[3]{\frac{3}{2}}\sqrt[3]{\frac{Pl_0\lambda_{w0}}{R_y \gamma_c}}} \to \left(\frac{h_{z=l_0/2}}{h_{z=0}}\right)^6 = \frac{\left(\frac{5}{4}\frac{Pl_0\lambda_{w0}}{h_0 R_y \gamma_c}\right)^3}{\left(\frac{3}{2}\frac{Pl_0\lambda_{w0}}{R_y \gamma_c}\right)^2}.$$

$\left(\frac{h_{z=l_0/2}}{h_{z=0}}\right) = \frac{\sqrt{5}}{\sqrt[3]{12}}\sqrt[6]{\frac{W_{x,0}\lambda_{w0}}{h_0^3}} \approx \sqrt[6]{\frac{W_{x,0}\lambda_{w0}}{h_0^3}}.$	(23)

Це нова формула оптимального проектування сталевих двотаврів змінного перерізу.

Приклад 2. Цікавою задачею визначення оптимальна висота ідеального двотавра, коли вага стінки враховується і вона сприймає поперечну силу, але згинальний момент сприймає тільки полиці двотавра. Для такої задачі умови (4) мають запис.

$$I_{x,zk} = \frac{A_{f,zk}h_{zk}^2}{2} \to W_{x,zk} = \frac{2I_{x,zk}}{h_{zk}} = A_{f,zk}h_{zk}$$

$$u_1\left(h_z, t_{w,z}, A_{f,z}\right) = \frac{M_{x,z}}{A_{f,zk}h_{zk}} - R_y\gamma_c \geq 0.$$

Запис функції (6) спроститься.

$F(\lambda_m, A_{f,z}, h_z) = \lambda_{m1}\rho l_0\left(2A_{f,z} + t_w h_z\right) + \lambda_{m2}\left(\frac{M_{x,z}}{A_{f,zk}h_{zk}} - R_y\gamma_c\right).$	(24)

Подальші перетворення аналогічні (7…11) приводять до системи рівнянь:

$$\begin{cases} \lambda_{m1} = \dfrac{\lambda_{m2}}{2\rho l_0} \dfrac{M_{x,z}}{A_{f,zk}^2 \; h_{zk}} \\ \lambda_{m1} \rho l_0 \left(\dfrac{h_0}{\lambda_{w0}} \right) - \lambda_{m2} \dfrac{M_{x,z}}{A_{f,zk} h_{zk}^2} = 0 \\ \dfrac{M_{x,z}}{A_{f,z} h_{zk}} - R_y \gamma_c = 0. \end{cases}$$

Рішення отриманої системи дає достатні умови для визначення оптимальної висоти ідеального двотавра із змінними перерізом.

$$\lambda_{m1} = \frac{\lambda_{m2}}{2\rho l_0} \frac{M_{x,z}}{A_{f,zk}^2 \; h_{zk}} = \frac{\lambda_{m2}}{2\rho l_0} \frac{R_y \gamma_c}{A_{f,zk}}.$$

$$\frac{\lambda_{m2}}{2} \frac{R_y \gamma_c}{A_{f,zk}} \left(\frac{h_0}{\lambda_{w0}} \right) - \lambda_{m2} \frac{M_{x,z}}{A_{f,zk} \; h_{zk}^2} = 0 \rightarrow h_{zk}^2 = \frac{2 M_{x,z} \lambda_{w0}}{R_y \gamma_c \; h_0}.$$

$$h_{zk} = \sqrt{2} \sqrt{\frac{M_{x,z} \lambda_{w0}}{R_y \gamma_c \; h_0}}. \qquad (24)$$

Рішення отриманої системи дає також одночасно і необхідні умови для визначення оптимальної висоти ідеального двотавра із змінними перерізом.

$$\frac{M_{x,z}}{A_{f,zk}^2 \; h_{zk}} \rho l_0 \left(\frac{h_0}{\lambda_{w0}} \right) - \lambda_{m2} \frac{M_{x,z}}{A_{f,zk} h_{zk}^2} = 0 \rightarrow \frac{1}{2 A_{f,zk}} \left(\frac{h_0}{\lambda_{w0}} \right) = \frac{1}{h_{zk}}.$$

$$h_{zk} \left(\frac{h_0}{\lambda_{w0}} \right) = 2 A_{f,zk}. \qquad (25)$$

Необхідні умови оптимальності ідеального двотавра для будь якого перерізу по довжині сталевої балки тотожні необхідним умовам (22) і для інших двотаврів за витратами сталі.

Висновок. За рахунок зміни перерізу полиці і стінки є можливість досягти рівноміцності балок змінного перерізу на певній довжині. Остаточний результат раціональної форми балки виконують з використанням методики [5]. Для отримання конструкції балки з підвищеними економічними властивості необхідно вирішити задачу із змінною товщиною стінки.

Література:

1. Bazhenov V.A. Budivelna mekhanika i teoriia sporud. Narysy z istorii (Construction mechanics and the theory of structures. Essays on history) / V.A. Bazhenov, Yu.V. Vorona, A.V. Perelmuter. – K.: Karavela, 2016. – 428 p. https://scadsoft.com/download/History.pdf.

2. Білик А.С. Визначення оптимальних конструктивних рішень ферм у експертній системі одностадійного оптимального проектування / Зб. наук.праць УНДПІСК

ім. В.М.Шимановського. – Київ, вид-во «Сталь», 2009, вип. 4. – С.119-132. http://nbuv.gov.ua/UJRN/ZNPISK_2009_4_16http://nbuv.gov.ua/UJRN/ZNPISK_2009_4_16 .

3. Білик, А. ., & Терновий, М. . (2024). Вибір раціональної висоти сталевих балкових конструкцій з урахуванням коефіцієнта динамічності під час дії епізодичного навантаження. Будівельні конструкції. Теорія і практика, (15), 75–85. https://doi.org/10.32347/2522-4182.15.2024.75-85

4. Бейко І.В., Зінько П.М., Наконечний О.Г. Задачі, методи і алгоритми оптимізації: Навчальний посібник - Рівне: НУВГП, 2011. – 644 с. https://ep3.nuwm.edu.ua/2017/1/715823%20zah.pdf

5. Білик С.І. Раціональні сталеві каркаси малоенергоємких будівель із двотаврів змінного перерізу : автореф. дис. … д-ра техн. наук : 05.23.01. Київ, 2008. 33 с.

6. Білик С.І., Шимановський О.В., Нілов О.О., Володимирський В.О. Металеві конструкції: Том 1. Конструкції металевих каркасів промислових будівель: Підручник для вищих навчальних закладів. /Білик С.І., Шимановський О.В., Нілов О.О., Володимирський В.О./ Кам'янець –Подільский: ТОВ «Друкарня «Рута»- 2023.-448 с. ISBN978-617-7887-94-1

7. Білик С.І. Методика визначення оптимальної висоти сталевої двотаврової балки зі змінним перерізом стінки при розвитку обмежених пластичних деформацій / Зб. наук. праць Українського інституту сталевих конструкцій ім. В.М. Шимановського. К., Сталь, 2012. Вип.9. С.28-33 https://www.urdisc.com.ua/rl/info/9'2012.pdf

8. Білик С.І., Недоходюк І.Д. Раціональні сталеві елементи рам двотаврового перерізу зі змінною висотою стінки / Зб. наук. праць Українського інституту сталевих конструкцій ім. В.М. Шимановського. К., Сталь, 2009. Вип.4. С.133-142. https://www.urdisc.com.ua/rl/info/4'2009.pdf

9. Білик С.І., Айед Альтайе Н., Лавріненко Л.І. Конструктивні коефіцієнти та раціональна висота сталевої коробчастої балки постійного перерізу / Будівельне виробництво: Відомчий науково-технічний збірник (технічні науки). К., ДП НДІБВ. 2017. № 62/1. С.33-38

10. Ватуля Г.Л. Розрахунок і проектування комбінованих та сталебетонних конструкцій: автореф. дис. … д-ра техн. наук : 05.23.01. Харків, 2015. 44 с.

11. Гоголь М.В. Регулювання напружено-деформованого стану комбінованих сталевих конструкцій : дис. … д-ра техн. наук : 05.23.01. Полтава, 2019. 524 с.

12. Гордеєв В.М. Елементарні задачі оптимізації двотавра / Зб. наук. праць Українського науково-дослідного та проектного інституту сталевих конструкцій імені В.М. Шимановського. К., Сталь, 2009. Вип.3. С.27-48

13. Лавріненко Л., Олійник, Д. (2020). Області оптимальних параметрів сталевих гофрованих балок. Будівельні конструкції. Теорія і практика, (7), С.45–56. https://doi.org/10.32347/2522-4182.7.2020.45-56

14. Лапенко А.И. Голоднов А.И, Фоміна И.П. Подбор оптимальных по расходу стали сечений сварных двутавровых балок/ Збірник наукових праць Українського державного університету залізничного транспорту/ Том 2, № 151, 2015. С.135-140. https://doi.org/10.18664/1994-7852.151.2015.69134

15. Пермяков В.А., Перельмутер А.В., Юрченко В.В. Оптимальне проектування сталевих стержневих конструкцій. К., Сталь, 2008. - 538 с.

16. Рекомендації з проектування раціональних металевих несучих конструкцій перекриттів та покриттів / Укл.: В. О. Пермяков, М. В. Гоголь. – Львів: Вид-во НУ «Львівська політехніка», 2006.

17. Семко О.В., Воскобійник О.П. Керування ризиками при проектуванні та експлуатації сталезалізобетонних конструкцій: монографія. Полтава: ПолтНТУ, 2012. 514 с.

18. Paola Bertolini, Martin A. Eder Luca Taglialegne Paolo Sebastiano ValvoStresses in constant tapered beams with thin-walled rectangular and circular cross sections Thin-Walled Structures. Volume 137, April 2019, Pages 527-540. DOI: 10.1016/j.tws.2019.01.008

19. Bilyk A.S. Modern methods of progressive collapse simulation of building and structures/A.S. Bilyk, A.I. Kovalenko// Construction, materials science, mechanical engineering. PGASA. Dnipropetrovsk. - 87/2016 – P. 35-43,. http://smm.pgasa.dp.ua/article/view/72349.

20. Barabash M.S., Kostyra N.O., Pysarevskiy B.Y. Strength-strain state of the structures with consideration of the technical condition and changes in intensity of seismic loads IOP Conference Series: Materials Science and Engineering. 2019. No 708. URL: https://iopscience.iop.org/article/10.1088/ 1757-899X/708/1/012044

21. Bilyk, S., Bilyk, A., Tonkacheiev, V. (2022). The stability of low-pitched vonMisestrusses with horizontal elastic supports. Strength of Materials and Theory of Structures, 108, 131–144. https://doi.org/10.32347/2410-2547.2022.108.131-144

22. Bilyk, S., Tonkacheiev, H., Bilyk, A., Tonkacheiev, V. (2020). Tallvon-Misestrusses' skew-symmetric deformation. Strength of Materialsand Theory of Structures, 105, 114–126. https://doi.org/10.32347/2410-2547.2020.105.114-126

23. S. Bilyk, O. Bashynska, O. Bashynskyi. Determination of changes inthermal stress state of steel beams in LIRA-SAPR software // Strength of Materials and Theory of Structures. – 2022. – № 108. – P. 182-202. Doi:10.32347/2410-2547.2022.108.189- 202.

24. Grebenyuk G.I., Veshkin M.S. Logical design of numerical calculation and optimization of bar systems under dynamic loads /Вестник ТГАСУ № 4, 2014// p.p. 106-116. https://cyberleninka.ru/article/n/razrabotka-algoritmov-chislennogo-raschyota-i-optimizatsii-sterzhnevyh-sistem-pri-deystvii-impulsnyh-nagruzok/viewer

25. Guljaev V.I., Bazhenov V.A., Koshkin V.L. Optimization techniques in structural mechanics (Optimization methods in structural mechanic). – Kyiv, 1988. – 192 p. (rus)

26. Haug E.J., Arora J.S. Applied optimal design: mechanical and structural systems. – John Wiley & Sons, 1979. – 520 p. https://www.researchgate.net/profile/Edward-Haug-2/publication/327630206_Applied_Optimal_Design/links/5b9a68e145851574f7c3d08a/Applied-Optimal-Design.pdf

27. Daurov M.K., Bilyk A.S. Providing of the vitality of steel frames of high-rise buildings under action of fire // Strength of Materials and Theory of Structures: Scientific-and-technicalcollectedarticles – Kyiv: KNUBA, 2019. – Issue 102. – P. 62-68. http://opir.knuba.edu.ua/files/zbirnyk-102/09-102.pdf.

28. Hohol M., Marushchak U., Peleshko I., Sydorak D. (2022) Rationalization of the Topology of Steel Combined Truss. In: Bieliatynskyi A., Breskich V. (eds) Safety in Aviation and Space Technologies. Lecture Notes in Mechanical Engineering. Springer, Cham. https://doi.org/10.1007/978-3-030-85057-9_9.

29. Tej Kumar, Krishnan Suresh. A density-and-strain-based K-clustering approach to microstructural topology optimization /Structural and Multidisciplinary Optimization/ April 2020, Vol.61(№4): p.1399–1415. DOI:10.1007/s00158-019-02422-4

30. Lizunov P.P., Pogorelova O.S., Postnikova T.G. Selection of the optimal design for a vibro-impact nonlinear energy sink//Strength of Materials and Theory of Structures: Scientific-and-technical collected21,22, articles. – K.: KNUBA. 2023. – Issue111. – P. 13-24. DOI: 10.32347/2410-2547.2023.111.13-24

31. Leonid S. Lyakhovich, Pavel A. Akimov, Boris A. Tukhfatullin Assessment criteria of optimal solutions for creation of rods with piecewise constant cross-sections with stability constraints or constraints for value of the first natural frequency part 2: numerical examples. International Journal for Computational Civil and Structural Engineering, 15(4). (2019) - p.p.101-110. DOI:10.22337/2587-9618-2019-15-4-101-110

32. Mela, K., Heinisuo, M. Weight and cost optimization of welded high strength steel beams. Engineering Structures. 2014. No. 79. Pp. 354–364. https://www.academia.edu/116219844/Weight_and_cost_optimization_of_welded_high_strength_steel_beams

33. McKinstray, R., Lim, J. B. P., Tanyimboh, T.T., Phan, D. ., & Sha, W. (2016). Comparison of optimal designs of steel portal frames including topological asymmetry considering rolled, fabricated and tapered sections. Engineering Structures, 111, 505–524. https://doi.org/10.1016/j.engstruct.2015.12.028

34. Nuzhnyj, V., & Bilyk, S. (2024). Revealing the influence of wind vortex shedding on the stressed-strained state of steel tower structures with solid cross-section. Eastern-European Journal of Enterprise Technologies, 3(1 (129), 69–79. https://doi.org/10.15587/1729-4061.2024.306181

35. Nguyen, T-T., Lee, J., Optimal design of thin-walled functionally graded beams for buckling problems, Composite Structures (2017), doi: http://dx.doi.org/10.1016/j.compstruct.2017.07.024

36. Perel'muter A.V. Synthesis problems in the theory of structures (brief historical review) https://cyberleninka.ru/article/n/zadachi-sinteza-v-teorii-sooruzheniy-kratkiy-istoricheskiy-obzor (rus).

37. Shugaylo, O., Bilyk, S. (2023). Development of Safety Assessment Methods for Steel Support Structures of Nuclear Power Plant Equipment and Piping under Seismic Loads. Nuclear and Radiation Safety, 1 (97), 20–29. https://doi.org/10.32918/nrs.2023.1(97).03

38. Sudeok Shon, Sengwook Jin, Seungjae Lee Minimum Weight Design of Sinusoidal Corrugated Web Beam Using Real-Coded Genetic Algorithms. Mathematical Problems in Engineering. Vol. 2017, Article ID 9184292. 2017. 13 p.p. doi.org /10.1155/2017/ 9184292

39. V. Volkova. Dynamic Smoothing Effect in Non-Linear Dynamic System under Polyharmonic External Excitation. In Materials Science Forum (Vol. 968, pp. 421–426). 2019. Trans Tech Publications, Ltd. URL: https://doi.org/10.4028/ ww.scientific.net/msf.968.421.

40. Yurchenko V.V., Peleshko I.D. Searching for optimal prestressing of steel bar structures based on sensitivity analysisfile/ Archives of Civil Engineering Vol LXVI, ISSUE 3, 2020, p.525-540

41. Yang, Y.; Yau, J. Stability of Beams with Tapered I-Sections. J. Eng. Mech. 1987, 113, 1337–1357. Journal of Engineering Mechanics 113(9)DOI:10.1061/(ASCE)0733-9399(1987)113:9(1337)

42. Z. Vrcelj, M.A. Bradford, Elastic distortional buckling of continuously restrained I-section beam columns, J. Constr. Steel Res. 62 (2006) 223–230. doi:10.1016/j.jcsr.2005.07.014.

Ph.D., Associate Professor **Bilyk Arte**m,
Dganov Lubomur, Ternovyy Maksim,
Kyiv National University of Construction and Architecture

DETERMINATION OF THE OPTIMAL HEIGHT OF STEEL I-BEAMS OF VARIABLE CROSS-SECTION USING THE METHOD OF LAGRANGE MULTIPLIERS.

Analytical studies of the selection of the optimal height of steel beams with variable height of the web and flange along the length of the structure are carried out.

The studies are carried out using the Lagrange multiplier method taking into account the Kuhn-Tucker conditions to determine sufficient conditions for finding the saddle point. The problem is formulated as a problem of nonlinear mathematical programming. It is assumed that the wall thickness is constant along the beam length. Analytical formulas are obtained for determining the rational height of the beam in the current section according to strength conditions. Analytical relationships between the area and the wall are obtained for forming the optimal section and the general shape of the beam structure. An example of finding the rational shape of a cantilever steel beam with a variable flange width and a variable wall height, which is loaded at the free end with a concentrated force, is given. An example of using the method to find the optimal height of a beam of constant cross section is given. It is confirmed that sufficient conditions for the optimality of an I-beam are the equality of the flange area and the wall area. This result coincides with the studies of other authors, which indicates the reliability of the obtained analytical studies. Similar studies were also conducted for ideal I-beams with constant and variable section heights. Which is important for studies of the optimal height of beams with a corrugated web and studies of through structures. The results of the studies are used in variant design and as initial data when using other optimal design methods.

Keywords: modeling, metal structures, steel I-beams of variable cross-section, minimum mass, optimum height of I-beam, Kuhn-Tucker conditions, Lagrange multiplier method, the of ideal I-beam.

REFERENCES

1. Bazhenov V.A. Budivelna mekhanika i teoriia sporud. Narysy z istorii (Construction mechanics and the theory of structures. Essays on history) / V.A. Bazhenov, Yu.V. Vorona, A.V. Perelmuter. – K.: Karavela, 2016. – 428 p. https://scadsoft.com/download/History.pdf. {in English}

2. Bilyk A.S. Vyznachennya optymal′nykh konstruktyvnykh rishen′ ferm u ekspertniy systemi odnostadiynoho optymal′noho proektuvannya / Zb. nauk.prats′ UNDPISK im. V.M.Shymanovs′koho. – Kyyiv, vyd-vo «Stal′», 2009, vyp. 4. – S.119-1323. {in Ukrainian}. http://nbuv.gov.ua/UJRN/ZNPISK_2009_4_16http://nbuv.gov.ua/UJRN/ZNPISK_2009_4_16 .

3. Bilyk, A., & Ternovyy, M. (2024). Vybir ratsional′noyi vysoty stalevykh balkovykh konstruktsiy z urakhuvannyam koefitsiyenta dynamichnosti pid chas diyi epizodychnoho navantazhennya. Budivel′ni konstruktsiyi. Teoriya i praktyka, (15), 75–85. https://doi.org/10.32347/2522-4182.15.2024.75-85 3. {in Ukrainian}.

4. Beyko I.V., Zin′ko P.M., Nakonechnyy O.H. Zadachi, metody i alhorytmy optymizatsiyi: Navchal′nyy posibnyk - Rivne: NUVHP, 2011. – 644 s. https://ep3.nuwm.edu.ua/2017/1/715823%20zah.pdf. 3 {in Ukrainian}.

5. Bilyk S.I. Ratsional′ni stalevi karkasy maloenerhoyemkykh budivel′ iz dvotavriv zminnoho pererizu : avtoref. dys. … d-ra tekhn. nauk : 05.23.01. Kyyiv, 2008. 33 s. 3 {in Ukrainian}.

6. Bilyk S.I., Shymanovs′kyy O.V., Nilov O.O., Volodymyrs′kyy V.O. Metalevi konstruktsiyi: Tom 1. Konstruktsiyi metalevykh karkasiv promyslovykh budivel′: Pidruchnyk dlya vyshchykh navchal′nykh zakladiv. /Bilyk S.I., Shymanovs′kyy O.V., Nilov O.O., Volodymyrs′kyy V.O./ Kam″yanets′ –Podil′skyy: TOV «Drukarnya «Ruta»- 2023.-448 c. ISBN978-617-7887-94-13 {in Ukrainian}.

7. Bilyk S.I. Metodyka vyznachennya optymal′noyi vysoty stalevoyi dvotavrovoyi balky zi zminnym pererizom stinky pry rozvytku obmezhenykh plastychnykh deformatsiy / Zb. nauk. prats′ Ukrayins′koho instytutu stalevykh konstruktsiy im. V.M. Shymanovs′koho. K., Stal′, 2012. Vyp.9. S.28-33 https://www.urdisc.com.ua/rl/info/9'2012.pdf. 3 {in Ukrainian}

8. Bilyk S.I., Nedokhodyuk I.D. Ratsional′ni stalevi elementy ram dvotavrovoho pererizu zi zminnoyu vysotoyu stinky / Zb. nauk. prats′ Ukrayins′koho instytutu stalevykh konstruktsiy im. V.M. Shymanovs′koho. K., Stal′, 2009. Vyp.4. C.133-142. https://www.urdisc.com.ua/rl/info/4'2009.pdf. 3 {in Ukrainian}

9. Bilyk S.I., Ayed Al′taye N., Lavrinenko L.I. Konstruktyvni koefitsiyenty ta ratsional′na vysota stalevoyi korobchastoyi balky postiynoho pererizu / Budivel′ne vyrobnytstvo: Vidomchyy naukovo-tekhnichnyy zbirnyk (tekhnichni nauky). K., DP NDIBV. 2017. № 62/1. S.33-38. 3. {in Ukrainian}.

10. Vatulya H.L. Rozrakhunok i proektuvannya kombinovanykh ta stalebetonnykh konstruktsiy : avtoref. dys. … d-ra tekhn. nauk : 05.23.01. Kharkiv, 2015. 44 s.

11. Hohol′ M.V. Rehulyuvannya napruzheno-deformovanoho stanu kombinovanykh stalevykh konstruktsiy : dys. … d-ra tekhn. nauk : 05.23.01. Poltava, 2019. 524 s. 3 {in Ukrainian}.

12. Hordeyev V.M. Elementarni zadachi optymizatsiyi dvotavra / Zb. nauk. prats′ Ukrayins′koho naukovo-doslidnoho ta proektnoho instytutu stalevykh konstruktsiy imeni V.M. Shymanovs′koho. K., Stal′, 2009. Vyp.3. S.27-48. {in Ukrainian}.

13. Lavrinenko L., Oliynyk, D. (2020). Oblasti optymal′nykh parametriv stalevykh hofrovanykh balok. Budivel′ni konstruktsiyi. Teoriya i praktyka, (7), C.45–56. https://doi.org/10.32347/2522-4182.7.2020.45-56. {in Ukrainian}.

14. Lapenko A.Y. Holodnov A.Y, Fomina Y.P. Podbor optymal′nykh po raskhodu staly sechenyy svarnykh dvutavrovykh balok/ Zbirnyk naukovykh prats′

Ukrayins′koho derzhavnoho universytetu zaliznychnoho transportu/ Tom 2, № 151, 2015. S.135-140. https://doi.org/10.18664/1994-7852.151.2015.69134. {in Ukrainian}.

15. Permyakov V.A., Perel′muter A.V., Yurchenko V.V. Optymal′ne proektuvannya stalevykh sterzhnevykh konstruktsiy. K., Stal′, 2008. - 538 s. { rus }.

16. Rekomendatsiyi z proektuvannya ratsional′nykh metalevykh nesuchykh konstruktsiy perekryttiv ta pokryttiv / Ukl.: V. O. Permyakov, M. V. Hohol′. – L′viv: Vyd-vo NU «L′vivs′ka politekhnika», 2006. {in Ukrainian}.

17. Semko O.V., Voskobiynyk O.P. Keruvannya ryzykamy pry proektuvanni ta ekspluatatsiyi stalezalizobetonnykh konstruktsiy: monohrafiya. Poltava: PoltNTU, 2012. 514. {in Ukrainian}.

18. Paola Bertolini, Martin A. Eder Luca Taglialegne Paolo Sebastiano ValvoStresses in constant tapered beams with thin-walled rectangular and circular cross sections Thin-Walled Structures. Volume 137, April 2019, Pages 527-540. DOI: 10.1016/j.tws.2019.01.008. {in English}.

19. Bilyk A.S. Modern methods of progressive collapse simulation of building and structures/A.S. Bilyk, A.I. Kovalenko// Construction, materials science, mechanical engineering. PGASA. Dnipropetrovsk. - 87/2016 – P. 35-43,. http://smm.pgasa.dp.ua/article/view/72349. {in English}.

20. Barabash M.S., Kostyra N.O., Pysarevskiy B.Y. Strength-strain state of the structures with consideration of the technical condition and changes in intensity of seismic loads IOP Conference Series: Materials Science and Engineering. 2019. No 708. URL: https://iopscience.iop.org/article/10.1088/1757-899X/708/1/012044. {in English}.

21. Bilyk, S., Bilyk, A., Tonkacheiev, V. (2022). The stability of low-pitched vonMisestrusses with horizontal elastic supports. Strength of Materials and Theory of Structures, 108, 131–144. https://doi.org/10.32347/2410-2547.2022.108.131-144. {in English}.

22. Bilyk, S., Tonkacheiev, H., Bilyk, A., Tonkacheiev, V. (2020). Tallvon-Misestrusses' skew-symmetric deformation. Strength of Materialsand Theory of Structures, 105, 114–126. https://doi.org/10.32347/2410-2547.2020.105.114-126. {in English}.

23. S. Bilyk, O. Bashynska, O. Bashynskyi. Determination of changes inthermal stress state of steel beams in LIRA-SAPR software // Strength of Materials and Theory of Structures. – 2022. – № 108. – P. 182-202. Doi:10.32347/2410-2547.2022.108.189- 202. {in English}.

24. Grebenyuk G.I., Veshkin M.S. Logical design of numerical calculation and optimization of bar systems under dynamic loads /Вестник ТГАСУ № 4, 2014// p.p. 106-116. https://cyberleninka.ru/article/n/razrabotka-algoritmov-chislennogo-

raschyota-i-optimizatsii-sterzhnevyh-sistem-pri-deystvii-impulsnyh-nagruzok/viewer. {in English}.

Guljaev V.I., Bazhenov VA., Koshkin V.L. Optimization techniques in structural mechanics (Optimization methods in structural mechanic). – Kyiv, 1988. – 192 p. {in Russian}

25. Haug E.J., Arora J.S. Applied optimal design: mechanical and structural systems. – John Wiley & Sons, 1979. – 520 p. https://www.researchgate.net/profile/Edward-Haug-2/publication/327630206_Applied_Optimal_Design/links/5b9a68e145851574f7c3d08a/Applied-Optimal-Design.pdf. {in English}.

26. Daurov M.K., Bilyk A.S. Providing of the vitality of steel frames of high-rise buildings under action of fire // Strength of Materials and Theory of Structures: Scientific-and-technicalcollectedarticles – Kyiv: KNUBA, 2019. – Issue 102. – P. 62-68. http://opir.knuba.edu.ua/files/zbirnyk-102/09-102.pdf. {in English}.

27. Hohol M., Marushchak U., Peleshko I., Sydorak D. (2022) Rationalization of the Topology of Steel Combined Truss. In: Bieliatynskyi A., Breskich V. (eds) Safety in Aviation and Space Technologies. Lecture Notes in Mechanical Engineering. Springer, Cham. https://doi.org/10.1007/978-3-030-85057-9_9. {in English}.

28. Tej Kumar, Krishnan Suresh. A density-and-strain-based K-clustering approach to microstructural topology optimization /Structural and Multidisciplinary Optimization/ April 2020, Vol.61(№4): p.1399–1415. DOI:10.1007/s00158-019-02422-4. {in English}.

29. Lizunov P.P., Pogorelova O.S., Postnikova T.G. Selection of the optimal design for a vibro-impact nonlinear energy sink//Strength of Materials and Theory of Structures: Scientific-and-technical collected21,22, articles. – K.: KNUBA. 2023. – Issue111. – P. 13-24. DOI: 10.32347/2410-2547.2023.111.13-24. {in English}.

30. Leonid S. Lyakhovich, Pavel A. Akimov, Boris A. Tukhfatullin Assessment criteria of optimal solutions for creation of rods with piecewise constant cross-sections with stability constraints or constraints for value of the first natural frequency part 2: numerical examples. International Journal for Computational Civil and Structural Engineering, 15(4). (2019) - p.p.101-110. DOI:10.22337/2587-9618-2019-15-4-101-110. {in English}.

31. Mela, K., Heinisuo, M. Weight and cost optimization of welded high strength steel beams. Engineering Structures. 2014. No. 79. Pp. 354–364. https://www.academia.edu/116219844/Weight_and_cost_optimization_of_welded_high_strength_steel_beams. {in English}.

32. McKinstray, R., Lim, J.B.P., Tanyimboh, T.T., Phan, D.T., & Sha, W. (2016). Comparison of optimal designs of steel portal frames including topological

asymmetry considering rolled, fabricated and tapered sections. Engineering Structures, 111, 505–524. https://doi.org/10.1016/j.engstruct.2015.12.028. {in English}.

33. Nuzhnyj, V., & Bilyk, S. (2024). Revealing the influence of wind vortex shedding on the stressed-strained state of steel tower structures with solid cross-section. Eastern-European Journal of Enterprise Technologies, 3(1 (129), 69–79. https://doi.org/10.15587/1729- 4061.2024.306181. {in English}.

34. Nguyen, T-T., Lee, J., Optimal design of thin-walled functionally graded beams for buckling problems, Composite Structures (2017), doi: http://dx.doi.org/10.1016/j.compstruct.2017.07.024. {in English}.

35. Perel'muter A.V. Synthesis problems in the theory of structures (brief historical review) https://cyberleninka.ru/article/n/zadachi-sinteza-v-teorii-sooruzheniy-kratkiy-istoricheskiy-obzor (rus). {in English}.

36. Shugaylo, O., Bilyk, S. (2023). Development of Safety Assessment Methods for Steel Support Structures of Nuclear Power Plant Equipment and Piping under Seismic Loads. Nuclear and Radiation Safety, 1 (97), 20–29. https://doi.org/10.32918/nrs.2023.1(97).03. {in English}.

37. Sudeok Shon, Sengwook Jin, Seungjae Lee Minimum Weight Design of Sinusoidal Corrugated Web Beam Using Real-Coded Genetic Algorithms. Mathematical Problems in Engineering. Vol. 2017, Article ID 9184292. 2017. 13 p.p. doi.org /10.1155/2017/ 9184292. {in English}.

38. V. Volkova. Dynamic Smoothing Effect in Non-Linear Dynamic System under Polyharmonic External Excitation. In Materials Science Forum (Vol. 968, pp. 421–426). 2019. Trans Tech Publications, Ltd. URL: https://doi.org/10.4028/ ww.scientific.net/msf.968.421. {in English}.

39. Yurchenko V.V., Peleshko I.D.. Searching for optimal prestressing of steel bar structures based on sensitivity analysisfile/ Archives of Civil Engineering Vol LXVI, ISSUE 3, 2020, p.525-540. {in English}.

40. Yang, Y.; Yau, J. Stability of Beams with Tapered I-Sections. J. Eng. Mech. 1987, 113, 1337–1357. Journal of Engineering Mechanics 113(9)DOI:10.1061/(ASCE)0733-9399(1987)113:9(1337). {in English}.

41. Z. Vrcelj, M.A. Bradford, Elastic distortional buckling of continuously restrained I-section beam columns, J. Constr. Steel Res. 62 (2006) 223–230. doi:10.1016/j.jcsr.2005.07.014. {in English}.

DOI: 10.32347/2786-7269.2025.11.303-311
УДК 69:658.5

Войтович В.А.,
voitovych_va@knuba.edu.ua, ORCID: 0000-0003-0015-9786,
Київський національний університет будівництва і архітектури

ІННОВАЦІЙНІ ПІДХОДИ ДО ПЛАНУВАННЯ В БУДІВЕЛЬНІЙ ГАЛУЗІ З АКЦЕНТОМ НА УДОСКОНАЛЕННЯ ПРОЦЕСІВ

Розглядається значення удосконалення процесів у будівельній галузі що стрімко розвивається під впливом інноваційних технологій та відкривають нові можливості для удосконалення процесів планування і виконання будівельних робіт. Зростання складності проєктів, необхідність зменшення витрат і термінів будівництва, а також забезпечення високого рівня безпеки й екологічної відповідальності створюють потребу в застосуванні сучасних підходів. Використання дронів для моніторингу майданчиків, впровадження робототехніки для автоматизації будівельних процесів, застосування штучного інтелекту для оптимізації управління ресурсами та 3D-друк будівельних елементів є ключовими напрямами інновацій у галузі. Ця стаття аналізує переваги й виклики інтеграції зазначених технологій у будівельну сферу, визначає їхній вплив на ефективність, якість і економічність проєктів, окреслює перспективи подальшого розвитку галузі в умовах цифрової трансформації.

Ключові слова: інновації в будівництві; планування будівництва; дрони; робототехніка; штучний інтелект; 3D-друк; оптимізація процесів; будівельна галузь; цифрові технології; ефективність будівництва.

Постановка проблеми. Будівельна галузь стикається з численними викликами, серед яких: висока складність планування проєктів, недосконала логістика, перевищення кошторисів, затримки у виконанні робіт та підвищені ризики для працівників. Традиційні методи управління будівництвом часто не забезпечують належного рівня ефективності та безпеки. В умовах зростання конкуренції та потреби в екологічно чистих і економічно вигідних рішеннях виникає необхідність впровадження інноваційних підходів до планування та організації будівельних процесів. Це дозволяє не лише оптимізувати використання ресурсів, але й забезпечити високу якість і безпеку будівельних об’єктів.

Аналіз досліджень і публікацій. Загалом, аналіз літератури та сучасних наукових досліджень і публікацій свідчить про активне впровадження

інноваційних технологій у будівельну галузь. Використання дронів для моніторингу будівельних майданчиків отримало широке визнання, які підкреслюють їхню ефективність у підвищенні безпеки та точності контролю за будівництвом. Робототехніка в будівництві активно досліджується як засіб автоматизації рутинних і небезпечних процесів. Аналіз літератури описує технологічні зрушення в галузі завдяки впровадженню будівельних роботів, які дозволяють зменшити витрати часу та підвищити якість робіт. Штучний інтелект набуває все більшого значення в оптимізації процесів планування та управління будівництвом. Дослідження демонструють, що ШІ допомагає прогнозувати ризики, оптимізувати використання ресурсів та покращувати логістику. 3D-друк будівельних елементів є однією з найперспективніших технологій у сучасному будівництві. Зазначається, що адитивне виробництво дозволяє скоротити витрати матеріалів, зменшити час будівництва та створювати складні архітектурні форми з високою точністю..

Метою публікації є дослідження сучасних інноваційних підходів до планування в будівельній галузі, а також аналіз їх впливу на вдосконалення процесів будівництва. Особливу увагу приділено використанню дронів, робототехніки, штучного інтелекту та технології 3D-друку, які сприяють підвищенню ефективності, безпеки та економічності будівельних проєктів.

Основна частина. Сучасна будівельна індустрія переживає період масштабних змін, зумовлених стрімким прогресом технологій, що докорінно трансформують традиційні методи планування, проєктування та реалізації будівельних проєктів. Інноваційні стратегії в організації будівельних процесів стають вирішальним фактором у підвищенні ефективності, зменшенні витрат і поліпшенні якості виконання робіт, що робить їх ключовим елементом сучасного будівництва. Серед таких технологічних рішень особливої уваги заслуговують дрони, робототехніка, штучний інтелект (ШІ) та 3D-друк конструктивних елементів (див. схема 1*)*. Використання дронів дозволяє значно спростити збір даних і здійснювати моніторинг будівельних майданчиків, забезпечуючи оперативну топографічну зйомку, інспекцію об’єктів та контроль за ходом будівництва в реальному часі. Роботизовані системи, автоматизуючи процеси укладання матеріалів, зварювання та демонтажу, суттєво підвищують точність виконання завдань, підвищують безпеку робіт та збільшують продуктивність. Штучний інтелект, обробляючи великі обсяги даних, сприяє ефективнішому управлінню ресурсами, прогнозуванню можливих ризиків та вдосконаленню процесів керування проєктами, забезпечуючи прозорість і оптимізацію на всіх етапах будівництва. Водночас 3D-друк будівельних елементів відкриває нові перспективи для створення складних архітектурних форм, пришвидшує зведення споруд і сприяє зменшенню будівельних відходів,

що робить процес більш екологічно відповідальним. Застосування цих технологій не лише вдосконалює традиційні підходи, а й розширює горизонти інновацій, дозволяючи реалізовувати унікальні архітектурні концепції та створювати екологічно стійкі будівлі, що відповідають вимогам сучасного світу. Інтеграція новітніх рішень у будівельну сферу формує фундамент для майбутнього, де процес зведення об'єктів стає швидшим, ефективнішим, екологічно чистішим і здатним адаптуватися до динамічних змін технологій і суспільних потреб.

Схема 1. Технологічні інновації в будівництві

Безпілотні літальні апарати сьогодні стали важливим елементом будівельної індустрії завдяки своїй багатофункціональності, високій точності збору даних та здатності здійснювати оперативний контроль за будівельними майданчиками. Використання дронів значно спрощує процеси планування й управління будівельними проєктами, дозволяючи скоротити витрати часу, зменшити використання ресурсів і мінімізувати ризики для працівників. Одна з ключових переваг дронів полягає у здатності швидко охоплювати великі території для створення детальних карт і точних тривимірних моделей (3D-моделей), що є важливим кроком у підготовці до будівельних робіт. Такі моделі допомагають інженерам ефективніше планувати розташування інфраструктурних об'єктів, враховуючи рельєф місцевості, стан ґрунтів та існуючі комунікації. Це забезпечує раціональне використання земельних ділянок і покращує якість планувальних рішень. Ще одним важливим напрямом використання дронів є інспекція будівельних об'єктів. Завдяки здатності

підніматися на значну висоту та проникати у важкодоступні місця, безпілотники дозволяють проводити детальні огляди дахів, фасадів, мостів, промислових установок та інших складних конструкцій без потреби залучення спецтехніки, як-от кранів чи підйомників. Це не лише зменшує фінансові витрати, а й підвищує безпеку робітників, оскільки зменшується необхідність виконання небезпечних завдань на висоті чи в умовах підвищеного ризику. Сучасні дрони оснащені високоточними камерами, тепловізорами та спеціальними сенсорами, що дає змогу виявляти дефекти конструкцій, тріщини, ознаки корозії та зони тепловтрат. Такі можливості є критично важливими для своєчасного ремонту будівель і забезпечення їхньої довговічності. Крім того, дрони активно застосовуються для постійного моніторингу ходу будівельних робіт. Регулярні обльоти будівельних майданчиків дозволяють створювати фото й відео звіти, відслідковувати зміни на об’єкті та зіставляти фактичний стан робіт із запланованим графіком. Це забезпечує прозорість виконання проєктів, дозволяє швидко виявляти відхилення, затримки чи помилки та своєчасно вживати необхідних коригувальних заходів.

Впровадження роботизованих технологій у будівництво стало визначальним фактором для зростання продуктивності, підвищення точності виконання робіт та забезпечення високого рівня безпеки. Використання робототехніки відкрило нові шляхи для оптимізації будівельних процесів, сприяючи зменшенню витрат і зниженню залежності від людського фактора. Роботи здатні працювати без зупинок, вихідних чи втоми, що дозволяє підтримувати стабільний темп будівництва, водночас знижуючи витрати ресурсів. Одним із показових прикладів застосування автоматизованих рішень є роботи для кладки цегли. Так, система Hadrian X демонструє інноваційний підхід до автоматизації мулярських робіт. Завдяки точному програмному забезпеченню та інтегрованим навігаційним модулям, цей робот може укладати до тисячі цеглин на годину з рівнем точності, який важко досягти людині. Це не лише значно прискорює процес будівництва, але й зменшує потребу в залученні великої кількості мулярів, що своєю чергою знижує витрати на оплату праці. Автоматизація укладання дозволяє мінімізувати помилки у вирівнюванні елементів, що сприяє підвищенню якості конструкцій та зменшує витрати на коригування дефектів. Ще одним напрямом застосування робототехніки у будівництві є автоматизовані системи для зварювання. Роботи-зварювальники забезпечують бездоганну якість з'єднань, що критично важливо для споруд із підвищеними вимогами до міцності — зокрема, мостів, каркасів висотних будівель чи промислових об'єктів. Завдяки здатності виконувати повторювані дії з мікронною точністю, ці машини знижують ризик утворення дефектів, підвищуючи загальну довговічність споруд. Окрім того, вони можуть

працювати в умовах високих температур, токсичного середовища чи на значній висоті, зменшуючи ризики для людей. Роботизація активно впроваджується й у сферу земляних і демонтажних робіт. Використання автономних екскаваторів, бульдозерів та демонтажних машин дозволяє ефективно виконувати складні завдання навіть у важкодоступних або небезпечних місцях. Такі роботи забезпечують точність при копанні котлованів чи демонтажі конструкцій, мінімізуючи ризик пошкодження сусідніх об'єктів. Під час знесення аварійних споруд або промислових об'єктів дистанційне управління роботизованими машинами знижує загрозу для робітників. Сучасні будівельні майданчики також активно впроваджують автономний транспорт. Безпілотні вантажівки, бетономішалки та інші спеціалізовані машини самостійно доставляють будівельні матеріали до потрібних точок, оптимізуючи логістику та скорочуючи час простоїв.

Штучний інтелект (ШІ) поступово стає незамінним інструментом у будівельній галузі, значно впливаючи на способи обробки даних, вдосконалення робочих процесів та ухвалення стратегічних рішень. Його інтеграція змінює традиційні підходи до планування, організації та управління будівельними проєктами, сприяючи підвищенню ефективності, зниженню витрат та мінімізації ризиків. Завдяки можливостям ШІ компанії здатні гнучко реагувати на змінні умови, швидко вирішувати нестандартні ситуації та покращувати процеси на кожному етапі будівництва від створення проєктної документації до завершення об’єкта. Одним із ключових напрямків використання ШІ є система прогнозування ризиків, яка особливо корисна для складних і масштабних будівельних проєктів. ШІ здатен обробляти великі обсяги даних з минулих проєктів, аналізуючи фактори, такі як терміни виконання, витрати, аварійні випадки, погодні умови та перебої в постачанні матеріалів. На основі цієї інформації алгоритми визначають можливі загрози для поточного проєкту, що дозволяє заздалегідь розробити стратегії їх усунення. Наприклад, якщо система прогнозує ризик затримок у доставці матеріалів через сезонні фактори або логістичні труднощі, керівники можуть вчасно переглянути графік робіт або знайти альтернативні джерела постачання. Також, ШІ аналізує метеорологічні умови та прогнозує їхній вплив на будівництво, що є важливим для проєктів, які ведуться на відкритих майданчиках або в кліматично нестабільних регіонах. Значну роль штучний інтелект відіграє й у підвищенні ефективності використання ресурсів. Його алгоритми здатні аналізувати дані щодо потреб у матеріалах, техніці та робочій силі, враховуючи графіки постачання та завантаженість працівників. Завдяки цьому система оптимізує процеси розподілу ресурсів, запобігаючи простоям і перевитратам. ШІ також допомагає правильно планувати послідовність

виконання робіт, забезпечуючи безперервність процесу та рівномірне навантаження на персонал і техніку, що дозволяє скоротити витрати часу та коштів. У сфері управління проєктами штучний інтелект стає важливим аналітичним інструментом, що автоматизує планування, моніторинг і створення звітів. Інтегровані ШІ-системи формують динамічні графіки виконання робіт, коригуючи їх у реальному часі відповідно до змінних факторів, таких як затримки постачання, погодні умови чи інші непередбачені обставини. Це забезпечує прозорість на всіх етапах будівництва, дозволяючи всім учасникам проєкту від інженерів до керівників отримувати актуальну інформацію про стан виконання робіт, витрати та прогрес. Візуалізація даних у зручних інтерфейсах допомагає швидше приймати обґрунтовані рішення, мінімізуючи вплив людського фактора. Штучний інтелект також покращує комунікацію між учасниками проєкту, створюючи єдине інформаційне середовище, де об’єднано дані з різних джерел від креслень до інформації з сенсорів на майданчику. Це сприяє кращій координації дій, знижує ризик виникнення конфліктів між підрядниками й замовниками та полегшує відстеження ходу проєкту. Окремо варто виділити застосування ШІ у сфері безпеки будівельних майданчиків та контролю якості. Системи комп’ютерного зору, інтегровані з камерами спостереження, здатні виявляти потенційно небезпечні ситуації наприклад, порушення правил техніки безпеки чи появу сторонніх осіб на об’єкті. Алгоритми також аналізують відповідність фактичних параметрів конструкцій проєктним стандартам, своєчасно виявляючи дефекти та допомагаючи уникнути дорогих виправлень у майбутньому.

3D-друк поступово стає однією з ключових інновацій у сфері будівництва, кардинально змінюючи традиційні методи проєктування, виготовлення та спорудження будівельних об'єктів. Застосування спеціалізованих 3D-принтерів, які наносять матеріал шар за шаром, відкриває нові горизонти для архітекторів, інженерів і будівельних компаній. Ця технологія не лише спрощує процес будівництва, а й надає можливість створювати унікальні архітектурні форми, що були складними або недосяжними для реалізації за допомогою класичних методів. Однією з найвагоміших переваг 3D-друку є суттєве скорочення термінів будівництва. Сучасні принтери для будівництва здатні виготовляти окремі конструктивні елементи або повноцінні будівлі за лічені години чи дні — залежно від масштабу об'єкта. Наприклад, створення невеликого житлового будинку за допомогою цієї технології може зайняти лише кілька днів, тоді як звичайне будівництво тривало б місяцями. Це особливо корисно для оперативного спорудження тимчасового житла після стихійних лих чи при надзвичайних

ситуаціях. Ще одна суттєва перевага це раціональне використання матеріалів і мінімізація відходів. Традиційне будівництво часто супроводжується значними втратами сировини через процеси обробки, тоді як 3D-друк забезпечує точне дозування матеріалу, витрачаючи лише необхідну кількість для створення кожного шару. Це допомагає зменшити витрати та знизити негативний вплив на довкілля. До того ж все частіше використовуються екологічно чисті матеріали: перероблений бетон, біокомпозити, суміші на основі глини чи геополімерів. Гнучкість дизайну — ще один важливий аспект. 3D-друк дозволяє створювати складні геометричні форми без необхідності дорогих опалубок чи спеціальних конструкційних рішень. Завдяки цьому архітектори можуть експериментувати з нестандартними контурами, вигнутими стінами чи декоративними фасадами, відкриваючи нові можливості в ландшафтному дизайні та містобудуванні. З економічної точки зору, використання 3D-друку у будівництві дозволяє суттєво знизити загальні витрати на проєкт. Економія часу, раціональне використання матеріалів і зменшення потреби у великій кількості робітників зменшують витрати. Крім того, автоматизація процесів мінімізує людський фактор, знижуючи ймовірність помилок. Екологічний аспект також заслуговує на увагу. Зменшення відходів та енерговитрат робить 3D-друк привабливим для екологічно орієнтованих проєктів. Використання вторинної сировини або біорозкладних матеріалів додає технології ще більше екологічності. Крім того, 3D-друк відкриває можливості для масового індивідуалізованого будівництва, коли кожен об’єкт може мати унікальний дизайн без значного збільшення вартості. Це особливо важливо для житлового сектору, де є попит на індивідуальні архітектурні рішення.

Висновки. Інноваційні підходи до планування в будівельній галузі, такі як використання дронів, робототехніки, штучного інтелекту (ШІ) та 3D-друку, вже сьогодні демонструють значний потенціал для трансформації традиційних будівельних процесів. Дрони забезпечують швидкий та точний збір даних, дозволяючи оптимізувати планування, проводити інспекцію об'єктів та моніторинг будівельних майданчиків у реальному часі. Робототехніка підвищує продуктивність та точність виконання робіт, автоматизуючи такі процеси, як кладіння цегли, зварювання та демонтаж, що значно зменшує витрати часу та ресурсів. Штучний інтелект, аналізуючи великі обсяги даних, допомагає прогнозувати ризики, оптимізувати розподіл ресурсів та автоматизувати управління проектами, роблячи будівництво більш прозорим та ефективним. 3D-друк, у свою чергу, відкриває нові можливості для створення складних архітектурних форм, прискорює процес будівництва та робить його більш екологічно стійким за рахунок мінімізації відходів. У сукупності ці технології не лише підвищують ефективність будівельних процесів, але й сприяють

зниженню витрат, покращенню якості будівництва та забезпеченню безпеки на будівельних майданчиках. Впровадження таких підходів у будівельну галузь не лише відкриває нові горизонти для інновацій, але й формує основу для майбутнього, де будівництво стає більш швидким, ефективним та відповідальним перед суспільством та природою.

Список джерел

1. Бушуєв С.Д., Дорош М.С., Шакун Н.В. Інноваційне мислення при формуванні нових методологій управління проектами. Управління розвитком складних систем. 2016. С. 49-57.

2. Коник В.В., Гавриляк А.С., Петрушка Т.О. Організація виробництва: підручник. Львів, 2020. 256 с.

3. Космаччук Л.Г. Організація і планування будівельного виробництва. Київ, 2008. 559 с.

4. Meredith, J.R., & Mantel, S.J.Jr. Project Management a Managerial Approach, (6th ed.) New York: John Wiley & Sons. 2005. 688 p.

5. Project Management Institute. The Standard for Project Management and a Guide to the Project Management Body of Knowledge – Seventh Edition. USA, 2021. P. 250;

6. Harold Kerzner. Project management best practices achieving global excellence second edition. New York: International Institute for Learning, Inc. 2010. 684 p.

7. IPMA. Individual Competence Baseline for project, programme & portfolio management. Version 4.0. IPMA Editorial Committee. 2015. 431 p.

8. Joslin R., Müller R. The impact of project methodologies on project success in different project environments. International Journal of Managing Projects in Business. 2016. 364 p.

PhD of Architecture **Vladyslav Voitovych,**
Kyiv National University of Construction and Architecture

INNOVATIVE APPROACHES TO PLANNING IN THE CONSTRUCTION INDUSTRY WITH A FOCUS ON PROCESS IMPROVEMENT

This article examines the importance of process improvement in the rapidly evolving construction industry, driven by innovative technologies that open new opportunities for enhancing planning and execution processes in construction. The increasing complexity of projects, the need to reduce costs and construction timelines, as well as ensuring high levels of safety and environmental responsibility, create a demand for modern approaches. The use of drones for site monitoring, the

implementation of robotics for automating construction processes, the application of artificial intelligence for resource management optimization, and 3D printing of construction elements are key directions of innovation in the industry. This article analyzes the benefits and challenges of integrating these technologies into the construction sector, assesses their impact on the efficiency, quality, and cost-effectiveness of projects, and outlines prospects for further development of the industry in the context of digital transformation. The purpose of the publication is to explore modern innovative approaches to planning in the construction industry, as well as analyze their impact on improving construction processes. Particular attention is paid to the use of drones, robotics, artificial intelligence and 3D printing technology, which contribute to increasing the efficiency, safety and cost-effectiveness of construction projects.

Keywords: construction innovations; construction planning; drones; robotics; artificial intelligence; 3D printing; process optimization; construction industry; digital technologies; construction efficiency.

REFERENCES

1. Bushuyev S.D., Dorosh M.S., Shakun N.V. Innovative Thinking in the Formation of New Project Management Methodologies. Management of Complex Systems Development. 2016. p. 49-57. {in Ukrainian}

2. Konyk V.V., Gavrilyak A.S., Petrushka T.O. Production Organization: Textbook. Lviv, 2020. 256 p. {in Ukrainian}

3. Kosmachchuk L.G. Organization and planning of construction production. Kyiv, 2008. 559 p. {in Ukrainian}

4. Meredith, J.R., & Mantel, S.J.Jr. Project Management a Managerial Approach, (6th ed.) New York: John Wiley & Sons. 2005. 688 p. {in English}

5. Project Management Institute. The Standard for Project Management and a Guide to the Project Management Body of Knowledge – Seventh Edition. USA, 2021. P. 250. {in English}

6. Harold Kerzner. Project management best practices achieving global excellence second edition. New York: International Institute for Learning, Inc. 2010. 684 p. {in English}

7. IPMA. Individual Competence Baseline for project, programme & portfolio management. Version 4.0. IPMA Editorial Committee. 2015. 431 p. {in English}

8. Joslin R., Müller R. The impact of project methodologies on project success in different project environments. International Journal of Managing Projects in Business. 2016. 364 p. {in English}

DOI: 10.32347/2786-7269.2025.11.312-327
УДК 712.254(477.87)+712.3

к.т.н., доцент **Голик Й.М.,**
g.jolana@ukr.net, ORCID: 0000-0001-5135-0711,
Багрій Н.Ю., bagrij.n@ukr.net, ORCID: 0000-0003-4477-8239,
Вантюх Д.Е., dianavantyukh@gmail.com, ORCID: 0000-0002-6096-7016,
Ужгородський національний університет

ДО ПИТАННЯ ПРОСТОРОВОЇ ОРГАНІЗАЦІЇ ПАРКІВ ЗАКАРПАТСЬКОЇ ОБЛАСТІ

Наведені результати дослідження просторової організації парку «Боздоський» – пам'ятки садово-паркового мистецтва, розташованої в місті Ужгороді Закарпатської області. Визначені структурні елементи паркової композиції, окреслені напрями оптимізації території та розширення функціонального призначення у відповідності з сучасними екологічними та містобудівними вимогами, адаптацією до потреб суспільства із забезпеченням охорони та збереження його території. Кінцевим результатом дослідження є обгрунтування можливості перспективного просторового використання території парку у мережі рекреаційних об'єктів з розширенням його пізнавальної та оздоровчо-рекреаційної функцій.

Ключові слова: парк; пам'ятка садово-паркового мистецтва; просторова організація; планувальна основа; паркові споруди; видові точки; парковий туризм.

Актуальність теми і постановка проблеми. Збереження цінних природних та історико-культурних територіальних комплексів, де основною складовою виступає ландшафт, є важливою проблемою багатьох країн [4]. В Україні в 2005 р. з метою підтримки процесів охорони, регулювання та планування природних територій було ратифіковано Європейську ландшафтну конвенцію, яка визначила ландшафт ключовим елементом добробуту людини, що має особливе значення для сталого розвитку суспільства [6]. Варто наголосити, що Конвенція підкреслює важливість усіх видів ландшафтів – як виняткових, так і звичайних, або занедбаних, адже без природного середовища неможливе повноцінне життя та відпочинок людей, особливо в умовах глобальних кліматичних змін, які з кожним роком стають більш відчутними [6].

Стратегія біорізноманіття Європейського Союзу (ЄС), яка має бути виконана до 2030 року, наголошує, що захист та відновлення біорізноманіття ландшафтів – це єдиний спосіб зберегти якість життя та забезпечити існування

людини на Землі [12]. А в прийнятому Екологічною радою ЄС влітку 2024р. Законі про відновлення природи (Nature Restoration Law) особливо підкреслена важлива роль річкових ландшафтів, а також заходів, необхідних для повернення їм життя: усунення річкових бар'єрів, дамб, відновлення вільної течії і збереження природного стану заплав [15]. На сучасному етапі реалізація проектів з демонтажу старих гребель на річках відбувається в багатьох країнах. У 2014 р. Україна також взяла на себе зобов'язання щодо виконання певних положень Водної рамкової директиви ЄС (ВРД ЄС), яка передбачає досягнення країнами Євросоюзу оптимального екологічного стану водних об'єктів. На даний час триває процес імплементації положень ВРД ЄС у Водний кодекс України, проте вже є приклади демонтажу гребель у Карпатах, а також на гірських потоках річок Черемоша і Тиси [7].

Проект «Методичних рекомендацій з відновлення водотоків і прісноводних екосистем», розроблений Державним агентством водних ресурсів України, визначає вільнопротікаючу річку як таку, яка підтримує взаємозв'язок річкової екосистеми з навколишнім ландшафтом, в тому числі – з її заплавними та прибережними територіями. Заплави забезпечують біорізноманітність, регулюють природні обмінні процеси, сприяють розвитку туризму і проведенню наукових досліджень [8]. У багатьох містах річкові заплави активно використовуються як рекреаційні простори: долина річки Ізар в Мюнхені, острів Маргіт на Дунаї в Будапешті, Стрілецький острів на Влтаві у Празі, Млоцінський парк в долині Вісли у Варшаві, Труханів острів на Дніпрі.

Закарпатська область також має свої унікальні геополітичні, кліматичні, ландшафтні та етнічні передумови для розвитку рекреації, в тому числі – пов'язаної з річковими ландшафтами, парками та пам'ятками садово-паркового мистецтва (СПМ). У зв'язку з цим архітектурна громадськість області понад 10 років тому ініціювала створення ландшафтного історико-архітектурного заповідника «Парки Закарпаття» на базі десяти найбільш цікавих парків. До складу заповідника запропоновано, зокрема, включити Боздоський парк в Ужгороді як приклад ландшафтного будівництва середини XX ст з характерним заплавним рельєфом, флористичним та фауністичним різноманіттям. Однак, розміщення парку на прирусловій обмілині річки Уж з позицій сучасних природоохоронних вимог суттєво обмежує функціональне використання території та її перспективний просторовий розвиток. Оскільки значна частина парку регулярно затоплюється паводковими водами, активно використовується тільки верхня річкова тераса [3, 14]. Тому територія парку потребує комплексного відновлення, підтриманого науковими пошуками, які дозволять обґрунтувати стратегію її повноцінного використання в естетичних, наукових, природоохоронних та оздоровчих цілях.

Аналіз останніх досліджень та публікацій. На високому науковому рівні проблеми природо-охоронних територій Закарпаття були висвітлені в працях відомих дослідників в галузі лісової геоботаніки і фітогеографії: Фодора С., Комендаря В., Стойки С., Гамора Ф. Вивченню флори Карпат присвятили своє життя відомі аматори-ботаніки Лайош Вагнер та Іштван Лаудон, ботанік-інтродуктор Йосип Сікура. Проте, сфера наукових інтересів вчених-біологів поширювалась, здебільшого, на видовий склад рослинності великих ландшафтних утворень природного походження – лісів, пралісів. Водночас, прикладами сучасних робіт, у яких відображено вплив природних ландшафтів Закарпаття саме на архітектурно-просторовий розвиток міст є, зокрема, дослідження впливу річки Уж і її прирічкових ландшафтів на історичну забудову м. Ужгорода та просторову організацію штучних ландшафтних об'єктів авторів Oleh Borshovskyi, Halyna Koznarska, Halyna Lukashchuk (2021) з детальним містобудівним аналізом ситуації та обгрунтування переносу функції парку. Експертна оцінка містобудівної компоненти прирічкових територій Ужгорода здійснена Borshovskyi O.I., Petryshyn H.P., Onufriv Ya.O., Tupis S.P. (2022); основні чинники антропогенного впливу проаналізовано Станкевич-Волосянчук О., Куртяк Ф., Кіш Р., Пляшечник В. (2023); окреслення перспектив розвитку прирічкової території відображено в дисертаційній роботі на ступінь доктора філософії Олена Боршовського (2024). Однак, подібних досліджень обмаль, що і зумовило актуальність роботи.

Мета статті – вивчення особливостей просторової організації пам'ятки садово-паркового мистецтва «Боздоський парк», розташованого в м. Ужгороді, з подальшим окресленням напрямів вдосконалення структури парку у відповідності з сучасними екологічними та містобудівними вимогами, адаптацією до потреб суспільства із забезпеченням охорони та збереження його території.

Матеріали і методи. Дослідження виконано шляхом аналізу картографічних, історичних та статистичних матеріалів, проведено натурні вивчення території парку протягом 2008-2024рр.

Виклад основного матеріалу. Важливою складовою культурної та історичної спадщини Закарпаття є рукотворні ландшафти – пам'ятки СПМ. Історично більшість закарпатських парків та скверів створювались на територіях замкових комплексів, приватних садиб, закладались як арборетуми – колекції рідкісних рослин на території шкіл та лісництв. На цих землях успішно акліматизували кущі та дерева, які пізніше поповнювали асортимент видів для промислового лісівництва та озеленення міст і сіл, збільшуючи біорізноманіття флори і фауни. Такими є парки Шенборнів, Грабарів, Плотені, Перені, Підзамковий, Вагнера, сквер Лаудона, розташовані в різних містобудівних

умовах, різні за площею і компонентами, проте відображають відношення їх творців до природи як джерела позитивних емоцій [2].

Водночас, парк «Боздоський» має суттєві відмінності, порівняно з перерахованими вище ландшафтними об'єктами. Його відрізняють розміщення, площа території, планувальна структура, функція і методи будівництва. При будівництві парку в середині XX ст. було враховано перспективу розвитку міста в південно-західному напрямі. Однак згодом, парк, розташований на далекій міській околиці, опинився у щільній забудові, що зумовило зменшення його площі з 73,7 га до 48,9 га у 2020 р., та 48,31 га – у 2023 р. [13].

Парк був закладений в лівобережній частині міста на місцевості з історичною назвою «Боздош» в 1954 р. Однак, основна функція парку як «парку культури і відпочинку», була офіційно визначена тільки через 65 років після відкриття, у 2019 р. Загалом процес будівництва був детермінований економічними та соціально-політичними факторами, роботи велись без достатньо глибокої проектної проробки і розуміння збереження природних форм рельєфу. Тому, за часів панування ідеології «підкорення» природи регуляція русла і заплави була здійснена в значних масштабах, з ігноруванням екологічних наслідків. Водночас, розуміння потенційних можливостей конкретного ландшафту, максимальне виявлення його якостей при обмеженому втручанні в природне середовище не було реалізоване [14].

У геоморфологічному відношенні парк розміщений в зоні переходу від рівнинного до низькогірного рельєфу. Річка Уж меандрує відносно рівною алювіальною рівниною з південно-західним ухилом, підмиваючи правий берег. На території парку прослідковуються дві річкові тераси – нижня і верхня, або заплавна і надзаплавна, з абсолютними відмітками в межах 111,00-115,00 м н.р.м. Русло звужене захисними дамбами обвалування, внаслідок чого ліквідована можливість бокового зливу до лівого борту долини на згині річки під час паводків. На заплаві були здійснені широкомасштабні посадки дерев і кущів, однак згодом почався процес безсистемного заростання території, сформувалась нижня зона гальмування ріки, яка в подальшому спричинила підтоплення парку і міської забудови. Більша частина парку – нижня заплавна тераса – відноситься до земель затоплення. Центральна та північна частина території – ділянки з сейсмічною активністю 8,5 балів. У північно-західному напрямі парк перетинає тектонічний розлом [1].

Незважаючи на прорахунки в початковій планувальній структурі, які погіршили можливість повноцінного використання території, парк у 1969 р. отримав статус пам'ятки СПМ місцевого значення. З 1972 р. будівництво парку продовжувалось вже за проектом інституту «УкрНДІінжпроект», м. Київ. Структура південної надзаплавної тераси набрала регулярного характеру з

чітким поділом на квартали стороною близько 200 м, поділені по діагоналі. Зона затоплення в північній частині парку освоювалась обмежено, у північно – східному напрямку створена алея до підвісного мосту через р. Уж (рис. 1).

У 1982 р. спеціалістами УДІПМ «ДІПРОМІСТО» (м. Київ) у рамках проекту благоустрою та озеленення комплексної зеленої зони Ужгорода, було дано загальні рекомендації щодо парку, а саме: здійснити повну реконструкцію на ландшафтно-природній основі зі зведенням до мінімуму «урбанізованих» ландшафтів; покращити функціональну та архітектурно-планувальну структуру; надати парку статус Центрального парку культури і відпочинку. Однак, у «Боздоському» і надалі переважала неорганізованість та загущеність посадок, притаманних більше лісопаркам, ніж паркам. На початку 90-х рр. інженери проектно-виробничого підприємства «Магнолія» (ВЛЗТО «Закарпатліс») розробили свій проект реконструкції парку.

На жаль, реконструкція згідно запропонованих проектних рішень не проводилася. Це призвело до того, що відносно невеликий паводок (листопад 1992 р.) вперше за період спостереження підтопив західну частину міста, зокрема територію парку, і зруйнував лівобережну дамбу обвалування. Частково витрата пройшла по стариці (староріччя). У 1993р. спеціалісти ЗММП «Геодезія» розробили проект першочергових заходів з попередження повторного підтоплення міста, в якому рекомендувалось обладнати розвантажувальний канал в заплаві на згині ріки, на місці стариці, яка перерізала парк на дві частини – південну та північну. У листопаді 1998 р. паводок повторився, відбувся перелив через правобережну і лівобережну дамби з руйнуваннями, знову підтопив територію парку.

У 2001 р. фахівці ВАТ «Укрводпроект» розробили проект протиповеневих заходів і благоустрою р. Уж в межах м. Ужгорода, в якому запропонували комплекс інженерних заходів на ділянці від транспортного мосту до західної межі міста, що включав також і будівництво захисних дамб та розчистку русла р. Уж. Існуючі заболочені ділянки, покриті кущовою рослинністю, передбачалось розчистити і облаштувати водовідведення відкритого або закритого типу. Береги русла підлягали подальшому укріпленню. Передбачалось будівництво правобережної водозахисної дамби до з’єднання її з існуючою в районі Боздоського мосту і далі до межі міста на південний захід. На цій же ділянці протяжністю 1,8 км було намічене будівництво правобережної набережної як продовження існуючої від вул. І. Франка до Боздоського мосту. Після цього були здійснені роботи з нарощення набережних та дамб в районі парку, піднято підвісний міст, розпочались роботи з розчистки русла та траси каналу, які, однак, не були завершені.

Наступний етап – розроблений у 2004 р. архітекторами УДНДІПМ

«Діпроміcто» генеральний план міста, який передбачав кардинальні зміни цієї території: спрямлення річкового русла по трасі розвантажувального каналу-стариці (староріччя); зменшення площі парку майже на половину; зміну функціонального призначення північної частини парку, підсипку ділянки і будівництво на цій території кварталу багатоповерхових житлових будинків. На жаль, розробники проектної документації проігнорували статус парку як пам'ятки СПМ, тому дію генплану в цьому напрямі було призупинено.

У 2008 р. авторським колективом у складі архітекторів Наталії Багрій, Степана Багрія та інженера-дендролога Надії Шандрович було розроблено проект реконструкції та організації території парку, який передбачав максимальне збереження планувальної основи, вдосконалення функціонального зонування, введення нових форм рекреації, підвищення атрактивності і естетичної виразності, будівництво дамби вздовж стариці. У північній, затоплюваній частині парку передбачалось розміщення зони фізкультурно-оздоровчого відпочинку, атракціонів та ігор з некапітальними будівлями. Однак, і цей проект не був реалізований.

У 2018 р. інженери ПП «Техенерго» запропонували концепцію розвитку парку, де в цілому зберегли планувальну основу і використали розвантажувальний канал (старицю) в якості замкнутої водойми. У 2020 р. в рамках українсько-словацького плану HUSKROUA/1702/0005 «Спільні заходи з попередження природних катастроф у транскордонному басейні р. Уж» (FloodUZH)», який впроваджується в межах Програми міжнародного співробітництва за кошти Гранту Європейського Союзу, розроблено техніко-економічне обґрунтування проекту «Будівництво регулюючої споруди на р. Уж, у районі парку «Боздоський» для обводнення р. Уж у межах міста Ужгорода у меженний період і для захисту від паводків [10]. Динамічну греблю пропонували розмістити перед підвісним мостом у звуженій ділянці русла. Водночас, експерти ГО «Екосфера» проаналізували екологічну складову проекту і заперечили можливість будівництва гідроспоруди, яка могла суттєво погіршити стан річкової екосистеми [9].

Згідно ст. 16 закону України «Про регулювання містобудівної діяльності», у 2021 р. міською радою був розроблений і погоджений детальний план території парку. Проте, рішення міськради було оскаржене окружною прокуратурою і скасоване в 2023р. через невідповідність генплану міста.

Загалом, містобудівна ситуація в цій частині міста та стан території парку як просторово-ландшафтного і культурного утворення за останні десятиліття суттєво змінилися. У безпосередній близькості до парку з'явились квартали житлової та громадської забудови, збудовані промислові об'єкти. Завершення будівництва транспортного мосту «Боздоський» замкнуло транспортне кільце,

яке зв'язує лівий і правий береги р. Уж, сформувалась правобережна Паркова набережна. Парк забезпечений зручними транспортними та пішохідними зв'язками з загальноміським центром та житловими кварталами правобережної і лівобережної частини міста, зросло його значення як потенційного осередку культури та рекреації. Природні рекреаційні ресурси парку (рослинний та тваринний світ) не мають ознак деградації, рельєф та водойми використовується обмежено. Охоронний статус сприяв збереженню архітектурно-планувальної структури – регулярної в південній та з елементами ландшафтного планування в північній частинах.

Наразі парк забезпечений двома основними і допоміжними входами (рис. 1): - лівобережний вхід (головний) – розташований на основній композиційній осі парку, зі Слов'янської набережної; - правобережний вхід – через підвісний міст зі Студентської набережної та вул. Гленца; - два допоміжні входи: у західній (у напрямку свердловин з мінеральною водою) і східній частинах парку (з дамби обвалування і Слов'янської набережної). Планувальні рішення входів – майданчики неправильної форми.

Генеральний план вирішений поєднанням прийомів регулярного та ландшафтного стилю. Основна композиційна вісь виражена головною алеєю, яка починається біля центрального входу, що примикає до Слов'янської набережної, перетинає парк і завершується розширенням перед підвісним мостом, зв'язуючи, таким чином, два планувальні райони міста – лівобережний та правобережний. Другорядні композиційні осі – алеї – пересікають надзаплавну терасу під кутом 45 градусів, в місцях їх перетину сформовані композиційні вузли у вигляді площі. Одна з алей, яка починається на Слов'янській набережній, запроектована двосмуговою (рис. 1).

Недоліком цієї планувальної структури є те, що алеї проглядаються на великі віддалі, їх масштаб гіпертрофований, підсилений щільним рядом дерев без розривів, відсутня камерність. Перспективи алей – «вісти» – не мають цікавого завершення і розкриття на ефектні та виразні елементи ландшафту. Провідна роль водного потоку, властива річковим ландшафтам, не реалізована. Видові точки основних пішохідних прогулянкових маршрутів вздовж берегової лінії закриті густою рослинністю. Доступ до річки обмежений невеликою ділянкою західного берега в районі свердловин мінеральної води.

У північній заплавній частині парку просіки алей та поляни заповнені самосівом, їх контури тільки вгадуються. Ця частина є лісопарком, доріжки прокладені спонтанно, в залежності від характеру рельєфу та рослинності.

Стан існуючих споруд також потребує змін. Підвісний міст (автори проекту – інженери Дезидерій Бониславський та Іван Кевер) – родзинка парку, потребує ремонту настилу та покриттів підхідних алей. Двосмуговий залізобетонний

пішохідний міст через розвантажувальний канал (старицю) для аварійного скиду, який зв'язує південну і північну частини парку, потребує ремонту покриття та огорожі. У парку також є 9 свердловин з маломінералізованою водою типу «Нарзан», серед яких і законсервовані, і такі, що самовиливаються. Їх використання спеціалісти вважають обмеженим.

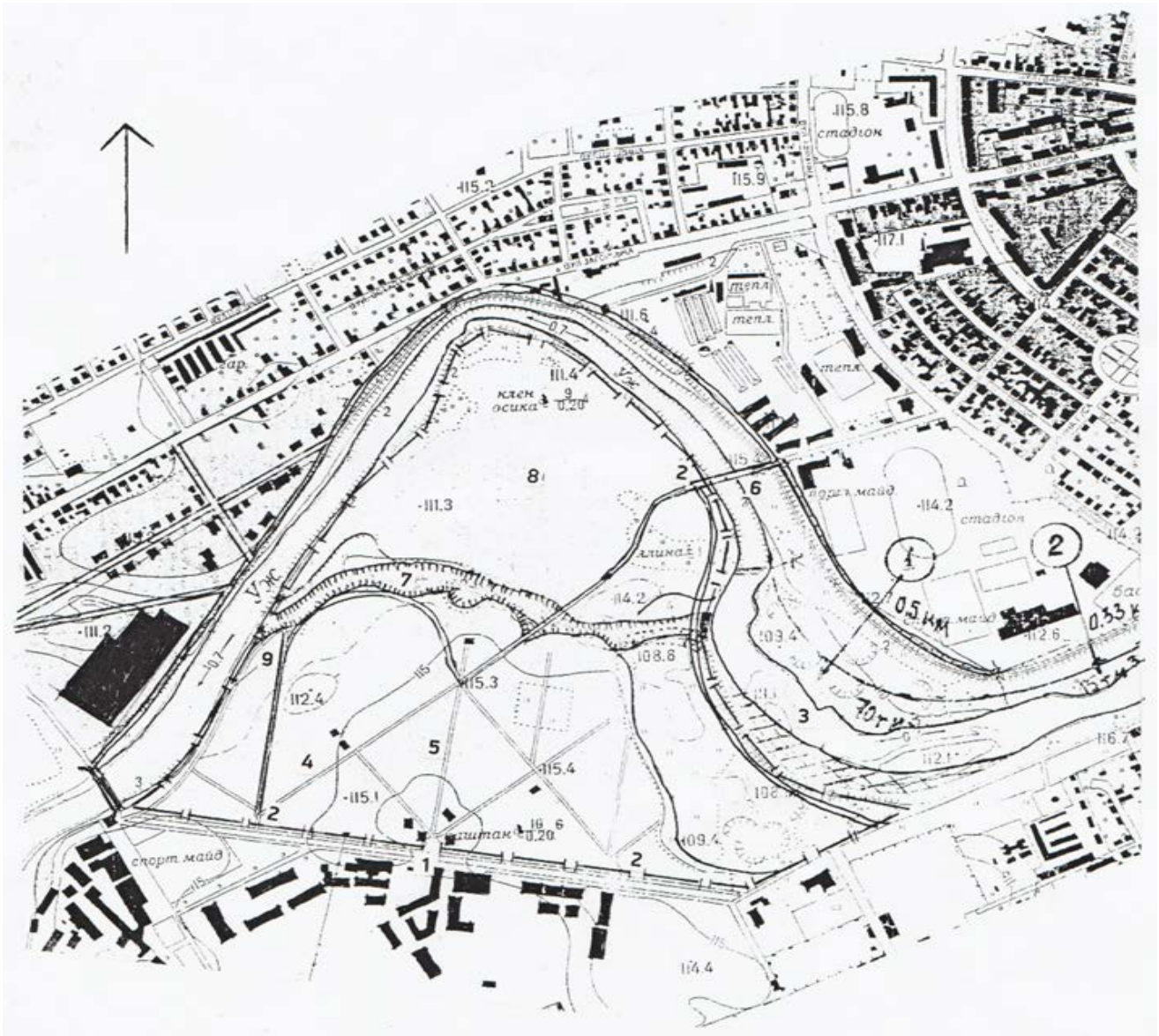


Рис. 1. Схема Боздоського парку (існуючий стан): 1 – головний вхід; 2 – допоміжний вхід; 3 – русло ріки; 4 –зона атракціонів; 5 – головна алея; 6 – пішохідно-велосипедний міст; 7– стариця; 8 – заплавна зона тихого відпочинку; 9 – свердловини мінеральної води.

Комплексний аналіз кількісних, декоративних та фітосанітарних показників дендрофлори парку відсутній. Оцінка стану зелених насаджень базується на матеріалах проекту реконструкції та організації території парку 2008 р. з відповідним коригуванням. Їх асортимент включає місцеві породи і незначну кількість екзотів. Вік базових рослин 80-90 років, вік окремих екземплярів

більше 90 років, кількість – біля 20 тисяч. Вздовж алей висаджено тую східну та західну, тополю пірамідальну, катальпу бузковолисту та чудову, гіркокаштан звичайний, софору японську, липу дрібнолисту, садовий жасмин звичайний, бузок звичайний, форзицію європейську, жимолость звичайну, дейцію шорстку, бирючину звичайну, гібіскус сирійський, троянду паркову.

Посадки масивів на окремих ділянках часто монокультурні – гіркокаштан звичайний, граб звичайний, клен гостролистий, горіх сірий та грецький. Їх доповнюють клен цукристий, гостролистий та ясенелистий, верба біла та вавилонська, робінія звичайна, ясен звичайний та китайський, клен - явір, бук лісовий, дуб звичайний, дуб червоний, черешня (вишня пташина), ільм гірський, шовковиця біла. На особливо відповідальних ділянках – на початку алей, по периметру і на кутах паркових площ висаджено цінні породи: ялину канадську, дугласію, кипарисовик Лавсона та горохоплодий, криптомерію японську, тис ягідний, сосну кримську, чорну та Веймута, гінкго дволопатеве, кельрейтерію двоякопериcту, сливу Піссарді, клен-явір, каштан посівний, шовковицю паперову, платан кленолистий [11].

Квітково-декоративне оформлення з використанням багатолітників присутнє тільки на центральній алеї. Береги р. Уж, просіки алей, кромки полян покриті густими заростями бузини чорної та трав’янистої, крушини ламкої, аморфи кущової, свидини білої, ломиносу виноградолистого, кірказону (хвилівника) крупнолистого, сумаху пухнастого. На полянах багато лугових трав, рудеральних та сегетальних бур’янів (грястиці збірної, тонконогу лучного та однорічного, польовиці гігантської, споришу звичайного, подорожника великого, лопуха великого, підмаренника чіпкого, борщівника сибірського, соняшника бульбистого, полину звичайного, злинки канадської, гравілату міського та річкового, кінського часнику, кропиви дводомної та жалкої, бальзаміну дрібноквіткового, зірочника середнього, гірчака в’юнкого. На пониженнях рельєфу, зволожених ділянках поширені горицвіт зозулин, жеруха лучна, рогіз широколистий. Посадки в кварталах загущені, вздовж алей – монотонні, підкреслюються використанням колоновидних форм [11].

Високорослі дерева вздовж берегів та на кромці терас закривають річкові та паркові краєвиди. Самосів ущільнив посадки, зменшив ширину алей та полян, знищив газони та квітники. Аварійні, сухостійні та фаутні дерева присутні в кожному кварталі. Посадки гіркокаштану тривалий період страждають від мінуючої молі. Окремі групи високодекоративних рослин (кельрейтерії двоякопериcтої, хвойних порід) висаджені на ділянках, які розміщені осторонь основних пішохідних маршрутів, підхід до них неорганізований, внаслідок чого втрачається культурно-пізнавальна і естетична складова озеленення парку [11]. Проведений у вересні 2023 р. дослідниками УжНУ аналіз стану рослинності

парку з використанням вегетаційного індексу NDVI (Нормалізований Диференційний Вегетаційний Індекс), показав, що вздовж бровки лівого берега і алей присутня слабка розріджена рослинність, в західній частині нижньої тераси і на південний схід від головної площі – помірна і густа рослинність [5].

Значна за розмірами територія парку дозволяє виділити зони для занять різними видами спорту. Проте існуючі майданчики для активних занять розміщені на території парку розосереджено, що перешкоджає формуванню зони тихого відпочинку. На території парку розташовані також окремі будівлі та споруди: церква, ресторан, невеличкі сезонні кафе, господарські підсобні приміщення, громадська вбиральня. Малі архітектурні форми (лавиці, світильники, огорожі, інформаційні стенди тощо) в основному розміщені в центральній частині парку в зоні атракціонів. Якість їх невисока, кількість не відповідає розрахунковій потребі. Архітектура паркових будівель та споруд низької художньої та естетичної якості, їх стильове вирішення неузгоджене.

Таким чином, враховуючи природоохоронний статус парку, сучасні екологічні вимоги до річкових заплав, містобудівну ситуацію, комплексну забудову прилеглої території, зміщення громадських центрів правобережного та лівобережного районів міста в квартали новобудов, зростання потреби у рекреаційних територіях вищого рівня благоустрою, у планувальну структуру парку необхідно закласти наступні перспективні аспекти розвитку (рис. 2):

- максимальне відновлення природної течії р. Уж, усунення річкових бар'єрів; збереження цінних заплав та демонтаж застарілої гідроспоруди - дамби в східній частині парку;

- обмеження використання північної частини парку і підготовка території для пропуску паводкових вод, регулювання рослинності, використання її для розміщення некапітальних площинних спортивних споруд, бігових, велосипедних доріжок, екскурсійних маршрутів, наукового-популярного туризму (спостереження за птахами, вивчення лікарських трав тощо);

- використання бровки лівого берегу стариці для будівництва набережної алеї з видовими майданчиками і місцями для тихого відпочинку;

- збереження і розвиток головної композиційної осі парку в напрямку південь-північний схід – від головного входу до існуючого пішохідно-велосипедного мосту;

- відкриття точок огляду на водний потік з алей і набережної за допомогою «ландшафтних вікон»;

- прокладання плавних криволінійних трас доріжок в північній частині парку, що дозволить створити значну кількість прогулянкових дублюючих маршрутів і розвести пішохідні потоки;

- використання існуючих полян і прогалин для розміщення майданчиків

тихого відпочинку з мінімальним благоустроєм;

- ущільнення регулярної дорожньої мережі за допомогою діагональних алей з невеликими площами в місцях їх перетину;

- поляризування функцій – зосередження найбільш привабливих для масового користувача об'єктів в південній частині парку в чотирьох вузлах – біля основних і допоміжних входів;

- інтеграцію парку з прилеглою житловою садибною та багатоповерховою забудовою з допомогою додаткового пішохідно-велосипедного мосту; ділянку, розташовану в зоні затоплення, облаштувати з використанням пішохідного містка на палях;

- організацію автомобільних стоянок біля основного входу в парк;

- розширення функцій парку, зокрема, спортивно-розважальної та оздоровчої – будівництво аквапарку в східній частині парку;

- створення адміністративно-господарського центру біля західного службового в'їзду в парк.

Окрім того, необхідно максимально повно зберегти всі характерні особливості ландшафтно-планувальної структури парку-пам'ятки СПМ – функціональну спеціалізацію, регулярне планування південної центральної частини, напрям основних та другорядних композиційних осей, розміщення входів та окремих функціональних зон, характер зелених насаджень.

Реалізація запропонованого проекту щодо парку «Боздоський» як просторово-ландшафтного і культурного утворення має значний потенціал в розвитку взаємозв'язків людини і природи, а саме:

- удосконалення функціонального зонування з врахуванням життєвих інтересів різних вікових і соціальних груп;

- введення нових сезонних форм рекреації, зокрема – різні види діяльності під відкритим небом;

- підвищення рекреаційної атрактивності, будівництво в південній зоні об'єктів цілорічного функціонування;

- збільшення естетичної виразності паркової території, збільшення привабливості парку як об'єкту мистецтва, синтез ландшафтної архітектури та мистецтва;

- створення екологічно стійких екосистем, ландшафтів з використанням місцевих порід рослин, регуляція рекреаційного навантаження з використанням планувальних прийомів обмеження доступу в зони з цінними екологічними ресурсами;

- включення парку в міські туристичні рекреаційні маршрути;

- використання енергозберігаючих технологій для обслуговування парку та

його сталого розвитку, самоокупність парку.

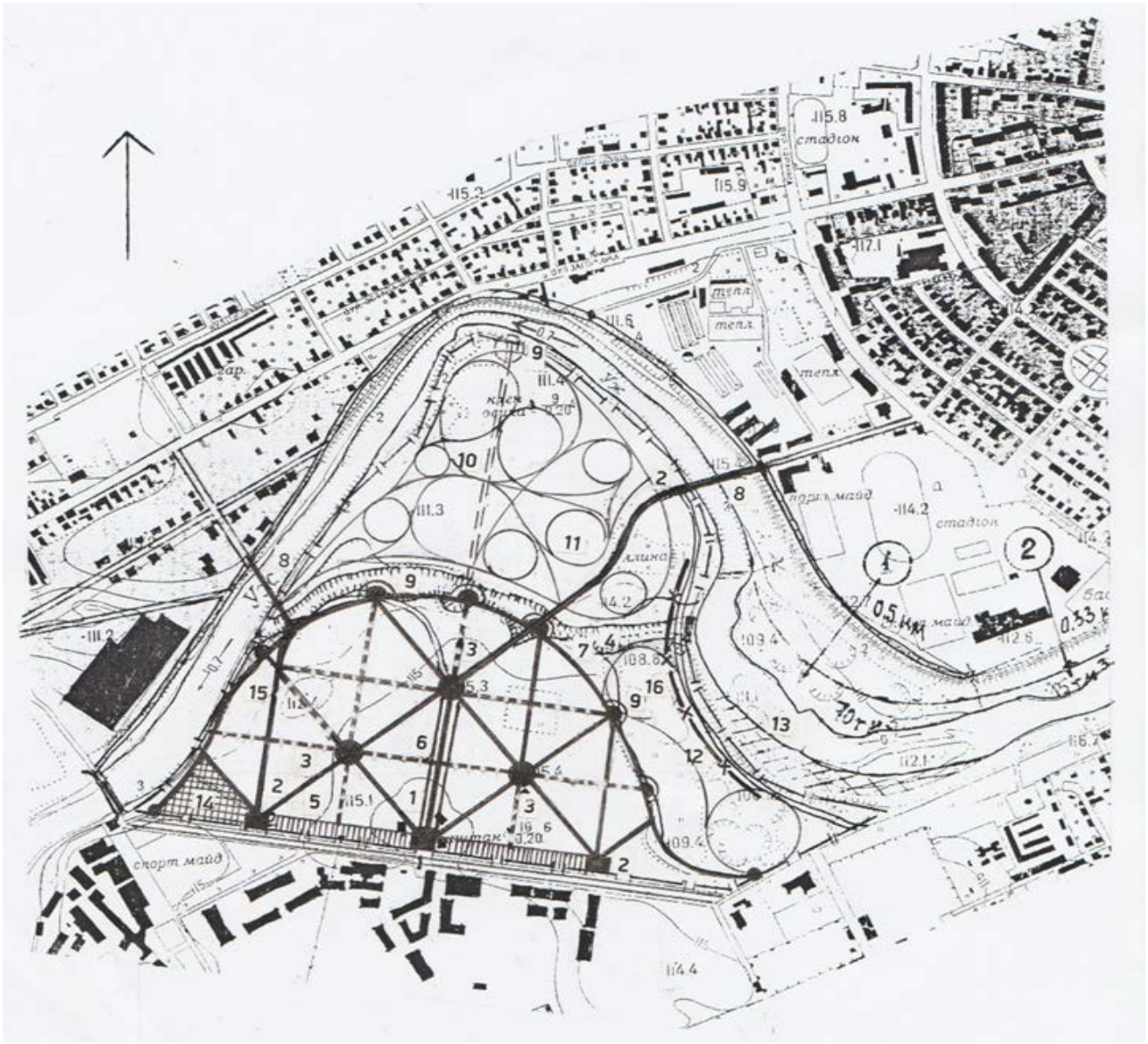


Рис. 2. Схема Боздоського парку (перспективи розвитку): 1 – головний вхід; 2 – допоміжний вхід; 3 – проектні алеї; 4 – стариця; 5 – автомобільні стоянки; 6 – алея ремесел; 7 – набережна; 8 – пішохідно-велосипедний міст; 9 – видові майданчики; 10 – міст на палях; 11 – прогулянкова зона; 12 – аквапарк; 13 – русло ріки; 14 – адміністративно-господарський центр з міні-зоопарком і конюшнею; 15 – бювети мінеральної води; 16 – демонтована дамба.

Перспективне використання території парку «Боздоський» може включати такі види рекреації: аматорські види спорту, пляжно-купальну, прогулянки пізнавальні, оздоровчі, кінні, лижні, санні та велосипедні, катання на роликових ковзанах та скейтах, рибальство, збір плодів, ягід і трав, бальнеологія і кліматолікування. Пізнавальну функцію парку розширить будівництво на головних алеях майстерень, в яких будуть демонструватись місцеві ремесла.

Висновки та пропозиції. Природно-заповідний фонд України є складовою частиною світової системи природних територій. Закарпаття – один з небагатьох регіонів, де заповідні території займають значну частку площі області. Проте для

вдосконалення системи природоохоронних територій не достатнє кількісне збільшення площ. Надзвичайно важливим є підвищення якості використання цих територій, особливо прирічкових. Спеціальні стратегічні документи, які регламентують відновлення вільної течії малих та середніх річок, аналогічні європейському проекту «Dam removal», в Україні поки що не розроблені, але повернення незабудованих річкових заплав до природного стану сприятиме відновленню фауни і флори, зменшить антропогенний вплив на середовище, сприятиме розвитку туризму і рекреації.

Вдосконалення просторової організації парків, максимально наближених до користувачів, з метою використання їх в якості природоохоронних рекреаційних установ, сприятиме розвитку екологічного каркасу міст та приміських територій, забезпечить зв'язок інфраструктури з природним середовищем, підвищить інтерес населення до культурної спадщини, покращить соціально-економічний та психологічний стан населення.

Просторовий розвиток території парку «Боздоський» можливий тільки у випадку, якщо буде максимально збережений природний характер річкової заплави. Нижню північну терасу можливо використовувати обмежено, в період між затопленням паводковими водами. Будівництво захисних гідротехнічних споруд і капітальних будівель в цій частині неефективне, що підтверджено використанням заплавної тераси протягом 70 років існування парку.

Список літератури

1. Афанасьєв С.О. Структура біотичних угруповань та оцінка екологічного статусу річок басейну Тиси. К., СП «Інтердрук», 2006. 101с. DOI: 10.13140/RG.2.1.2864.0160. URL: https://www.researchgate.net/publication/276275256_BIOTIC_COMMUNITIES_STRUCTURE_AND_ASSESSMENT_OF_TISA'S_BASIN_RIVERS_ECOLOGICAL_STATUS.

2. Багрій Н., Голик Й. Особливості просторової організації парків, пам’яток садово-паркового мистецтва в Закарпатській області. *Просторовий розвиток.* 2023. №3. С. 3–22.

3. Боршовський О.І. Природньо-кліматичні особливості прирічкових територій міста Ужгород та специфіка їх розвитку. *Вісник НУЛП Архітектура.* 2021. Вип. 3, №1. С. 8-16.

4. Всеєвропейська стратегія збереження біологічного та ландшафтного різноманіття. Багатостороння угода від 23.10.1995. [Електронний ресурс]. Режим доступу: https://ips.ligazakon.net/document/MU95454 (дата звернення 30.07.2024).

5. Глух О.С., Симканич О.І., Качаєв В.М. Глюдзик Е.І. Зміна NDVI-індексу Карпатського регіону України протягом 2000-2022 років. *Наук. вісник Ужгород. ун-ту (Сер. Хімія)*. 2023. № 1 (49). С 62-67. DOI: 10.24144/2414-0260.2023.1.62-67.

6. Європейська ландшафтна конвенція. [Електронний ресурс]. Режим доступу: http://zakon.rada.gov/ua/laws/show/1994_154.

7. Куліков П.М., Петроченко О.В., Кузьмін Р.І. та ін. Проектування, інженерно-біотехнічне впорядкування та експлуатація водоохоронних зон водних об’єктів: навч. посібник. Київ: Видавничий дім «АртЕк», 2021. 442 с.

8. Методичні рекомендації з відновлення водотоків та прісноводних екосистем. [Електронний ресурс]. Режим доступу: https://www.davr.gov.ua/fls18/r561q.pdf.

9. Оцінка впливу будівництва греблі на біорізноманіття водних та навколо водних видів флори і фауни р. Уж у межах м. Ужгород. Звіт. [Електронний ресурс]. Режим доступу:

https://ekosphera.org/wp-content/uploads/2022/09/report_2022-1.pdf (дата звернення 1.08.2024).

10. Проект «Спільні заходи з попередження природних катастроф у транскордонному басейні річки Уж». Інформаційний бюлетень (FloodUZH). [Електронний ресурс]. Режим доступу: https://flooduzh.buvrtysa.gov.ua/info/tysa_bjuleten_27.07.23%20final.pdf.

11. Станкевич-Волосянчук О., Куртяк Ф., Кіш Р., Пляшечник В. Біорізноманіття середньої течії р. Уж басейну р. Тиса: сучасний стан та антропогенні впливи. Ужгород: РІК-У, 2023. 132 с. https://ekosphera.org/wp-content/uploads/2023/09/uzh_river_biodiversity.pdf.

12. Стратегія біорізноманіття ЄС до 2030 року: повернення природи у наше життя. Чернівці: Друк Арт, 2020. 36 с. [Електронний ресурс]. Режим доступу: https://uncg.org.ua/wp-content/uploads/2020/10/Stratehiia.pdf.

13. Швець А., Глух О. Використання супутникових знімків для аналізу зміни якісних та кількісних параметрів Боздоського парку у м. Ужгороді. 2023. P. 422-424. [Електронний ресурс]. Режим доступу: https://books.google.com.ua/books?id=ZwzkEAAAQBAJ&pg=PA422&lpg=PA422&dq=парк+боздоський&source=bl&ots=HIImrCQg25&sig=ACfU3U0i6AkhgJBWTD_OUkgVTCB8kLbo_Q&hl=uk&sa=X&ved=2ahUKEwj4nb-s486HAxU7HRAIHRL5Hyg4eBDoAXoECAgQAw#v=onepage&q=парк%20боздоський&f=false (дата звернення 30.07.2024).

14. Borshovskyi O., Koznarska H., Lukashchuk H. Organization of the urban public park of culture and recreation in the city of Uzhhorod. Architectural studies. 2021. Vol. 7, No. 1. 1-8.

15. Nature Restoration Law. [Електронний ресурс]. Режим доступу: URL: https://environment.ec.europa.eu/topics/nature-and-biodiversity/nature-restoration-law_en (дата звернення 6.08.2024).

PhD, associate professor **Jolana Holyk**,
Senior lecturer **Nataliia Bagrij,** PhD student **Diana Vantyukh,**
Uzhhorod National University

ON THE SPATIAL ORGANIZATION OF PARKS IN THE ZAKARPATTIA REGION

The preservation of valuable territorial complexes, where the natural river landscape forms the foundation, is an important issue for many countries. Measures to remove river barriers and maintain the natural state of floodplains are applied for this purpose. Bozdosky Park in Uzhhorod is located specifically on a floodplain, but the constructed embankments do not protect the park from flooding. Moreover, there is a continuous reduction in the park's territory due to urban development. The aim is to study the features of the spatial organization of the landscape park monument "Bozdosky Park," located in Uzhhorod, and to outline directions for improving the park's structure.

In general, the park is well-served by convenient transport and pedestrian links to the city center and residential neighborhoods, and its natural recreational resources show no signs of degradation. However, the existing planning structure has some shortcomings: the alleys are visible from long distances, their scale is exaggerated, reinforced by dense rows of trees without breaks, and the sense of intimacy is lacking.

The perspectives of the alleys lack interesting endings, and the dominant role of the water flow, typical of river landscapes, has not been realized. Viewpoints along pedestrian routes along the shoreline are blocked by dense vegetation. The architecture of the park's buildings and structures is of low artistic and aesthetic quality. Therefore, the condition of the existing structures also requires change.

Given the increasing demand for recreational areas, the park's planning structure should include the maximum restoration of the natural flow of the Uzh River, preparation of the area for the passage of floodwaters, regulation of vegetation, placement of non-capital sports facilities, and integration with adjacent urban development through a pedestrian-bicycle bridge.

Conclusion: The spatial development of Bozdosky Park is only possible if the natural character of the river floodplain is preserved to the greatest extent. The lower northern terrace can be used limitedly during the period between flooding by high waters, while the construction of protective hydraulic structures and capital buildings in this area is ineffective.

Keywords: park; landscape park monument; spatial organization; planning foundation; park structures; viewpoints; park tourism.

REFERENCES

1. Afanasiev S. Struktura biotychnykh uhrupovan ta otsinka ekolohichnoho statusu richok baseinu Tysy [Biotic communities structure and assessment of Tisa's basin rivers ecological status]. K., SP «Interdruk», 2006. 101 s. DOI: 10.13140/RG.2.1.2864.0160. {in Ukrainian}

2. Bagriy N., Holyk J. Osoblyvosti prostorovoi orhanizatsii parkiv, pam'iatok sadovo-parkovoho mystetstva v Zakarpatskii oblasti [Features of spatial organization of parks, monument of garden and park art in the Transcarpathian region]. Spatial Development. 2021;(3):3–22. DOI: 10.32347/2786-7269.2023.3.3-22. {in Ukrainian}

3. Borshovskyi O.I. Pryrodno-klimatychni osoblyvosti pryrichkovykh terytorii mista Uzhhorod ta spetsyfika ikh rozvytku [Natural and climatic features of the riverside areas of the city of Uzhhorod and the specifics of their development]. Visnyk NULP Arkhitektura. 2021;3(1):8-16. DOI: 10.23939/sa2021.01.008. {in Ukrainian}

4. Vseievropeiska stratehiia zberezhennia biolohichnoho ta landshaftnoho riznomanittia. Bahatostoronnia uhoda vid 23.10.1995. URL: https://ips.ligazakon.net/document/MU95454. {in Ukrainian}

5. Glukh O.S., Symkanych O.I., Kachaiev V.M., Hliudzyk E.I. Zmina NDVI-indeksu Karpatskoho rehionu Ukrainy protiahom 2000-2022 rokiv [The NDVI index change of the Carpathian region of Ukraine during 2000-2022]. Nauk. visnyk Uzhhorod. un-tu (Ser. Khimiia). 2023;1(49):62-67. DOI: 10.24144/2414-0260.2023.1.62-67. {in Ukrainian}

6. Yevropeiska landshaftna konventsiia. URL: http://zakon.rada.gov/ua/laws/show/1994_154. {in Ukrainian}

7. Kulikov P.M., Petrochenko O.V., Kuzmin R.I. ta in. Proektuvannia, inzhenerno-biotekhnichne vporiadkuvannia ta ekspluatatsiia vodookhoronnykh zon vodnykh obiektiv: navch. posibnyk. Kyiv: Vydavnychyi dim «ArtEk», 2021. 442 s. {in Ukrainian}

8. Metodychni rekomendatsii z vidnovlennia vodotokiv ta prisnovodnykh ekosystem. URL: https://www.davr.gov.ua/fls18/r561q.pdf. {in Ukrainian}

9. Otsinka vplyvu budivnytstva hrebli na bioriznomanittia vodnykh ta navkolo vodnykh vydiv flory i fauny r. Uzh u mezhakh m. Uzhhorod. Zvit. URL: https://ekosphera.org/wp-content/uploads/2022/09/report_2022-1.pdf. {in Ukrainian}

10. Proekt «Spilni zakhody z poperedzhennia pryrodnykh katastrof u transkordonnomu baseini richky Uzh». Informatsiinyi biuleten (FloodUZH). URL: https://flooduzh.buvrtysa.gov.ua/info/tysa_bjuleten_27.07.23%20final.pdf. {in English}

11. Stankevych-Volosianchuk O., Kurtiak F., Kish R., Pliashechnyk V. Bioriznomanittia serednoi techii r. Uzh baseinu r. Tysa: suchasnyi stan ta antropohenni vplyvy. Uzhhorod: RIK-U, 2023. 132 s. https://ekosphera.org/wp-content/uploads/2023/09/uzh_river_biodiversity.pdf. {in Ukrainian}

12. Stratehiia bioriznomanittia YeS do 2030 roku: povernennia pryrody u nashe zhyttia. Chernivtsi: Druk Art, 2020. 36 s. URL: https://uncg.org.ua/wp-content/uploads/2020/10/Stratehiia.pdf. {in English}

13. Shvets A., Hlukh O. Vykorystannia suputnykovykh znimkiv dlia analizu zminy yakisnykh ta kilkisnykh parametriv Bozdoskoho parku u m. Uzhhorodi. Scientists and existing problems of human development. Proceedings of the international scientific and practical conference. Zagreb, Croatia, November 14-17, 2023. S. 422-424. URL: https://books.google.com.ua/books?id=ZwzkEAAAQBAJ&pg=PA422&lpg=PA422&dq=парк+бoздоський&source=bl&ots=HIImrCQg25&sig=ACfU3U0i6AkhgJBWTD_OUkgVTCB8kLbo_Q&hl=uk&sa=X&ved=2ahUKEwj4nb-s486HAxU7HRAIHRL5Hyg4eBDoAXoECAgQAw#v=onepage&q=парк%20бoздоський&f=false. {in Ukrainian}

14. Borshovskyi O., Koznarska H., Lukashchuk H. Organization of the urban public park of culture and recreation in the city of Uzhhorod. Architectural studies. 2021;7(1):1-8. DOI: 10.23939/as2021.01.001. {in English}

15. Nature Restoration Law. URL: https://environment.ec.europa.eu/topics/nature-and-biodiversity/nature-restoration-law_en. {in Ukrainian}

DOI: 10.32347/2786-7269.2025.11.328-341
УДК 711

к.т.н., доцент **Голик Й.М.,**
g.jolana@ukr.net, ORCID: 0000-0001-5135-0711,
Федорянич Т.В.,
t.fedoryanich13@gmail.com, ORCID: 0000-0002-8256-0073,
Пудгородська Ю.А.,
pudgorodska.yuliia@student.uzhnu.edu.ua, ORCID: 0009-0000-8933-336X,
Ужгородський національний університет

ЗАСТОСУВАННЯ ЗАСОБІВ МАЛОЇ МЕХАНІЗАЦІЇ ДЛЯ БЛАГОУСТРОЮ МІСЬКИХ ТЕРИТОРІЙ

З розвитком міської інфраструктури все більш актуальною стає тема благоустрою та озеленення міських територій та управління процесами щодо підтримання комфортного міського середовища. У статті досліджено основні проблеми благоустрою та озеленення територій, утримання міських територій, а також шляхи їх вирішення за допомогою застосування засобів малої механізації. Запропонована інноваційна комунальна техніка дозволить створити сприятливе довкілля сучасного жителя із забезпеченням комфортних умов для всіх видів його діяльності.

Ключові слова: благоустрій міських територій; засоби малої механізації; інноваційна комунальна техніка.

Постановка проблеми. З розвитком міської інфраструктури та збільшенням використання громадських просторів проблема благоустрою і озеленення територій стає все більш значущою, що зазвичай вимагає ретельно продуманих зважених рішень в управлінні, які пов'язані з плануванням роботи організацій з благоустрою та озеленення, а саме впровадженням засобів механізації для утримання міських територій протягом року в чистоті й порядку. Для цього необхідно комплексно механізувати всі трудомісткі операції, зменшуючи використання людських ресурсів.

Благоустрій та озеленення територій є комплексом заходів щодо планування і озеленення існуючих та створення нових територій, і, як правило, охоплює досить об'ємне коло соціально-економічних, санітарно- гігієнічних, інженерних та архітектурних питань, вирішення яких може представляти складність як з фінансової точки зору, так і в скоординованих діях з боку управління органами місцевої влади. Підтримка високого рівня благоустрою та озеленення безпосередньо залежить і від самих громадян, від ступеня їхньої свідомості. Сфера зовнішнього благоустрою є однією з головних галузей у

життєзабезпеченні комунального господарства, яка безпосередньо впливає на комфорт, зручність, безпеку, естетичний стиль, загалом на рівень життя населення.

Метою публікації є дослідження основних проблем благоустрою та озеленення територій, утримання міських територій, а також шляхи їх вирішення за допомогою застосування засобів малої механізації.

Виклад основного матеріалу. Об'єктами благоустрою та озеленення території є всі елементи міського господарства, що охоплює все місто, крім частини ділянок природного комплексу, що підлягають екологічній реабілітації. Ця важлива сфера діяльності адміністрації міста вимагає ретельно зважених управлінських рішень, пов'язаних із діяльністю комунального господарства та використанням сучасних засобів механізації.

Міський благоустрій та озеленення - це житловий, вуличний благоустрій та озеленення, планування нового будівництва, поліпшення стану житлового фонду, забезпечення збереження зелених насаджень, догляд за дорогами, вулицями та тротуарами, підтримка стану вуличного транспорту тощо. Для утримання міських територій використовується велика кількість техніки, яка виконує найрізноманітніші задачі: догляд за зеленими насадженнями; підмітання та миття вулиць, тротуарів, площ, майданчиків; вивіз сміття; прибирання снігу та опалого листя тощо.

Отже, комунальну техніку умовно можна поділити на два основні типи:

- велика - призначена для прибирання та ремонтних робіт на міських вулицях;
- мала - допомагає очищати невеликі території (житлові комплекси, парки, приватні території) та відрізняється меншими габаритами.

Специфіка проведення робіт в умовах усталеної існуючої міської забудови висуває до техніки, крім загальних, ще і спеціальні вимоги, до яких відноситься можливість працювати в стиснених умовах, обмеженість розмірів і маси машин, що визначаються габаритами споруд і міських територій, стаючи перешкодою для використання цієї техніки. Саме тому засоби малої механізації краще підходять для міської експлуатації. Компактні розміри та чудове маневрування забезпечують легкий доступ до вузьких ділянок та ефективне проведення робіт. Така техніка з легкістю оминає бар’єри, може обійти навколо ліхтарних стовпів та інших перешкод у міському просторі, що істотно розширює зону застосування машин.

Зокрема, засоби малої механізації активно застосовуються в зелених зонах. Під час догляду за зеленими насадженнями проводяться роботи по очищенню газонів від листя і сміття, скошування трави, підстригання кущів,

обрізання сухих гілок. Крім того, здійснюється фрезерування та аерація ґрунту газонів, дощування, підживлення і захист рослин від шкідників та хвороб.

Аналіз проблем благоустрою та озеленення міських території показує, що існує досить багато різних напрямків, якими необхідно постійно займатися і для вирішення цих проблем, необхідно ефективно впровадити засоби механізації (таблиця 1).

Таблиця 1

Шляхи вирішення проблем благоустрою та озеленення території за допомогою малої комунальної техніки

Найменування проблеми благоустрою	**Засоби реалізації**	**Застосування комунальної техніки для вирішення проблеми**
1. Сміття на вулицях	Забезпечення вулиць необхідною кількістю сміттєприймачів, вторинна переробка відходів, придбання механізмів переробки	Підмітальні машини, підмітально-прибиральні, спеціальні прибиральні, вуличні пилососи, гідравлічні міні-сміттєвози тощо
2.Недоглянутість прибудинкових територій, дворів	Виконання робіт щодо утримання територій житлових комплексів	Газонокосарки, подрібнювачі гілок, садово-паркові пилососи, повітродувки тощо
3. Незадовільний стан міських доріг, вулиць, тротуарів	Регулярне та якісне виконання ремонту дорожніх робіт	Вакуумні машини, тротуароприбиральні машини, снігоприбиральні машини, сніжна щітка, сніжна фреза (ротор), розкидувачі солі та піску, поливально-мийні машини, вакуумна установка для збору листя тощо
4. Низький рівень озеленення території, збереження зелених насаджень	Створення системи територій із зеленими насадженнями, а також окремих посадок дерев та чагарників, пов'язане з величиною та значенням міста, з його планувальною структурою	Різальні машини та обладнання, газоноочищувачі, поливальні машини, дощувальні установки, кущорізи, ротаційна мульч/косарка, вертикутер для високої трави та бур’янів, різак для живоплотів, обрізчик кромки газонів, екологічні граблі тощо

Машини для догляду за рослинами повинні працювати з мінімальною витратою енергії, оскільки тісна площа міських озеленювальних ділянок не дозволяє використовувати великогабаритні машини. Цим вимогам повинні відповідати спеціальні різальні апарати машин для міських озеленювальних господарств. Те саме стосується і машин для обробки ґрунту, в яких при

незначній масі повинне бути достатнє тягове зусилля, що забезпечує працездатність машини з навісними і причіпними знаряддями. Це обумовлює особливі вимоги до підбору машин. Отже, оскільки у складних умовах міського середовища можна використовувати в основному малогабаритні машини і механізовані інструменти, для цих завдань використовують різні засоби малої механізації.

Основні види засобів малої механізації та її застосування для благоустрою міських територій.

Підмітальні

Підмітання основ всіх видів є найрозповсюдженішою операцією під час прибирання споруд та міських територій. Підмітально-прибиральні машини призначені для видалення забруднень з твердих дорожніх покриттів, очищення міських територій, збирання і транспортування сміття. Такі машини застосовують для забезпечення ефективного та швидкого прибирання будь-якої поверхні — таких як бруківка, газон чи природний ґрунт. Завдяки цьому підтримується чистота на ділянці на регулярній основі.

За призначенням підмітально-прибиральні машини поділяються на три групи:

1. Підмітальні, що призначаються для очищення поверхні з видаленням сміття вбік за допомогою щітки.

2. Підмітально-прибиральні, що призначені для очищення поверхонь і збирання сміття всередину машини за допомогою повітря.

3. Спеціальні прибиральні, що призначені для видалення і збирання з поверхні металевих та інших предметів.

У підмітально-прибиральних машинах, що мають всмоктувальні робочі органи, за допомогою вентиляторів створюється повітряний потік, який видаляє і транспортує сміття. Всмоктувальне сопло збирає все - банки, недопалки, гілки, пил, стружки та листя.

За допомогою додаткової щітки машина може також підмітати такі елементи, як лавки та бордюри і дуже ефективно очищати навколо інших перешкод. Виносний всмоктувальний шланг дозволяє виконувати прибирання там, де підмітальний блок не може дістатися, наприклад, підвали, сходи і навіть контейнери для сміття. Завдяки компактним розмірам та малому радіусу повороту можна використовувати машину в місцях з обмеженим простором. Підмітання вузьких пішохідних та велосипедних доріжок чи інших зон з обмеженим простором не є проблемою, що забезпечує оптимальний результат роботи, низьку вартість та економію часу.

Для садово-паркових робіт широко використовують садові пилососи. Вони є ефективним інструментом, який дозволяє швидко і якісно прибрати територію, позбувшись опалого листя, обламаних гілок, жолудів та шишок.

Для видалення листя і сміття з пристовбурних лунок дерев, з-під кущів і чагарникових огорож, біля бордюрного каменю, огорожі застосовуються ручні повітродувки. Двигун забезпечує роботу вентилятора, що створює потужний повітряний потік. Завдяки легкій вазі та високій продуктивності, вони забезпечують ефективне прибирання великих площ, підвищуючи ефективність роботи.

Для прибирання листя, скошеної трави та сміття застосовуються газоноочищувачі. За принципом дії вони бувають механічними, пневматичними і комбінованими.

Механічні очисники мають робочий орган роторного типу, який прибирає матеріал з поверхні і направляє його в бункер. Робочим органом очищувача, як правило, є щітка, що обертається, з синтетичного матеріалу. При наповненні бункера агрегат переміщається до місця розвантаження, звільняється від листя і повертається для подальшої роботи. При компонуванні підбирача листя і подрібнювача агрегат подрібнює листя і розподіляє її по поверхні газону.

Пневматичні газоноочищувачі відрізняються від механічних простотою конструкції і можливістю крім прибирання листя та сміття з поверхні газону використовувати їх для очищення асфальтованих доріжок і майданчиків від пилу і листя.

Поливально-мийні машини

Поливально-мийні машини призначені для поливання і мийки дорожніх покриттів, поливання зелених насаджень, гасіння пожеж, підвозу води та інших спеціальних видів робіт. В теплу пору року вони прочісують всі основні транспортні магістралі, прибираючи сміття, землю, пил та інші забруднення. Таку техніку також можна використовувати і взимку для обробки доріг та тротуарів рідкими протиожеледними реагентами.

Миття дорожніх покриттів, майданів, проїздів, тротуарів, доріг шириною 3 м і більше виконується великогабаритними комбінованими поливально-миючими машинами. Але для смуг дорожніх покриттів менше 2 м і смуг будь-якої ширини, але для важкодоступних для обслуговування пересувними механізмами доріг використовують саме малогабаритну техніку.

Мийка підлог з твердим покриттям (бетон, плитка, та ін.) здійснюється машинами, заснованими на двох принципах: механічному відокремленні бруду від підлоги за допомогою щіток, які обертаються і пневмотранспортному видаленні відпрацьованого мийного розчину разом з частками бруду.

Сучасні поливально-мийні машини мають мало спільного з архаїчними попередниками, які просто збивали бруд до узбіччя напором води. Сьогодні вони високотехнологічні, ефективні і прості в управлінні.

Для підтримання благоустрою парків та скверів, необхідно регулярно поливати зелені рослини та насадження. Найелементарнішою системою поливу є підключений до водопроводу гнучкий шланг. Проте цей спосіб застосовує ручну працю, забезпечуючи малу ефективність та продуктивність у порівнянні з автоматизованими системами поливу. Саме тому широкого застосування в зеленому господарстві отримали дощувальні установки: стаціонарні, напівстаціонарні і пересувні.

Пересувні дощувальні установки вмонтовують на автомобілях. Напівстаціонарні установки зазвичай виконуються у вигляді пересувних напівавтоматичних агрегатів для шлангового поливу. Стаціонарні установки розташовують на газоні у визначеному місці і обслуговують ними тільки ту площу навкруги установки, яка може бути оброблена відповідно до її продуктивності і дальності викиду водяного струменя. Коли газон більше площі, на ньому розміщують декілька установок.

Стаціонарні дощувальні установки дозволяють повністю автоматизувати процес поливу, оскільки оператору немає необхідності кожного разу перед черговим поливом розміщувати їх по газону. Установки, розміщені на газоні, як правило, постачаються від насоса, що забирає воду з водоймища, яке знаходиться поблизу, або від спеціально підведеної до газону водопровідної лінії. Проте стаціонарні установки мають свій недолік: низький коефіцієнт використання в часі. Вони залишаються на газоні і тоді, коли переміщати їх з місця на місце трудомістко, оскільки монтаж і демонтаж арматури трубопроводів представляють визначену складність.

Незалежно від типу і конструкції дощувальної установки обов'язковою її складовою частиною є дощувальні насадки, що розподіляють воду у вигляді дощу по зрошуваній поверхні. За способом утворення дощу насадки підрозділяють на віялові і струменеві. Віялові насадки створюють потік води у вигляді тонкої плівки. Насадки закріплені нерухомо і зрошують одночасно всю прилягаючу до них площу. Струменеві насадки створюють направлений потік води у вигляді вісесиметричного струменя або декількох струменів. При поливі ці насадки обертаються навкруги вертикальної осі, послідовно зрошуючи прилягаючу до дощувальної установки зону.

В міських підприємствах зеленого господарства найбільше розповсюдження отримали віялові насадки. Пояснюється це можливістю отримання дрібнодисперсного розпилення води в безпосередній близькості від

насадки і порівняно (із струменевими насадками) невеликим радіусом дії (до 10 м), що не менш важливе в обмежених умовах міських територій.

Снігоприбиральні

Завдяки снігоприбиральним машинам не має необхідності прибирати сніг вручну лопатою. Крім того, цю техніку застосовують не лише для звільнення приватних ділянок від снігу, а й для утримування вулиць, доріг, майданів та інших міських територій взимку. Великою популярністю користуються великогабаритні машини або трактори з спеціальними відвалами, здатні очищати велику територію від снігу. Це плугові, плугово-щіткові, а також фрезерно-, шнеко-, плугово-роторні очисники для прибирання снігу. Плугові снігоочисники можуть бути зсуваючої та відкидаючої дії. Перші мають велику зчіпну вагу, високі тягові властивості і можуть ефективно працювати зі снігом значної щільності та міцності. Снігоочисники відкидаючої дії мають досить великі робочі швидкості і використовуються для розчищення доріг безпосередньо після снігопаду. Вони призначені для видалення свіжовипаденого снігу та снігу невеликої щільності з тротуарів, вулиць та інших територій міста. Для патрульного очищення доріг під час снігопаду використовують плугово-щіткові очисники, які обладнані крім переднього відвалу циліндричною щіткою, що установлена під кутом 60^{o} до напряму руху машини і має капроновий або металевий ворс. Проте для малих площ чи важкодоступних місць, таких як стоянки для авто, проїзди, тротуари чи доріжки в зелених зонах, найкраще підійдуть засоби малої механізації.

Для невеликої території підійде і несамохідний снігоприбирач, який слід штовхати перед собою своєю мускульною силою. Проте в міських умовах з великою площею для очищення необхідна самохідна техніка, за якою треба йти, контролюючи і направляючи її рух у потрібний бік.

Деякі снігоприбирачі мають додаткові функції, такі як підігрівання ручок, фари, автоматична система поворотів, що значно полегшує прибирання.

Був розроблений абсолютно самостійний снігоприбирач Юкі-таро (Yuki-taro). Це - робот, оснащений системою GPS і відеокамерами-очима. Він здатний згрібати сніг на ділянці, обходячи різні перешкоди і автоматично підстроюючись під умови довкілля. До того ж, робот не просто згрібає сніг, він його «їсть»: переробляє у кубики льоду і опускає їх позаду себе.

Крім того, взимку використовуються розподільники піску та реагентів танення снігу. Вони призначені для ефективного відтавання слизьких поверхонь, запобігаючи травмуванню людей та ковзанню коліс автомобілів.

Різальні

Щоб прогулянки парком були комфортними, щоденно виконується комплекс заходів благоустрою парків та зелених зон, щоб вони виглядали добре

і були привабливим активом для відвідувачів та мешканців. Складовою такого комплексу є регулярна обрізка трави, кущів та дерев.

На будь-якій ділянці зеленої зони є територія з газоном або луговою травою, яку періодично потрібно приводити в порядок і косити. Раніше для цього використовувалася тільки коса. Зараз є можливість придбати тример — ручну електричку мережеву або акумуляторну косарку, обладнану електричним або бензиновим двигуном. В якості ріжучого елемента використовується спеціальна волосінь.

Тример однаково гарний як для видалення густої трави як на відкритому просторі, так і біля кущів, дерев, стовпів та парканів у важкодоступних місцях, невідповідних для повноцінної колісної газонокосарки. Як правило, тримери мають невелику вагу і тому з ними легко управляти, при цьому вони ні в чому не поступаються газонокосаркам, крім того мають високу маневреність, що дозволяє підстригти газон за лічені хвилини.

Одна з головних технічних характеристик при виборі тримера є його потужність. Оскільки саме від цього параметра залежить швидкість роботи і природно, що чим вище потужність тримера, тим краще. До переваг такої техніки можна також віднести легкий запуск, низький рівень шуму, відсутність вихлопних газів, невелика вага і економічність .

Тример, обладнаний бензиновим двигуном, зазвичай називається ще мотокосою або бензокосою.

Роботи-косарки – це високотехнологічні машини, які самостійно знаходять місце зарядки, коли необхідно перезарядити батарею, мають сенсори дощу і забезпечують високотехнологічну роботу по стрижці трави, звільняючи тим самим людину від стомлюючої роботи. Стандартна косарка-робот вимагає установки шнура для визначення меж скошуваної ділянки. Робот визначає шнур як кордон території, призначеної для скошування, а також для визначення місця підзарядки.

Для скошування трави на великих ділянках в міських умовах, підтримки гарного вигляду газонів та трав'яних доріжок використовують газонокосарки. Вони швидкі, міцні та ефективні під час скошування та повторного скошування трави, а також видування дрібних скошених частинок на газон у вигляді компосту (комплект для мульчування є додатковим). Завдяки шарнірній конструкції, косарки надзвичайно маневрені та здатні пересуватися практично будь-де. Газонокосарки великої продуктивності мають збільшені ширину обробки і швидкість переміщення. Їх виготовляють на чотириколісному шасі і обладнують спеціальним ножовим апаратом.

Більшість газонокосарок управляються людиною позаду шляхом штовхання (несамохідні) або з допомогою направляння в потрібну сторону

(самохідні), але є і такі моделі, управління якими здійснюється за допомогою рульового управління (райдери).

Косарки поділяються на кілька видів: роторні, молоткові, мульчуючі. Також вони є ручні та механізовані.

За потреби можна застосувати додатковий контейнер для збору скошеної трави чи опалого листя. У спеціальний резервуар, який слугує травозбірником, скошена трава потрапляє через отвір, забезпечуючи зручність та ефективність роботи.

Обрізку гілок на деревах можна проводити не лише ручним способом за допомогою ножиць чи секаторів, а й механізованим. Для цього використовують обрізувачі для гілок, висоторізи, бензопили та електропили.

Обрізувач гілок включає двигун, приводний вал, робочі органи, систему управління, переносний пристрій.

Висоторіз призначений для формування крони і обрізки гілок. Це високопродуктивним моторизованим інструментом, що дозволяє за допомогою телескопічної штанги проводити обрізання безпосередньо з землі. Довжина телескопічної штанги може змінюватися від 2 до 6 м.

Для обрізки дерев, проріджування великого чагарнику, розпилювання спиляних сучків, заготівлі тонкоміра, обрізки гілок з повалених дерев застосовуються легкі бензопили і електропили. Легкі пили, як правило, мають невелику вагу, обладнані системою полегшеного запуску двигуна, електронним пристроєм запалювання, каталізатором для скорочення частки незгорілого палива в вихлопному газі, антивібраційною системою, гальмом пиляльного ланцюга, фільтрувальної системою тривалої дії, захистом.

Кущоріз - ручний переносний електроінструмент - складається з електродвигуна, редуктора і ріжучого органу. Він використовується для механізованої стрижки живоплоту в парках, скверах, на бульварах, уздовж доріг.

Для обрізки і формування надземної частини кущів, стрижки огорож різних видів, обрізки мертвих гілок і сучків застосовують не лише ручні моторизовані інструменти, а також спеціальне навісне обладнання до тракторів.

Землерийні

На малих площах складної конфігурації функції землерийних машин досить ефективно виконують малогабаритні силові агрегати з відповідним обладнанням. В якості таких агрегатів сьогодні успішно використовуються вітчизняні і зарубіжні малогабаритні екскаватори. Вони ідеально підходять для різних невеликих земляних робіт, таких як прокладання електричних кабелів чи систем водовідведення в важкодоступних місцях без переміщення великої кількості ґрунту. Завдяки своїм компактним розмірам така техніка може

виконувати роботу там, де екскаватори стандартних розмірів не зможуть проїхати. До того ж, траншея, вирита засобами малої механізації, буде вужча і рівніша, а її глибину можна легше регулювати.

Багатофункціональні

Проте одна підмітальна машина може здійснювати різні завдання стосовно прибирання території: обкіс газонів, вакуумне прибирання, транспортування трави або сипучих складів, прибирання снігу. Всі ці маніпуляції проводяться з допомогою різних високоефективних навісних агрегатів, які роблять одну машину досить функціональною і корисною в будь-який час року.

Все навісне обладнання може бути замінено однією людиною - для установки не потрібні жодні інструменти, а також виключаються підйоми важкого.

Для будь-яких завдань пропонується широкий асортимент навісного обладнання: щіткові агрегати різних типів для прибирання; косарки, щітки для видалення бур'янів та лійки для догляду за зеленими насадженнями; роторні снігоочисники, снігоприбиральні відвали та розкидачі для зимової експлуатації; апарати високого тиску та системи змивання для вологого прибирання. Таким чином забезпечується продуктивність та зручність обслуговування при виконанні будь-якого завдання протягом дня. Все навісне обладнання може бути замінено однією людиною - для установки не потрібні жодні інструменти, а також виключаються підйоми важкого.

Функціональні можливості залежать від конкретної комплектації, в якості якої можуть застосовуватися. Залежно від вільних технічних характеристик машини призначені для прибирання територій різних обсягів. Продумана конструкція робить машину не тільки маневреною, але і універсальною у використанні як для щоденного догляду за територією, так і для генеральних робіт. Всі елементи управління ергономічно розташовуються і можуть бути в різному виконанні.

Висока продуктивність і багатофункціональність – дві основні переваги, які коротко описують сучасні моделі комунальних машин.

У багатьох сучасних машин самохідні шасі має шарнірно-зчленовану раму та спроєктовані так, що задня частина шасі повторює траєкторію руху передньої частини. Вузькі машини (лише 1090 мм) з шарнірно-зчленованою рамою і дуже малим діаметром повороту чудово підходять для міської експлуатації.

Сучасна малогабаритна комунальна техніка для благоустрою міських територій наведена на рис.1.

Екологічні граблі	Обрізчик кромки газону	Різак для живоплоту
Щітка для бур'янів	Ротаційна/мульч косарка	Вакуумна установка для збору листя
Розкидувач солі та піску	Сніжна фреза (ротор)	Сніжна щітка
Підмітальна машина, пилосос	Трактор косилка	Машина для обрізки гілок та дерев

Рис.1. Сучасна малогабаритна комунальна техніка для благоустрою

Висновки. Отже, необхідною умовою функціонування міського господарства є всесезонне утримання вулиць, паркових зон та прибудинкових територій. Для вирішення даного завдання широке застосування знаходять малогабаритні комунальні машини. Для благоустрою міських територій, утримання в чистоті та порядку необхідно комплексно механізувати процес роботи комунальних служб із застосуванням сучасних засобів малої механізації. Перевагами засобів малої механізації є:

- нижча вартість у порівнянні з засобами великої механізації;
- маневреність;
- прибирання можна здійснювати в різних режимах експлуатації;
- місткі конструктивні елементи;
- менше місця, необхідного для складських приміщень.

Фактори, які впливають на вибір комунальної техніки:

- який тип обладнання необхідний відповідно до технологічної карти об'єкта; автономне має бути обладнання або працююче від гідравліки або пневматики “тягача”;
- розміри машини (чим менший апарат, тим більше маневреності можна від нього очікувати й тим зручнішим буде його використання при прибиранні прибудинкових територій та парків);
- рівень потужності та вантажопідйомності;
- комплектація (що більша кількість додаткового обладнання в машині, тим ширший її функціонал і вища вартість).

Література:

1. Вольтерс О.Ю., Пелевін Л.Є., Пристайло М.О. Машини і механізми міського господарства: навчальний посібник – К: КНУБА, 2017. – 268 с.

2. Всесезонні машини. *Kärcher Ukraine*. URL: https://s1.kaercher-media.com/media/file/250044/p_mc_50_brochure_a4_24s_ua_18032023-view.pdf.

3. Карлова О.А. Технології виробництва в міському господарстві: Навч. посібник. – Харків: ХНАМГ, 2005. – 156 с.

4. Ліпянін В.А., Стародуб І.В. Інженерна підготовка і благоустрій міських територій. Навчальний посібник. – Рівне: НУВГП, 2015. – 293 с.

5. Мала механізація Rasco. *АВТЕК. Автотехніка*. URL: https://avtek.ua/ua/rasco/malaa-mehanizacia.

6. Машини, що забезпечують життя будь-якого міста. *Альфатех*. *Новини*. 01.03.2015. URL: https://alfatech.com.ua/news/mashiny-obespechivajushhie-zhizn-ljubogo-goroda.

7. Машини комунальні в Україні. *SWT-Group*. *Новини*. 01.11.2016. URL: https://energomash.in.ua/ua/n199388-mashiny-kommunalnye-ukraine.html.

8. Чегодаєв С. Агрегати для снігоприбирання. *Агробізнес сьогодні*. *Життєве середовище*. 01.02.2012. URL: https://agro-business.com.ua/agro/zhyttieve-seredovyshche/item/8291-ahrehaty-dlia-snihoprybyrannia.html.

9. Park Ranger 2150 Багатофункціональна комунальна машина. *СП КБТ*. *Головна*. URL: https://egholm.com.ua/equipment/city-ranger-2150-utility-machine.

Ph.D., associate professor **Yolana Holyk**,
Lecturer **Tetyana Fedoryanich, Yuliia Pudhorodska,**
Uzhhorod National University

APPLICATION OF SMALL-SCALE MECHANIZATION TOOLS FOR URBAN LANDSCAPING

With the development of urban infrastructure, the topic of urban landscaping and gardening and management of processes to maintain a comfortable urban environment is becoming increasingly relevant. The article presents the main problems of landscaping and greening, maintenance of urban areas, as well as ways to solve them with the use of small-scale mechanization. The proposed innovative municipal equipment will create a favorable environment for a modern resident with comfortable conditions for all types of his activities.

Landscaping and landscaping of territories is a set of measures for planning and landscaping of existing and creating new territories, and, as a rule, covers a fairly extensive range of socio-economic, sanitary-hygienic, engineering and architectural issues, the solution of which can be difficult both from a financial point of view and in coordinated actions by local government authorities. Maintaining a high level of landscaping and landscaping directly depends on the citizens themselves, on the degree of their awareness. The sphere of external landscaping is one of the main branches in the life support of municipal services, which directly affects comfort, convenience, safety, aesthetic style, and in general the standard of living of the population.

The purpose of the publication is to study the main problems of landscaping and landscaping of territories, maintenance of urban territories, as well as ways to solve them using small mechanization.

Keywords: urban landscaping; small-scale mechanization; innovative municipal equipment.

REFERENCES

1. Volters O.Iu., Pelevin L.Ie., Prystailo M.O. Mashyny i mekhanizmy miskoho hospodarstva: navchalnyi posibnyk. – K: KNUBA, 2017. – 268 s. {in Ukrainian}

2. Vsesezonni mashyny. Kärcher Ukraine. URL: https://s1.kaercher-media.com/media/file/250044/p_mc_50_brochure_a4_24s_ua_18032023-view.pdf. {in Ukrainian}

3. Karlova O.A. Tekhnolohii vyrobnytstva v miskomu hospodarstvi: Navch. posibnyk. – Kharkiv; KhNAMH, 2005. – 156 s. {in Ukrainian}

4. Lipianin V.A., Starodub I.V. Inzhenerna pidhotovka i blahoustrii miskykh terytorii. Navchalnyi posibnyk. – Rivne.: 2015. – 293 s. {in Ukrainian}

5. Mala mekhanizatsiia Rasco. AVTEK. Avtotekhnika. URL: https://avtek.ua/ua/rasco/malaa-mehanizacia. {in Ukrainian}

6. Mashyny, shcho zabezpechuiut zhyttia bud-yakoho mista. Alfatekh. Novyny. 01.03.2015. URL: https://alfatech.com.ua/news/mashiny-obespechivajushhie-zhizn-ljubogo-goroda. {in Ukrainian}

7. Mashyny komunalni v Ukraini. SWT-Group. Novyny. 01.11.2016. URL: https://energomash.in.ua/ua/n199388-mashiny-kommunalnye-ukraine.html. {in Ukrainian}

8. Chehodaiev S. Ahrehaty dlia snihoprybyrannia. Ahrobiznes sohodni. Zhyttieve seredovyshche. 01.02.2012. URL: https://agro-business.com.ua/agro/zhyttieve-seredovyshche/item/8291-ahrehaty-dlia-snihoprybyrannia.html. {in Ukrainian}

9. Park Ranger 2150 Bahatofunktsionalna komunalna mashyna. SP KBT. Holovna. URL: https://egholm.com.ua/equipment/city-ranger-2150-utility-machine {in Ukrainian}

DOI: 10.32347/2786-7269.2025.11.342-353
УДК 711;625

д.т.н., професор **Гук В.І.,**
vguk@ukr.net, ORCD0000-0003-4198-7027,
Одеська державна академія будівництва та архітектури,
к.т.н., доцент **Запорожцева О.В.,**
zhelen77@ukr.net, ORCID:0000-0002-4975-8643,
Харківський національний автомобільно-дорожній університет

ПОНЯТІЙНИЙ АПАРАТ ТРАНСПОРТНИХ ПОТОКІВ ДЛЯ ДИЗАЙНЕРІВ ПРИ ПРОЕКТУВАННІ МІСЬКОГО СЕРЕДОВИЩА

Розглядаються ключові терміни та поняття, що стосуються станів (видів руху) транспортних потоків, для їх прикладного застосування в розробці дизайну проєктів вулиць і доріг у міському середовищі. Описуються змінні та параметри транспортного потоку, як фундаментальні (кількість потоку, транспортний шлях, транспортний час), так і похідні за часом, переміщенням і кількістю потоку. Зокрема, розглянуто такі показники, як інтенсивність, швидкість, щільність, інерційність, динамічний габарит та напруженість.

Окрема увага приділяється потенціалам систем: «дорожній потенціал», «транспортний потенціал», а також коефіцієнтам станів системи «дорога – транспортний потік» у межах теорії транспортних потоків.

У роботі видокремлено різні види станів транспортного потоку: нульовий, усталений, рівноважний, періодичний, стійкий, нестійкий. Розглянуто рівняння, змінні станів, траєкторії та портрети станів, а також їх мікро- та макрорівні.

Також наведено класифікацію видів руху: вільний, груповий, насичений, безперервний, оптимальний, граничний, а також розглянуто рівні насичення, оптимальний міський рух, перехідні режими, колонний рух і затори. Виділено види транспортних потоків: нещільний, щільний, квазіпотік, найпростіший і регулярний, а також рівняння, що описують їхні рухи. Ця робота є базою для інтеграції термінів і методів у процеси розробки транспортної інфраструктури, сприяючи ефективному плануванню та організації міського руху.

Ключові слова: транспортний потік; стан; міський рух; кількість потоку; транспортна година; транспортний шлях.

Постановка проблеми. Мета роботи.

Відбудова зруйнованих міст і поселень внаслідок нападу та війни з боку РФ, а також реконструкція існуючих міст, особливо великих,

здійснюватимуться з урахуванням вимог чинних ДБН [4-6,]. Проте ці норми не вдосконалені, оскільки базуються на законах та вимогах, орієнтованих на рух одиночних автомобілів.

Високий рівень автомобілізації населення України трансформував міський рух у потоки транспортних засобів, і в майбутньому це явище лише посилюватиметься. Дослідження законів руху транспортних потоків перебуває у сфері інтересів спеціалістів різних галузей. Водночас транспортники часто не знають принципів розбудови та планування міст, тоді як архітектори (урбаністи, дизайнери) не обізнані із законами руху транспортних потоків.

Для того, щоб забезпечити ефективну співпрацю між транспортниками та архітекторами, необхідно створити спільний інформаційний простір, де вони зможуть використовувати однакову термінологію та підходи. Це дозволить впроваджувати спільні рішення у проєктах із розвитку міського середовища. У представленій праці пропонується необхідна інформація та пояснення, які сприятимуть цьому процесу.

Виклад основного матеріалу.

Транспортний потік – це складна система, що включає транспортні засоби, які рухаються, водіїв, проїзну частину, облаштування вулиць і доріг, а також навколишнє середовище. Зворотний зв’язок у цій системі забезпечується діями водіїв, дизайнерами та підсистемою управління дорожнім рухом (АСУД) [3-7, 9-12].

Основним принципом функціонування системи «транспортний потік» є цілісність процесу руху. Первинною характеристикою виступає цілісність потоку, а вторинними – положення та швидкість транспортних засобів (або пішоходів) у складі потоку [3-9].

Стан транспортного потоку визначається як сукупність параметрів, що описують його як динамічну систему. У цьому стані вхідні характеристики потоку в конкретний момент часу дозволяють однозначно визначити будь-яку змінну, яка характеризує транспортний потік у даний момент [3-7].

Нульовий стан характеризується відсутністю руху. Він може спостерігатися як у ситуації повного затору, так і на порожній дорозі [3-7].

Стан, що встановився, передбачає рух транспортного потоку з постійною інтенсивністю та швидкістю протягом досить тривалого періоду.

Рівноважний стан є особливим різновидом стану, коли всі ключові параметри, такі як інтенсивність руху, швидкість, дистанції між транспортними засобами та керуючі дії водіїв, залишаються незмінними [3-7].

Періодичний стан описує рух транспортного потоку із періодичними зупинками, затримками або змінами основних характеристик потоку [3-7].

Стійкий стан – це різновид рівноважного та періодичного станів, що спостерігається протягом певного проміжку часу. У цьому стані значення інтенсивності, швидкості та дистанції залишаються постійними. Стійкий стан може бути миттєвим і виникає, наприклад, під час затору, відсутності руху, а також у ситуаціях, коли транспортний потік рухається магістралями зі світлофорами, встановленими на модульній відстані (500 м) із рівними та скоординованими циклами перемикання сигналів [3,7].

Нестійкий стан – це основний стан руху транспортного потоку, що характеризується постійними змінами інтенсивності, швидкості, дистанції між транспортними засобами, а також впливом різноманітних геометричних елементів міських вулиць і доріг [3,7].

Рівняння станів – це система рівнянь, що описує режими руху транспортного потоку. У даному випадку йдеться про систему диференціальних рівнянь першого порядку, розв'язуваних щодо похідних [3].

Траєкторія станів – це крива, яка описує зміну стану транспортного потоку на площинах «інтенсивність – кількість потоку» або «швидкість – шлях» [3].

«Портрет станів»– це сімейство траєкторій станів, відображених на площинах «інтенсивність – кількість потоку» або «швидкість – шлях». Воно характеризує коливальні процеси руху транспортного потоку, такі як затухаючі чи незатухаючі коливання дистанції, швидкості, інтенсивності, амплітуди та частоти коливань, а також стійкість руху [3].

Мікростан – це стан окремого транспортного засобу, що рухається у транспортному потоці [1,3,10].

Макростан – це стан транспортного потоку як динамічного об'єкта в цілому.

Змінна стану – це математична характеристика транспортного потоку. У просторі змінною є швидкість, а в перерізі вулиці – інтенсивність.

Вільний рух – стан транспортного потоку, за якого відсутній взаємний вплив між автомобілями, що рухаються. Інтервали між транспортними засобами перевищують 9 секунд [3-7,9].

Груповий рух – рух транспортних засобів, організованих у групи. Кількість транспортних засобів у групі складає 9-15 легкових автомобілів або 6-10 тролейбусів чи автобусів [1,3, 7-8].

Безперервний рух – стан транспортного потоку, за якого динамічні габарити транспортних засобів перебувають у безпосередньому контакті, тобто їхній рух взаємопов'язаний [1, 3-4,6,10].

Насичений рух – стан транспортного потоку, що характеризується щільністю понад 50 автомобілів на кілометр, інтервалами між транспортними

засобами менше 5 секунд, а також інтенсивністю руху понад 2000 легкових автомобілів на одну смугу руху [10, 12-13].

Оптимальний рівень насичення – рівень, що відповідає пропускній спроможності вулиць і доріг, забезпечуючи ефективний рух транспортного потоку [6-7,9].

Граничний рівень насичення (затор) – стан транспортного потоку, за якого відбувається повна або миттєва зупинка руху через максимальне завантаження проїжджої частини транспортними засобами [3-7,9].

Оптимальний міський рух – стан транспортного потоку, за якого досягаються оптимальні значення його характеристик: кількості потоку, обсягу руху та кількості транспортних засобів у русі [9-11].

Перехідний режим руху – стан транспортного потоку, що характеризується неперіодичними змінами інтенсивності та швидкості. Такий режим спостерігається в зоні перехресть, крутих поворотів, підйомів, спусків, а також при частих обгонах або через ДТП [7, 10-11].

Колонний рух – різновид насиченого руху, що виникає при щільності транспортного потоку, яка дорівнює або перевищує 70 легкових автомобілів на кілометр, і інтервалах між транспортними засобами, що становлять менше 2 секунд [1,3, 6-7,9].

Нещільний транспортний потік – стан транспортного потоку з низьким рівнем насичення, який спостерігається на початкових значеннях пропускної спроможності [3,7, 10-13].

Щільний транспортний потік – стан насиченого транспортного потоку, що досягає межі пропускної спроможності, але не переходить у затор [3,7,10].

Квазипотік – гіпотетичний транспортний потік, що вивчається на основі закономірностей руху окремого автомобіля, який розглядається як частина потоку.

Найпростіший потік – потік транспортних засобів, що проходять через переріз проїжджої частини дороги (окрім спостерігача) з різними інтервалами, закономірність розподілу яких описується Пуасонівським законом. Такий потік характеризується стаціонарністю, відсутністю післядії та ординарністю [3, 10-11].

Регулярний потік – різновид насиченого руху, за якого однотипні транспортні засоби проходять через переріз проїжджої частини дороги через рівні інтервали часу [3-8,11].

Рівняння руху – система диференціальних рівнянь першого або другого порядку, яка описує такі параметри, як прискорення, швидкість, зміна положення автомобіля в транспортному потоці, а також зміна інтенсивності та кількості транспортного потоку [3-7,9].

Змінні та параметри транспортного потоку. Фундаментальні.

Кількість потоку (*q*) – це кількість автомобілів у групі транспортного потоку. Максимальне значення кількості автомобілів у групі відповідає половині оптимального значення щільності транспортного потоку [3-7, 9].

Шлях (*L,* км або м) – відрізок вулиці або дороги, який долається транспортним потоком під час руху. Шлях одиничної довжини дорівнює одному кілометру. Аналогічно, перегін одиничної довжини – це відстань між перехрестями [3-7, 12].

Модульна відстань між світлофорними об`єктами – стандартна відстань, яка складає 500 метрів.

Диференціальне значення шляху – показник, що демонструє, як із зростанням кількості транспортного потоку на одиничному відрізку шляху збільшується його щільність.

Середня довжина шляху між затримками – це середня відстань, яку долають автомобілі між зупинками біля регульованих перехресть. Цей показник кількісно характеризує якісний стан організації дорожнього руху в місті [1, 3, 7, 12-13, 17].

Середня довжина поїздки у місті характеризує мобільність транспортних засобів [3,7,12].

Транспортний час *T* (с, хв, год, доба, рік) – тривалість транспортного процесу, тобто. пересування транспортних засобів з перевезення вантажів і пасажирів; характеристика зміни станів змінних транспортного потоку за одиницю часу[3,7,12].

Інтервал – проміжок часу, через який автомобілі поступають на поперечний переріз проїжджої частини вулиці чи дороги [1,3,7,10].

Час реакції– тривалість між необхідністю прийняття рішення та початком виконання прийнятого рішення [1, 3-4,6,13].

Постійна часу τ (с, хв)– характеристика регулярності руху транспортного потоку з постійною швидкістю та рівними інтервалами між автомобілями [3, 6-8, 10-11].

Час очікування ($t_{оч}$)– тривалість затримки (зупинки) у будь-якої перешкоди або сигналу світлофора, що затримує рух [1,3, 10-11,17].

Темп руху tL – (год.км) час обслуговування руху ділянкою дороги. Застосовується в теорії масового обслуговування [3-8,11-12].

Похідні за часом.

Інтенсивність *N* (авт./год.) – кількість транспортного потоку, що проходить через переріз вулиці чи дороги за одиницю часу. Це основна характеристика поперечного перерізу [3,4,7,10,15-16].

Інтенсивність максимальна N_m–пропускна спроможність поперечного перерізу вулиці та дороги [1,3, 6-7, 10-11,13].

Інтенсивність оптимальна– найбільш раціональні розміри інтенсивності руху транспортного потоку, рівні половині пропускної здатності, при яких транспортний потік рухається з постійною швидкістю і щільністю [3,7,10].

Інтенсивність детермінована– інтенсивність, щодо якої є повна інформація, і тому вона легко апроксимується, як експотенційна, синусоїдальна, негармонічна, комплексна [1, 10-11].

Інтенсивність випадкова– інтенсивність, що описується імовірнісними законами розподілу інтервалів між автомобілями[11].

Інтенсивність існуюча – усереднене значення інтенсивності як середнє квадратичне за одиницю часу [1, 3-7].

Швидкість зміни інтенсивності– прирощення (зменшення) значень інтенсивності за одиницю часу [3-7,10].

Швидкість, V, (км/год., м/с) – зміна положення транспортного потоку за одиницю часу.[1, 3-4, 6-7, 10-17].

Швидкість вільного руху V_o – швидкість транспортного потоку за відсутності взаємного впливу автомобілів [3,7].

Швидкість оптимальна $V_{\text{опт}}$ – швидкість транспортного потоку, що дорівнює половині швидкості вільного руху [3, 6-7,11,17].

Швидкість миттєва V_t – середнє арифметичне значення швидкості транспортних засобів потоку за одиницю часу[3-7,11].

Швидкість у просторі V_x – середнє гармонічне значень швидкості транспортних засобів потоку при проходженні ділянки вулиці одиничної довжини [1,3, 6-7,10].

Швидкість існуюча – середнє квадратичне значення періодично змінної швидкості транспортного потоку [1, 3-4, 6-7,10].

Швидкість групова $V_{\text{гр}}$ – середнє значення швидкості руху кількості потоку (групи транспортних засобів)[3-7,9].

Прискорення автомобіля, a, (м/с^2) –зміна швидкості руху транспортного засобу в часі [1, 3-4, 6, 10, 16-17].

Прискорення потоку, $a_{\text{п}}$,(м/с^2) – зміна швидкості транспортного потоку за зміни його інтенсивності за одиницю часу [1,3,10,11,14].

Прискорення шум, a_{δ}, (м/с^2) –середнє відхилення квадратичне прискорення автомобіля в потоці [3,10-12,14].

Швидкоплинність $B_{\&}$ (км/авт.-ч) – швидкість проходження автомобілями відстані, що дорівнює величині їх динамічного габариту [3,7].

Похідні по переміщенню.

Щільність, Q, (авт./км) – характеризує розподіл транспортного потоку в

просторі смугами проїжджої частини вулиць і доріг і швидкість зміни інтенсивності зі зміною швидкості потоку (опір руху всередині потоку)[1, 3-4, 6-7,10, 12].

Щільність максимальна, Q_m, (авт./км) – максимальна кількість автомобілів розподілена на ділянці вулиці або дороги одиничної довжини. Стан затору [1,3-4,6-7,10,12-13].

Щільність оптимальна, $Q_{опт}$,– раціональне значення щільності, що відповідає рівню пропускної спроможності вулиць і дорівнює половині максимальної щільності[1,3, 6-7, 10-11,13].

Щільності градієнт Q_x (авт./км^2) – розподіл збільшення щільності транспортного потоку в просторі вулиці та дороги [3-7,9].

Щільність інверсійна Q^{-1} (км/авт.) – зворотне значення щільності, тобто. динамічний розмір [3-7,11].

Щільність локальна $Q_{гр}$ – щільність кількості потоку (групи автомобілів)[6-7].

Інерційність I (авт.год./км) – характеризує поступову зміну швидкості автомобілів усередині транспортного потоку[3-8].

Інерційність максимальна I_{max} – максимальне значення інерційності, що спостерігається при проходженні габаритної довжини автомобіля через переріз проїзної частини зі швидкістю вільного руху[3-7].

Інерційність диференціальна I – характеризує збільшення кількості потоку зі зростанням швидкості руху всього потоку[3-8].

Потенціали системи «транспортний потік».

Кількість руху *Д* (авт.-км) – величина руху, що здійснює транспортний потік при проходженні ділянок вулиць та доріг [1,3-7,9].

Дорожній потенціал $O_д$ (авт.- км/год) – зовнішня працездатність дороги, що забезпечує рух транспортних засобів [3-7,9],

Транспортний потенціал E_T (авт. км/год) – зовнішня працездатність транспортних засобів щодо перевезення вантажів та пасажирів [3-7,9].

Ексергія системи «транспортний потік»*E* (авт.км/год.) – загальна зовнішня працездатність дороги та транспортних засобів з перевезення вантажів та пасажирів [3-7,9].

Ексергія максимальна E_m–пропускна спроможність ділянки вулиці або дороги одиничної довжини [3-7, 9].

Робота транспортного потоку *H* (авт.км/год.) – робота, що виконується транспортним потоком заданої інтенсивності при пересуванні на відстань заданої довжини[2,3-7,9].

Потужність потоку *M* (авт.км/год.^{2}) – зовнішня працездатність транспортного потоку, що виконується за одиницю часу[3, 6-7,9].

Нерівномірність руху β (км^2/год.) – кількісна характеристика якісного стану міського руху, яка визначається як середня дальність руху транспортних засобів між зупинками із заданою швидкістю. У містобудуванні оцінює мобільність руху, в економіці - роботу транспортних засобів з перевезення вантажів та пасажирів на задану відстань із заданою швидкістю сполучення.

Похідні за кількістю потоку.

Напруженість *C* (км год./авт.) – характеризує частку простору дороги, що припадає однією автомобіль зі збільшенням інтенсивності, у результаті зростає напружений стан водіїв, управляючих транспортними засобами [3,7,9]

Напруженість диференціальна *C* характеризує зменшення відстані між автомобілями зі зростанням інтенсивності[3, 9].

Динамічний габарит *S* (км/авт.) – простір вулиці чи дороги, яке займає автомобіль у процесі руху. Характеризує швидкість зменшення швидкості автомобілів зі збільшенням інтенсивності потоку[1,10].

Динамічний габарит диференціальний *S* характеризує поширення зменшення динамічних габаритів в транспортному потоці зі зростанням інтенсивності[1, 3-4, 6-7, 10, 18].

Коефіцієнти системи «транспортний потік».

Коефіцієнт прискорення руху – характеризує збільшення швидкості руху транспортного потоку зі зростанням швидкості автомобілів [3,7,].

Коефіцієнт уповільнення руху ν – характеризує зменшення швидкості руху транспортного потоку зі зростанням його густини.[3,7]

Коефіцієнт приведення μ_i– характеризує зміну динамічного простору різних типів транспортних засобів по відношенню до розрахункового легкового автомобіля.[3,7,19]

Коефіцієнт завантаження ψ– характеризує зайнятість поперечного перерізу дороги автомобілем, що рухається.[3,7,15].

Коефіцієнт затримки γ характеризує ймовірність і тривалість затримки транспортних засобів при проїзді різних пересічень і «вузьких» місць міських вулиць та доріг [3-7,19].

Висновки.

Теорія транспортного потоку – це наукова дисципліна, яка вивчає реальні явища, пов'язані з рухом транспортних потоків, та розвиває теорії, призначені для пояснення цих явищ. Вона застосовує ці теорії для опису змін, які відбудуться при зміні умов руху, та перевіряє передбачення через нові спостереження. З математичної точки зору це добре структурована сукупність характеристик транспортного потоку.

Предмет теорії транспортного потоку – це вивчення особливостей і закономірностей руху транспортних потоків вулицями та дорогами для їхнього

проектування, з метою створення комфортних і безпечних умов руху. Керування рухом здійснюється за допомогою планувальних методів і технічних засобів. Водночас, експертиза, заснована на відповідності проектних рішень застарілим нормативам, визначеним у ДБН [4-6], є не доцільною, оскільки вона стримує розробку сучасних та ефективних рішень. Відсутня інформація про стани та нові характеристики транспортних потоків у нових працях Львівської політехніки [12, 13].

Література

1. Богданов О.І. Дослідження процесу розподілу руху по смугах багатосмугових міських магістралей / О.І. Богданов, С.В. Роман, С. С. Кизим. – К.: КНУБА, 2006. – С. 21–30.

2. Бєлятинський А.О. Дослідження транспортних потоків в аспекті заторових станів дорожнього руху: монографія / А.О. Бєлятинський, В.М. Першаков, О.В. Степанчук, Р.В. Кротов. – К.: НАУ, 2015. – 176 с.

3. Гук В.І. Транспортні потоки: теорія та їх застосування в урбаністиці: монографія / В.І. Гук, Ю.М. Шкодовський. – Х.: Золоті сторінки, 2009. – 232 с.

4. ДБН В.2.3-5:2018. Державні будівельні норми України.Споруди транспорту. Вулиці та дороги населених пунктів. На заміну ДБН В.2.3-5-2001; чинний від 2018-09-01. Вид. офіц. Київ: ДП «ДерждорНДІ», 2018. 61 с.

5. ДБН Б.2.2-12:2019 Планування та забудова територій – Київ. Мін. регіон. України, 2019, 185 с.

6. ДБН В.2.3.-4:2015.Споруди транспорту. Автомобільні дороги Частина І. Проектування. Частина ІІ. Будівництво.– К.: МінрегіонбудУкраїни, 2015. – 82 с.

7. Запорожцева О.В. Взаємозв’язок інтенсивності, швидкості і щільності транспортних потоків на багатосмугових автомагістралях / В.І. Гук, О.В. Запорожцева // Вестник ХНАДУ: сб. науч. тр. – 2010. – Вып. 50. – С. 69–73.

8. Запорожцева Е.В. Распределение интенсивности автопотоков на многополосных магистралях / В.И. Гук, Е.В. Запорожцева // Проблеми розвитку міського середовища: наук.-техн. зб. – 2014. – Вип. 1(11). – С. 339–345.

9. Запорожцева О.В. Удосконалення принципів визначення пропускної спроможності багатосмугових автомагістрале: автореф. дис. канд.техн. наук: 05.22.11. Харків, 2016. 23 с.

10. Пальчик А.М. Транспортні потоки / А.М. Пальчик. – К.: НТУ, 2010.– С. 171.

11. Парасюк В.М., Демків Р.Я., Когут В.М. Безпека дорожнього руху: навч. посіб. Львів: ЛДУВС, 2022. С. 340.

12. Форнальчик, Є.Ю. Управління дорожнім рухом на регульованих перехрестях у містах: монографія / Є.Ю. Форнальчик, І.А. Могила, В.Е. Трушевський, В.В. Гілевич: за. заг. ред. Є.Ю. Форнальчика. - Львів: Видавництво Львівської політехніки, 2018. 236 с.

13. Форнальчик, Є.Ю. Моделювання транспортних потоків [Електронний ресурс]: навчальний посібник / Є.Ю. Форнальчик, В.В. Гілевич, І.А. Могила; за заг. ред. Є.Ю. Форнальчика . ─ Львів: Вид-во Львів. політехніки, 2020 . ─ 216 с.

14. Хом'як А.Я. Вивчення характеристик руху транспортних потоків / А.Я. Хом'як, Ю.А. Лісовол // Вісник НТУ. – 2012. – Вип. 26. – С. 102–108.

15. Daganzo U.K. Fundamentals of Transportation Engineering and Traffic Operations / U.K. Daganzo; Chapters 1 and 2. Pergamon Press-Elsevier Science – Oxford, 1997. – Pp. 11-20 and 25-29.

16. Highway Capacity Manual 2000. – Transportation Research Board, National Research Council. – Washington, D.C., USA, 2000. – 1134 p.

17. Kennedy N. Fundamentals of Traffic Engineering / N. Kennedy. – California: University of California Institute of Transportation and Traffic Engineering, 1985. – 315 p.

18. J.Kim. Development and testing of computational procedures for signal timing design at isolated intersections: Ph. D. dissertation / Kim J.; United States. – Florida: University of Florida, 2001. – 157 p.

19. Empirical observations of dynamic traffic flow phenomena on a German autobahn / R.L. Bertini, V. Roger, Lindgren, Dirk Helbing, Martin Shonhof. – 2004. – P. 4–16.

20. Australian and New Zealand Road Transport and Traffic Authorities, 2011: «Austroads Guide to RoadDesign».

21. The Highways Agency, Scottish Executive Development Dept., The National Assembly for Wales,2002: «Design Manual for Roads and Bridges».

D.Sc. (Tech.), Professor **Huk Valeriy,**
Odesa State Academy of Civil Engineering and Architecture,
Ph.D. (Tech.), Associate Professor **Zaporozhtseva Olena,**
Kharkiv National Automobile and Highway University

CONCEPTUAL FRAMEWORK OF TRAFFIC FLOWS FOR DESIGNERS IN URBAN ENVIRONMENT PLANNING

The article examines key terms and concepts related to the states (types of movement) of traffic flows for their practical application in street and road design projects in urban environments. It describes traffic flow variables and parameters, including fundamental ones (flow quantity, transport path, transport time) as well as time-, movement-, and flow-dependent derivatives. Specifically, indicators such as intensity, speed, density, inertia, dynamic clearance, and tension are analyzed.

Special attention is given to system potentials: «road potential»,«transport potential» and state coefficients of the «road – traffic flow» system within the framework of traffic flow theory.

The study identifies different types of traffic flow states: zero, steady, equilibrium, periodic, stable, and unstable. It explores equations, state variables, trajectories, and state portraits, along with their micro- and macro-level aspects.

Additionally, the classification of movement types is presented, including free, group, saturated, continuous, optimal, and critical movement. Levels of saturation, optimal urban movement, transitional modes, column movement, and traffic congestion are also considered. Various types of traffic flows are distinguished: low-density, high-density, quasi-flow, simplest, and regular, along with equations describing their movement.

This work serves as a foundation for integrating terminology and methods into the processes of transport infrastructure development, contributing to efficient urban traffic planning and organization.

Keywords: traffic flow; condition; urban traffic; flow quantity; traffic hour; transportation route.

REFERENCES

1. Bohdanov O.I. Research on the process of lane distribution on multi-lane urban highways O.I. Bohdanov, S.V. Roman, S.S. Kyzym. – K.: KNUBA, 2006. – Pp. 21–30. {in Ukrainian}

2. Belyatynskyi A.O. Study of traffic flows in the aspect of traffic congestion states: monograph / A.O. Belyatynskyi, V.M. Pershakov, O.V. Stepanchuk, R.V. Krotov. – K.: NAU, 2015. – 176 p. {in Ukrainian}

3. Huk V.I. Traffic Flows: Theory and Their Application in Urban Studies: monograph / V.I. Huk, Yu.M. Shkodovskyi. – Kh.: Zoloti Storinky, 2009. – 232 p. {in Ukrainian}

4. DBN V.2.3-5:2018. State Building Standards of Ukraine. Transport structures. Streets and roads of settlements. Replacing DBN V.2.3-5-2001; effective from 2018-09-01. Official edition. Kyiv: DP "DerzhdorNDI", 2018. – 61 p. {in Ukrainian}

5. DBN B.2.2-12:2019 Planning and Development of Territories – Kyiv. Ministry of Regional Development of Ukraine, 2019. – 185 p. {in Ukrainian}

6. DBN V.2.3.-4:2015. Transport Structures. Highways. Part I. Design. Part II. Construction. – K.: Ministry of Regional Development of Ukraine, 2015. – 82 p. {in Ukrainian}

7. Zaporozhtseva O.V. Relationship between intensity, speed, and density of traffic flows on multi-lane highways / V.I. Huk, O.V. Zaporozhtseva // Bulletin of KhNADU: collection of scientific papers. – 2010. – Issue 50. – Pp. 69–73. {in Ukrainian}

8. Zaporozhtseva E.V. Distribution of traffic intensity on multi-lane highways / V.I. Huk, E.V. Zaporozhtseva // Problems of Urban Environment Development: scientific and technical collection. – 2014. – Issue 1(11). – Pp. 339–345. {in Ukrainian}

9. Zaporozhtseva O.V. Improvement of principles for determining the capacity of multi-lane highways: Ph.D. thesis abstract: 05.22.11. Kharkiv, 2016. – 23 p. {in Ukrainian}

10. Palchyk A.M. Traffic Flows / A.M. Palchyk. – K.: NTU, 2010. – 171 p. {in Ukrainian}

11. Parasiuk V.M., Demkiv R.Ya., Kohut V.M. Road Traffic Safety: textbook. Lviv: LDUVS, 2022. – 340 p. {in Ukrainian}

12. Fornalchyk Ye.Yu. Road Traffic Management at Signalized Intersections in Cities: monograph / Ye.Yu. Fornalchyk, I.A. Mohyla, V.E. Trushevskyi, V.V. Hilevych; edited by Ye.Yu. Fornalchyk. – Lviv: Lviv Polytechnic Publishing House, 2018. – 236 p. {in Ukrainian}

13. Fornalchyk Ye.Yu. Traffic Flow Modeling [Electronic resource]: textbook / Ye.Yu. Fornalchyk, V.V. Hilevych, I.A. Mohyla; edited by Ye.Yu. Fornalchyk. – Lviv: Lviv Polytechnic Publishing House, 2020. – 216 p. Khomyak A.Ya. Study of traffic flow characteristics / A.Ya. Khomyak, Yu.A. Lisovol // Bulletin of NTU. – 2012. – Issue 26. – Pp. 102–108. {in Ukrainian}

14. Daganzo U.K. Fundamentals of Transportation Engineering and Traffic Operations / U.K. Daganzo; Chapters 1 and 2. Pergamon Press-Elsevier Science – Oxford, 1997. – Pp. 11–20 and 25–29. {in English}

15. Highway Capacity Manual 2000. – Transportation Research Board, National Research Council. – Washington, D.C., USA, 2000. – 1134 p. {in English}

17. Kim J. Development and testing of computational procedures for signal timing design at isolated intersections: Ph.D. dissertation / J. Kim; United States. – Florida: University of Florida, 2001. – 157 p. {in English}

18. Empirical observations of dynamic traffic flow phenomena on a German autobahn / R.L. Bertini, V. Roger, Lindgren, Dirk Helbing, Martin Schönhof. – 2004. – Pp. 4–16. {in English}

19. Empirical observations of dynamic traffic flow phenomena on a German autobahn / R.L. Bertini, V. Roger, Lindgren, Dirk Helbing, Martin Shonhof. – 2004. – P. 4–16. {in English}

20. Australian and New Zealand Road Transport and Traffic Authorities, 2011: «Austroads Guide to RoadDesign». {in English}

21.The Highways Agency, Scottish Executive Development Dept., The National Assembly for Wales,2002: «Design Manual for Roads and Bridges». {in English}

DOI: 10.32347/2786-7269.2025.11.354-367
УДК 69: 624.01

к.т.н., доцент **Дружинін М.А.,**
druzhynin.ma @knuba.edu.ua, ORCID: 0000-0003-1821-1968
Київський національний університет будівництва і архітектури

ІННОВАЦІЙНІ НАПРЯМИ ОРГАНІЗАЦІЇ ЗБІРНОГО БУДІВНИЦТВА В УМОВАХ НЕСТАБІЛЬНОГО СЕРЕДОВИЩА ДЕВЕЛОПМЕНТУ У ВОЄННИЙ ТА ПІСЛЯВОЄННИЙ ПЕРІОДИ

Досліджується концепція "Build Back Better" (BBB) як основу для організації будівництва та відновлення інфраструктури після криз і катастроф. BBB інтегрує ідеї стійкого розвитку, цифровізації, зеленої інфраструктури та соціальної інклюзивності, що робить його ефективним підходом для сучасного містобудування та реконструкції. У роботі висвітлено передумови виникнення BBB, зокрема її формування у відповідь на недоліки традиційних методів відновлення, що не враховували довгострокову стійкість та майбутні ризики. Особливу увагу приділено катастрофі 2004 року в Індійському океані, яка стала поштовхом до розробки нових стратегій відбудови. Дослідження ґрунтується на аналізі наукових публікацій, що розглядають організаційні аспекти реконструкції, роль будівельної галузі у розвитку посткризових економік. У статті наголошується, що ключовими викликами для відбудови є залучення фінансування, використання місцевих ресурсів, забезпечення зайнятості населення та оптимізація логістики будівництва. Особлива увага приділена зв'язку BBB із суміжними концепціями міського розвитку, такими як Resilient Cities, Smart Cities, Green Infrastructure та CircularEconomy. Детально проаналізовано концепцію Resilient Cities, що спрямована на адаптацію міст до кліматичних, економічних та соціальних викликів. В окремому розділі розглянуто особливості промислового та цивільного будівництва в Ізраїлі з урахуванням воєнних ризиків. Описано вимоги до укріплених конструкцій, обов'язкове створення бомбосховищ ("мамад"), застосування технологій подвійного призначення та розвиток підземної інфраструктури. У підсумку зазначено, що BBB є ефективною стратегією для довгострокового розвитку посткризових регіонів. Її інтеграція з інноваційними підходами до будівництва забезпечує стійкість, ефективність та адаптивність відновлених територій, що є актуальним для відбудови України.

Ключові слова: організація будівництва; Build Back Better; стійкий розвиток; відновлення інфраструктури; збірне (модульне) будівництво; містобудування; Resilient Cities; воєнні ризики.

Постановка проблеми. Концепція "Build Back Better" (BBB) сформувалася як підхід до відновлення після катастроф, наголошуючи на тому, що реконструкція повинна не лише відновлювати зруйновану інфраструктуру, а й робити її більш стійкою, ефективною та інклюзивною. Ідея BBB з'явилася як відповідь на недоліки традиційних підходів до відновлення після стихійних лих та криз. До її появи реконструкція часто проводилася поспіхом, без врахування довгострокової стійкості та можливих майбутніх ризиків, що призводило до повторного руйнування інфраструктури при нових катастрофах. *Основні фактори, що сприяли появі концепції:* часті стихійні лиха та катастрофи (землетруси, цунамі, урагани, війни), які спричиняли значні втрати та потребували системного підходу до відбудови; недостатня стійкість попередніх відновлювальних програм, що відновлювали зруйновані об'єкти без врахування нових загроз; зростаюча увага до сталого розвитку та зниження ризиків лих, що активізувалося в глобальному порядку денному після катастрофи 2004 року в Індійському океані.

Катастрофа 2004 року в Індійському океані стала однією з найруйнівніших природних трагедій в історії людства. 26 грудня внаслідок потужного землетрусу магнітудою 9,1–9,3, який стався біля узбережжя індонезійського острова Суматра, відбулося цунамі, що вразило понад 14 країн. Епіцентр землетрусу знаходився на глибині близько 30 км, а його причиною стало зміщення Індо-Австралійської тектонічної плити під Євразійську плиту, що викликало різке підняття океанського дна. Викид енергії цього землетрусу був еквівалентний 23 000 атомних бомб, скинутих на Хіросіму. Цунамі, що виникло внаслідок підводного поштовху, поширювалося зі швидкістю до 800 км/год, а висота хвиль сягала 30 метрів у прибережних зонах. Найбільших руйнувань зазнала Індонезія, особливо провінція Ачех, де загинуло близько 170 000 людей. Сильно постраждали також Шрі-Ланка, Індія та Таїланд. Загальна кількість загиблих перевищила 227 000 осіб, ще близько 50 000 людей зникли безвісти, а понад 1,7 мільйона осіб залишилися без житла. Руйнування інфраструктури, доріг, електромереж та водопостачання призвели до гуманітарної кризи, яка потребувала негайного міжнародного втручання. Світова спільнота оперативно відреагувала на трагедію, надавши понад 14 мільярдів доларів допомоги для ліквідації наслідків та відновлення регіонів. Гуманітарна допомога включала евакуацію населення, постачання продуктів, питної води та ліків, а також будівництво тимчасових житлових таборів. Ця катастрофа стала переломним моментом у підходах до відбудови та управління ризиками стихійних лих. Вона дала поштовх розвитку концепції "Build Back Better" (BBB), яка передбачає не просто реконструкцію зруйнованих територій, а їх модернізацію, підвищення стійкості та безпеки. В рамках цієї стратегії

уряди постраждалих країн розробили нові будівельні стандарти, які враховують майбутні ризики. Зокрема, в Індонезії міста були перебудовані з урахуванням зон ризику, у Шрі-Ланці впроваджені програми захисту узбережжя, а на Мальдівах почалося переселення громад, що мешкали у вразливих районах. Трагедія 2004 року показала, що традиційні методи відновлення більше не є достатніми, і що запобігання катастрофам повинно бути ключовим пріоритетом світової спільноти. Це стало важливим уроком, який визначив сучасні стандарти стійкої відбудови та управління ризиками, зробивши "Build Back Better" глобальним принципом для всіх програм реконструкції.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. В дослідженнях [1-5] аналізуються економічні аспекти відбудови та роль будівельної галузі у створенні нових точок економічного зростання. В наукових працях [6-10] акцентується увага на тому, що основним викликом в умовах нестабільного бізнес-середовища девелопментує залучення фінансування для великих будівельних проєктів. На основі міжнародного досвіду реконструкції та реновації територій автори [11-15] доводить, що найефективнішою моделлю є державно-приватне партнерство (PPP), яке дозволяє державі та бізнесу спільно реалізовувати інфраструктурні ініціативи. Також у дослідженнях зазначено, що успішні програми реконструкції включають активне використання локальних ресурсів і підрядників, що стимулює економіку та забезпечує зайнятість місцевого населення. У дослідженнях [16-18] наголошується, що Україна може використати досвід повоєнної Європи, яка залучала міжнародні інвестиції для швидкого відновлення будівельного сектору та створення нових робочих місць. Вітчизняні дослідження також висвітлюють актуальні питання відновлення економіки за допомогою будівельної галузі. Автори [19] аналізують державні програми фінансування реконструкції,в умовах пандемії та економічної кризи, а також фінансування видатків державного бюджету України в умовах воєнної та післявоєнної соціально-орієнтованої ринкової економіки.

Мета статті – дослідити особливості організації модульного будівництва та відбудови інфраструктури на засадах концепції "Buil dBack Better" (BBB). У рамках дослідження проаналізовано ключові підходи до планування, управління та реалізації будівельних проєктів у посткризовий період, визначено ефективні механізми координації між стейкхолдерами будівельної галузі, а також розглянуто сучасні методи оптимізації ресурсів, логістики та використання інноваційних технологій. Особлива увага приділена питанням стійкості, адаптивності та ефективності організаційно-технологічних процесів, що сприяють швидкій і якісній реконструкції зруйнованої інфраструктури.

Виклад основного матеріалу. Розвиток концепції "Build Back Better" визначають ключові етапи:

1. Початкове формулювання ідеї (2004-2005):

Концепція "Build Back Better" вперше широко обговорювалася після руйнівного цунамі в Індійському океані 2004 року, яке забрало понад 230 тисяч життів. Генеральний секретар ООН Кофі Аннан у 2005 році у своїй доповіді щодо відбудови постраждалих регіонів наголосив, що реконструкція повинна проводитися за принципом "краще, ніж було раніше". У тому ж році Світовий банк та Організація Об'єднаних Націй (ООН) розпочали активну розробку стратегій зменшення ризиків катастроф та стійкої відбудови, що заклало основу для офіційного закріплення принципу BBB.

2. Закріплення концепції в міжнародних документах (2015)

Ключовим моментом у розвитку концепції стало прийняття Сендайської рамкової програми зі зниження ризику катастроф (2015-2030) на третій Всесвітній конференції ООН з питань зменшення ризиків катастроф (м. Сендай, Японія). Основоположником концепції в офіційному міжнародному контексті вважається Управління ООН з питань зменшення ризику лих (UNDRR, колишнє UNISDR). Сендайська рамкова програма визначила BBB як один із ключових принципів при відновленні та зменшенні ризиків катастроф.

3. Подальший розвиток та застосування (2015- по теперішній час). Після прийняття Сендайської програми концепція BBB почала активно застосовуватися в міжнародних відновлювальних програмах:

- Відновлення після землетрусу в Непалі (2015) – уряд країни спільно з міжнародними організаціями інтегрував BBB у процес реконструкції житлових та інфраструктурних об'єктів.

- Відбудова після урагану "Марія" в Пуерто-Рико (2017) – принцип BBB використовувався для створення більш стійкої енергетичної та транспортної інфраструктури.

- Програми відбудови України після 2022 року – уряд України та міжнародні партнери (Світовий банк, ЄС, ООН) декларують використання BBB для підвищення стійкості економіки та інфраструктури країни після військових руйнувань.

Концепція BBB передбачає чотири основні компоненти: а) фізична стійкість – відбудова повинна враховувати майбутні ризики (наприклад, будівництво з урахуванням сейсмостійкості в районах, схильних до землетрусів): б) соціальна інклюзивність – відновлення має забезпечувати доступність інфраструктури для всіх верств населення, включаючи вразливі групи; в) економічна сталість – підтримка місцевого бізнесу та створення робочих місць під час відбудови; г) екологічна стійкість – використання

екологічно чистих технологій та принципів "зеленої економіки" у процесах реконструкції.

Збірне виготовлення та модульне будівництво зазнали значного прогресу за останні роки, стимулюючи інновації в будівельній галузі. Одним із помітних нововведень є використання інформаційного моделювання будівель (BIM), яке дозволяє детально планувати та координувати роботу проектних команд, що призводить до підвищення ефективності та зменшення відходів. Крім того, інтеграція робототехніки та автоматизації у виробничі процеси призвела до підвищення точності та узгодженості у створенні компонентів, що у поєднанні з використанням стійких матеріалів, таких як поперечно-ламінована деревина (CLT) і перероблена сталь, сприяє зростанню екологічно свідомих методів будівництва. Варто також відзначити переваги сталого розвитку збірних і модульних конструкцій, оскільки використання екологічно чистих матеріалів і енергоефективних систем сприяє зниженню впливу на навколишнє середовище. Крім того, універсальність і адаптивність модульних будівель роблять їх придатними для широкого спектру застосувань, включаючи житлові, комерційні, освітні та медичні споруди (https://constructive-voices.com/uk/).

Концепція "Build Back Better" (BBB) є частиною ширшого кола ідей, що спрямовані на стале відновлення, розвиток та підвищення стійкості інфраструктури після криз. Відбудова після криз та катастроф потребує комплексного підходу, що враховує не лише фізичне відновлення інфраструктури, але й стійкість, адаптивність та інклюзивність міст і громад. Концепція BBB інтегрує різні стратегії, які сприяють ефективнішій реконструкції та розвитку урбаністичного середовища (таблиця 1). Разом із BBB у відбудові та міському плануванні активно застосовуються інші ключові концепції, спрямовані на підвищення безпеки, екологічну сталість, цифрову трансформацію та соціальну інклюзивність.

Таблиця 1

Ключові концепції відбудови та міського планування, що інтегруються з "Build Back Better"

№	Назва концепції	Автор/розробник	Період виникнення	Ключові характеристики	Приклади реалізації
1	Стійкий розвиток (Sustainable Development)	Брунтландська комісія ООН	1987	Баланс економіки, екології та соціальної стійкості. Використання ресурсів для майбутніх поколінь.	Відновлення Гаїті після землетрусу 2010, місто Масдар (ОАЕ)
2	Містобудування, стійке до катастроф	Rockefeller Foundation, 100 Resilient Cities	2013	Адаптація до кліматичних змін, використання	Роттердам (Нідерланди), Нью-Йорк

№	Назва концепції	Автор/розробник	Період виникнення	Ключові характеристики	Приклади реалізації
	(Resilient Cities)			"розумних" технологій	(відновлення після урагану "Сенді")
3	Зелена інфраструктура (Green Infrastructure)	Європейська комісія	2000-ті	Інтеграція зелених зон у міське середовище, покращення екології	HighLine (Нью-Йорк), зелені дахи Сінгапуру
4	Кліматично-розумне будівництво (Climate-Smart Construction)	Світовий банк	2019	Використання низьковуглецевих матеріалів, зменшення викидів CO_2	Енергоефективні будинки в Швеції, дерев'яні хмарочоси в Канаді
5	Розумні міста (Smart Cities)	IBM, ЄС	2010-ті	Цифрові технології в містах, автоматизація сервісів	Барселона (розумні зупинки), Сеул (цифрове управління містом)
6	Кругова економіка (Circular Economy)	Ellen MacArthur Foundation	2013	Мінімізація відходів, повторне використання матеріалів	Амстердам (100% циркулярна економіка до 2050)
7	Гендерно-чутливе будівництво (Gender-Responsive Reconstruction)	ООН-Жінки	2015	Орієнтація на інклюзивність, забезпечення потреб вразливих груп	Відновлення Сирії та Афганістану
8	"New Urban Agenda" ООН	ООН	2016	Інтегроване міське планування, соціальна стійкість	Буенос-Айрес, Мехіко (модернізація міських кварталів)

Джерело: систематизовано автором

У таблиці 1 представлено основні концепції, що мають спільні риси з ВВВ або використовуються в комплексі з нею для забезпечення ефективного розвитку міст і територій.

Концепція «Resilient Cities», або «стійкі міста», є підходом до міського розвитку, який спрямований на підвищення здатності міст адаптуватися до природних катастроф, змін клімату, соціально-економічних криз та технологічних викликів. Основною ідеєю цього підходу є створення міст, які можуть не лише витримувати різні шоки та стресові ситуації, але й ефективно відновлюватися після них, використовуючи інноваційні рішення та інтегроване планування. Концепція стала широко вживаною у XXI столітті, особливо після серії катастрофічних подій, таких як ураган «Сенді» у США (2012), землетрус у

Гаїті (2010) та повені в Європі та Азії. У 2013 році Rockefeller Foundation запустив ініціативу «100 Resilient Cities», яка стала одним із перших масштабних проєктів, спрямованих на підтримку міст у розробці стратегій стійкого розвитку. Ця ініціатива об'єднала міста з різних континентів, які отримали фінансування, експертну допомогу та доступ до глобальної мережі знань для впровадження рішень, що підвищують стійкість. *Основні принципи Resilient Cities* включають здатність міст до стійкості у трьох ключових аспектах: фізичному, соціальному та економічному. *Фізична стійкість* передбачає будівництво інфраструктури, здатної витримувати екстремальні умови, такі як сейсмостійкі будівлі, розумні системи дренажу та підвищений рівень захисту від повеней. *Соціальна стійкість* означає створення міського середовища, яке сприяє згуртованості громад, доступу до соціальних послуг та забезпечує рівноправний розвиток для всіх груп населення, включаючи найбільш вразливі. *Економічна стійкість* передбачає диверсифікацію джерел доходу, розвиток місцевого бізнесу та впровадження технологій, які зменшують залежність від традиційних індустрій. Успішні приклади реалізації концепції можна знайти в таких містах, як Роттердам, Нью-Йорк, Токіо та Копенгаген. Роттердам, що знаходиться нижче рівня моря, розробив інноваційну програму захисту від повеней, яка включає плавучі будинки, багатофункціональні дамби та зелену інфраструктуру для управління водними ресурсами. Нью-Йорк після урагану «Сенді» розпочав масштабну реконструкцію прибережної зони, що включала будівництво бар'єрів, відновлення природних екосистем та впровадження нових стандартів будівництва. Токіо, який часто зазнає землетрусів, розвинув систему підземних водозахисних тунелів та сейсмостійкої архітектури, що допомагає зменшити ризики руйнувань під час катастроф. Одним із головних досягнень руху Resilient Cities стало створення стратегій довгострокового міського планування, які враховують не лише фізичні аспекти, а й питання екологічної стійкості, цифрової трансформації та соціальної інклюзивності. Наприклад, Копенгаген запровадив програму адаптації до змін клімату, що передбачає використання зелених дахів, міських парків для збору дощової води та екологічно чистого громадського транспорту.

Проте концепція Resilient Cities має і свої виклики. Одним із ключових є фінансування, адже адаптація міських систем до майбутніх ризиків потребує значних інвестицій. З урахуванням зростаючих загроз в Ізраїлі активно розвивається концепція "Resilient Cities" (Стійкі міста), яка передбачає інтеграцію будівельних, цифрових та соціальних рішень для підвищення безпеки міського середовища. Використання розумних технологій (Smart City), таких як сенсорні системи моніторингу безпеки, дрони для патрулювання та автоматизовані системи раннього попередження, робить ізраїльські міста

одними з найзахищеніших у світі. Будівництво в Ізраїлі має унікальні характеристики, зумовлені постійною загрозою воєнних дій, терористичних атак та ракетних обстрілів. Ці загрози суттєво вплинули на підходи до проектування, матеріалів, нормативів та організації будівельного процесу як у промисловому, так і в цивільному секторі. Основні особливості будівництва включають підвищену стійкість будівель, обов'язкове створення бомбосховищ, використання передових технологій та врахування безпеки під час всіх етапів планування й зведення споруд. Ізраїль знаходиться в сейсмічно активному регіоні, що вимагає додаткових заходів щодо стійкості будівель. Однак, на відміну від більшості країн, де головним ризиком є землетруси, в Ізраїлі конструкції також повинні витримувати вибухові хвилі, удари артилерії, авіаудари та ракетні обстріли. Через це сучасні будівлі проектуються з використанням ударостійкого залізобетону, посилених каркасних систем і мінімізації скляних поверхонь у вразливих місцях. У промисловому секторі критична інфраструктура (заводи, енергетичні станції, транспортні вузли) зводиться з урахуванням можливості ударів і має спеціальні захисні споруди та дублюючі системи для забезпечення безперебійної роботи. З 1992 року ізраїльські будівельні норми зобов'язують усі новобудови мати "мамад"(*Mamad*) – укріплену безпечну кімнату, здатну витримати вибухові удари та обстріли. Мамад має залізобетонні стіни товщиною не менше 30 см, важкі герметичні двері та віконні захисні конструкції, які можуть закриватися металевими ставнями для запобігання уламковому ураженню. У громадських будівлях, таких як лікарні, школи та торгові центри, створюються великі підземні укриття, які можуть використовуватися і як паркінги або склади в мирний час. Через постійну небезпеку ракетних ударів в Ізраїлі активно впроваджуються *«технології подвійного призначення»,* коли будівлі виконують як основні, так і захисні функції. Наприклад, у нових проєктах житлових комплексів часто передбачені багатофункціональні укриття, які використовуються як спортивні зали, конференц-зали або склади у звичайний час, але можуть швидко трансформуватися у безпечні зони під час загострень бойових дій. Також у промислових зонах використовуються спеціальні *«мобільні захисні споруди»*, які можна швидко змонтувати навколо стратегічних об'єктів, таких як електростанції чи військові бази. Оскільки військові конфлікти можуть порушити функціонування важливих промислових об'єктів, у багатьох випадках їх будують із *«дублюючими системами»* – автономним електропостачанням, резервним водопостачанням та альтернативними комунікаційними лініями. Заводи та великі складські комплекси часто мають підземні приміщення, що можуть використовуватися як бункери для персоналу в разі небезпеки.

Через воєнні ризики будівельні матеріали в Ізраїлі мають відповідати високим вимогам міцності. Найпоширенішим матеріалом є *«залізобетон із посиленим армуванням»,* оскільки він забезпечує як міцність, так і термостійкість. Використання скла обмежується або застосовуються *«ударостійкі склопакети»* зі спеціальними плівками, що зменшують ризик розльоту уламків. Окрім безпеки, в Ізраїлі активно розвиваються «енергоефективні технології», оскільки країна має спекотний клімат і залежить від оптимізації енергоспоживання. Використання «сонячних панелей», інтелектуальних систем кондиціонування та енергоефективних ізоляційних матеріалів дозволяє знизити витрати на енергоресурси навіть у захисних спорудах. В умовах постійної загрози ракетних ударів Ізраїль активно розвиває *«підземну інфраструктуру».* У містах, таких як Тель-Авів, планується будівництво «підземних паркінгів, які можуть швидко трансформуватися у бомбосховища», а також розширення метрополітену з урахуванням можливості використання станцій як укриттів. У військовій сфері вже діють «підземні командні центри, склади боєприпасів та навіть заводи», які приховані під землею для захисту від авіаударів. Міста Ізраїлю проектуються з урахуванням можливості швидкої евакуації населення та розміщення укриттів. Наприклад, у Тель-Авіві та Хайфі при будівництві нових районів враховуються «евакуаційні коридори», що дозволяють швидко спрямовувати людей у безпечні зони. Дорожня інфраструктура міст має спеціальні маршрути, що дозволяють військовим і рятувальним службам швидко пересуватися в разі бойових дій.

Висновок. Концепція "Build Back Better" (BBB),якавиникла як реакція на недостатньо ефективні традиційні підходи до реконструкції після катастроф, інтегрує ідеї стійкого розвитку, цифровізації, зеленої інфраструктури та соціальної інклюзивності, що робить його ефективним підходом для сучасного будівництва. Її початкове формулювання з'явилося після цунамі 2004 року, а офіційне закріплення відбулося в 2015 році в Сендайській рамковій програмі ООН. Сьогодні BBB застосовується у відбудові постраждалих регіонів по всьому світу, включаючи сучасні ініціативи з відновлення України після війни. Концепція є основою для довгострокового розвитку, який не лише відновлює зруйноване, а й робить його безпечнішим, ефективнішим та більш стійким до майбутніх викликів. З урахуванням військових реалій, Ізраїль є одним із лідерів у сфері «захисного будівництва», що поєднує високі стандарти безпеки з енергоефективністю та адаптивним міським плануванням. Цей підхід не тільки забезпечує захист населення, але й дозволяє підтримувати сталий розвиток будівельної галузі навіть у кризових умовах. В міру того як будівельна галузь продовжує розвиватися та охоплювати технологічні досягнення, збірні та модульні конструкції стають ще більш важливими. З появою таких тенденцій,

як використання робототехніки та передових технологій виробництва, ми можемо очікувати ще більшої ефективності та інновацій у майбутньому.

Список використаних джерел

1. Онікієнко Н.В., Петруха Н.М., Рижакова Г.М. (2023). Науково-прикладні компоненти полікритеріальної системи оцінки інноваційного розвитку підприємств: імперативи взаємодії інтегрованих структур. *Шляхи підвищення ефективності будівництва в умовах формування ринкових відносин.* No 52(1). 261-273.

2. Дружинін М.А., Хоменко О.М., Рижакова Г.М. Методологічний концепт і прикладні засади адаптогенної організації будівництва з урахуванням сучасних інноваційно-інвестиційних трендів. *Управління розвитком складних систем.* Київ, 2024. № 59. С. 182 – 190, dx.doi.org\10.32347/2412-9933.2024.59.182-190.

3. Зельцер, Р.Я., Бєлєнкова, О.Ю., Новак, Є.В., & Дубінін, Д.В. (2019). Цифрова трансформація процесів ресурсно-логістичного та організаційно-структурного забезпечення будівництва. *Наука та інновації*. - Т. 15, № 5. - С. 38-51.

4. Бєлєнкова, О.Ю., & Цифра, Т.Ю. (2019). Формування стратегії забудовників в умовах економічної динаміки. *Шляхи підвищення ефективності будівництва в умовах формування ринкових відносин*, (42), 189-198.

5. Рижакова Г.М., Кучеренко О.І., Приходько Д.О., Федорова Я.Ю. Інноваційні напрями оновлення операційних систем підприємств в умовах нестабільного бізнес-середовища девелопменту. *Просторовий розвиток*, (9), 402-413. DOI: 10.32347/2786-7269.2024.9.402-413

6. Кричевська Ю.В., Рижакова Г.М., Шпаков А.В., Поколенко В.О., Приходько Д.О. Цифрова екосистема в будівельному девелопменті: концептуально-теоретичні аспекти трансформації та управлінські імперативи. *Управління розвитком складних систем*. Київ, 2024. № 60. С. 174 – 182, dx.doi.org\10.32347/2412-9933.2024.60.174-182.

7. Кричевська Ю.В., Шпаков А.В., Рижакова Г.М. (2024). Процесно-орієнтоване адміністрування життєвого циклу девелоперських проєктів у контексті цифрової трансформації будівельних підприємств. *Просторовий розвиток*, (10), 626-640. DOI: 10.32347/2786-7269.2024.10.626-640

8. Бєлєнкова, О.Ю. (2019). Цифрова трансформація будівництва: механізм взаємодії бізнесу, науки, держави. *Будівельне виробництво*, *1*(66), 30-36.

9. Рижакова, Г., Приходько, Д., Поколенко, В., Петруха, Н., Чуприна, Ю., & Хоменко, О. (2022). Оновлення науково-методичних підходів до

побудови полікритеріальної системи адміністрування діяльністю підприємств-стейкхолдерів проєктів будівництва. *Просторовий розвиток*, (1), 218-233.

10. Хоменко, О., Петренко, Г., Рижакова, Г., Петруха, Н., Чуприна, Ю., Малихіна, О., & Кушнір, О. (2022). Сучасні інструменти та програмні продукти адміністрування будівельними організаціями в умовах трансформації операційних систем менеджменту. *Управління розвитком складних систем*, (52), 113-125.

11. Рижакова, Г.М., Рижаков, Д.А., Лещинська, І.В., Кістіон, Д.В., & Кондрацький, В. О. (2019). Концептуальна модель диференційованого залучення джерел ресурсного забезпечення інвестиційно-будівельних проектів. *Містобудування та територіальне планування*, (71), 283-300.

12. Поколенко, В.О., Рижакова, Г.М., & Приходько, Д.О. (2014). Запровадження інструментарію вибору альтернатив реалізації будівельних проектів за функціонально-технічною надійністю організацій-виконавців. *Управління розвитком складних систем*, (19 (2)), 108-114.

13. Петренко, Г., Петруха, Н., Рижакова, Г., Марчук, Т., Малихіна, О., & Приходько, Д. (2021). Вибір імперативів бюджетування інвестиційно-будівельного проєкту як напрям удосконалення системи фінансового менеджменту підприємства. *Управління розвитком складних систем*, (46), 108-117.

14. Рижакова, Г.М., Стеценко, С.П., & Лагутіна, З.В. (2013). Альтернативні аналітичні інструменти забезпечення економічної безпеки державного інвестування будівельних проектів. *Управління розвитком складних систем*, (16), 203-208.

15. Аксельрод, Р.Б., Шпаков, А.В., & Рижакова, Г.М. (2021). Економіко-управлінські предиктори трансформації операційних систем будівельного девелопменту в умовах цифровізації економіки. *Формування ринкових відносин в Україні*, (12), 113-121.

16. Рижакова, Г.М., & Рижаков, Д.А. (2016). Альтернативний інструментарій системного внутрішнього аудиту підрядних підприємств. *Будівельне виробництво*, (61 (2)), 25-30.

17. Трач, Р.В., Рижакова, Г.М., & Крижановський, В.І. (2017). Інформаційне моделювання та концепція інтегрованої реалізації будівельних проектів як основа інноваційного розвитку будівельного підприємства. *Управління розвитком складних систем*, (31), 173-178.

18. Рижакова, Г.М. (2012). Економетричне моделювання процесу формування обсягів реалізації продукції малих підприємств у будівництві. *Будівельне виробництво*, (53), 58-61.

19. Корсун, І.М., Зінченко, М.М., Махно, С.В., & Мироненко, Д.Ю. (2023). Парадигма фінансування видатків державного бюджету України в умовах воєнної та післявоєнної соціально-орієнтованої ринкової економіки. *Академічний огляд*, (2), 103-112.

Candidate of Technical Sciences, Associate Professor **Druzhynin Maksym**,
Kyiv National University of Construction and Architecture

INNOVATIVE DIRECTIONS OF PREFABRICATED CONSTRUCTION ORGANIZATION IN THE CONDITIONS OF AN UNSTABLE DEVELOPMENT ENVIRONMENT DURING THE WAR AND POST-WAR PERIODS

The article explores the concept of "Build Back Better" (BBB) as a foundation for construction organization and infrastructure restoration after crises and disasters. BBB integrates the principles of sustainable development, digitalization, green infrastructure, and social inclusivity, making it an effective approach for modern urban planning and reconstruction.

The study highlights the origins of BBB, particularly its formation in response to the shortcomings of traditional recovery methods that failed to account for long-term resilience and future risks. Special attention is given to the 2004 Indian Ocean disaster, which served as a catalyst for the development of new reconstruction strategies.

The research is based on an analysis of scientific publications examining the organizational aspects of reconstruction and the role of the construction industry in post-crisis economic development. The article emphasizes that key challenges in rebuilding include securing funding, utilizing local resources, ensuring employment, and optimizing construction logistics.

A particular focus is placed on the relationship between BBB and related urban development concepts, such as Resilient Cities, Smart Cities, Green Infrastructure, and the Circular Economy. The Resilient Cities concept is analyzed in detail, emphasizing its role in adapting cities to climatic, economic, and social challenges.

A separate section examines the features of industrial and civil construction in Israel considering war risks. The study describes the requirements for fortified structures, the mandatory creation of bomb shelters ("mamad"), the application of dual-use technologies, and the development of underground infrastructure.

In conclusion, the article states that BBB is an effective strategy for the long-term development of post-crisis regions. Its integration with innovative construction

approaches ensures the resilience, efficiency, and adaptability of rebuilt areas, which is particularly relevant for Ukraine's reconstruction efforts.

Keywords: construction organization; build back better; sustainable development; infrastructure restoration; prefabricated construction; urban planning; resilient cities; war risks.

REFERENCES

1. Onikiyenko, N.V., Petrukha, N.M., & Ryzhakova, G.M. (2023). Scientific and applied components of a multi-criteria system for assessing the innovative development of enterprises: Imperatives of interaction between integrated structures. *Ways to Improve Construction Efficiency in the Context of Market Relations Formation*, 52(1), 261-273.{in Ukrainian}

2. Druzhynin, M.A., Khomenko, O.M., & Ryzhakova, G.M. (2024). Methodological concept and applied principles of adaptive construction organization considering modern innovation-investment trends. *Management of Complex Systems Development*, (59), 182-190. {in Ukrainian}

3. Zeltser, R.Ya., Bielenkova, O.Yu., Novak, Ye.V., & Dubinin, D.V. (2019). Digital transformation of resource-logistics and organizational-structural support processes in construction. *Science and Innovation*, 15(5), 38-51. {in Ukrainian}

4. Bielenkova, O.Yu., & Tsyfra, T.Yu. (2019). Formation of developers' strategies in conditions of economic dynamics. *Ways to Improve Construction Efficiency in the Context of Market Relations Formation*, (42), 189-198.{in Ukrainian}

5. Ryzhakova, G.M., Kucherenko, O.I., Prykhodko, D.O., & Fedorova, Ya.Yu. (2024). Innovative directions for updating operational systems of enterprises in an unstable business development environment. *Spatial Development*, (9), 402-413. {in Ukrainian}

6. Krychevska, Yu.V., Ryzhakova, G.M., Shpakov, A.V., Pokolenko, V.O., & Prykhodko, D.O. (2024). Digital ecosystem in construction development: Conceptual-theoretical aspects of transformation and managerial imperatives. *Management of Complex Systems Development*, (60), 174-182. {in Ukrainian}

7. Krychevska, Yu.V., Shpakov, A.V., & Ryzhakova, G.M. (2024). Process-oriented administration of the life cycle of development projects in the context of digital transformation of construction enterprises. *Spatial Development*, (10), 626-640. {in Ukrainian}

8. Bielenkova, O.Yu. (2019). Digital transformation of construction: Mechanism of interaction between business, science, and government. *Building Production*, 1(66), 30-36. {in Ukrainian}

9. Ryzhakova, G., Prykhodko, D., Pokolenko, V., Petrukha, N., Chupryna, Yu., & Khomenko, O. (2022). Updating scientific and methodological approaches to building a multi-criteria system for administering the activities of stakeholder enterprises in construction projects. *Spatial Development*, (1), 218-233.{in Ukrainian}

10. Khomenko, O., Petrenko, G., Ryzhakova, G., Petrukha, N., Chupryna, Yu., Malykhina, O., & Kushnir, O. (2022). Modern tools and software products for the administration of

construction organizations in the context of operational management system transformation. *Management of Complex Systems Development*, (52), 113-125. {in Ukrainian}

11. Ryzhakova, G.M., Ryzhakov, D.A., Leshchynska, I.V., Kistion, D.V., & Kondratskyi, V.O. (2019). Conceptual model of differentiated engagement of resource supply sources for investment-construction projects. *Urban Planning and Territorial Development*, (71), 283-300. {in Ukrainian}

12. Pokolenko, V.O., Ryzhakova, G.M., & Prykhodko, D.O. (2014). Implementation of tools for selecting alternatives for the realization of construction projects based on the functional-technical reliability of contracting organizations. *Management of Complex Systems Development*, (19(2)), 108-114. {in Ukrainian}

13. Petrenko, G., Petrukha, N., Ryzhakova, G., Marchuk, T., Malykhina, O., & Prykhodko, D. (2021). Selection of budgeting imperatives for an investment-construction project as a direction for improving the financial management system of an enterprise. *Management of Complex Systems Development*, (46), 108-117.{in Ukrainian}

14. Ryzhakova, G.M., Stetsenko, S.P., & Lahutina, Z.V. (2013). Alternative analytical tools for ensuring economic security in public investment in construction projects. *Management of Complex Systems Development*, (16), 203-208. {in Ukrainian}

15. Akselrod, R.B., Shpakov, A.V., & Ryzhakova, G.M. (2021). Economic and managerial predictors of the transformation of operational systems in construction development under conditions of economic digitalization. *Formation of Market Relations in Ukraine*, (12), 113-121. {in Ukrainian}

16. Ryzhakova, G.M., & Ryzhakov, D.A. (2016). Alternative tools for systematic internal audit of contracting enterprises. *Building Production*, (61(2)), 25-30.{in Ukrainian}

17. Trach, R.V., Ryzhakova, G.M., & Kryzhanovskyi, V.I. (2017). Information modeling and the concept of integrated realization of construction projects as the basis for the innovative development of a construction enterprise. *Management of Complex Systems Development*, (31), 173-178. {in Ukrainian}

18. Ryzhakova, G.M. (2012). Econometric modeling of the process of forming sales volumes of small enterprises in construction. Building Production, (53), 58-61. {in Ukrainian}

19. Korsun, I.M., Zinchenko, M.M., Makhno, S.V., & Myronenko, D.Yu. (2023). The paradigm of financing state budget expenditures in Ukraine under wartime and post-war socio-oriented market economy conditions. *Academic Review*, (2), 103-112. {in Ukrainian}

DOI: 10.32347/2786-7269.2025.11.368-382
УДК 691.(477.86)

к.т.н., ст.н.с. **Касіянчук В.Д.,**
vasyl.kasiianchuk@ukd.edu.ua https://orcid.org/0000-0003-1343-6025,
к.х.н., доцент **Шевчук М.О.,**
myroslava.shevchuk@ukd.edu.ua https://orcid.org/0000-0003-0362-6378,
Веркалець С.М.,
svitlana.verkalets@ukd.edu.ua https://orcid.org/0000-0001-7262-0864,
Гусар К.Д.,
kateryna.husar@ukd.edu.ua https://orcid.org/0000-0002-4319-2327,
Манзяк О.В.,
oksana.manziak@ukd.edu.ua https://orcid.org/0009-0007-7848-8965
ЗВО «Університет Короля Данила», м. Івано-Франківськ

ВИКЛИКИ ТА ПЕРСПЕКТИВИ ОРГАНІЗАЦІЇ ВИРОБНИЦТВА БУДІВЕЛЬНИХ МАТЕРІАЛІВ В УМОВАХ ВОЄННОГО СТАНУ, ПРИКЛАД «ТИЛОВОЇ» ОБЛАСТІ

Проведено аналіз стану справ з виробництвом будівельних матеріалів в умовах війни, а також перспективи розвитку цієї галузі в період відбудови народного господарства України. Відзначено, що обсяги виробництва будівельних матеріалів об'єктивно зменшилися через руйнування виробничих потужностей внаслідок воєнних подій, а також знаходження великих підприємств на окупованих територіях. Підтверджено, що за час бойових дій було зруйновано 138 млн квадратних метрів будівель та пошкоджено 26 тисяч квадратних кілометрів доріг, що призвело до підвищення попиту на будівельні матеріали. У свою чергу, вартість будівельних матеріалів значно зросла, через девальвацію гривні, логістичні проблеми та здорожання енергоносіїв. Дефіцит цементу, бетону, будівельних сумішей, мінеральної вати, ПВХ-профілів, листового скла, електротехнічної продукції може створити значні виклики для відновлення народного господарства, але це є важливим потенціалом для інвестування на перспективу. Звернута увага, що в нинішній ситуації зниження виробництва будівельних матеріалів не є критичним, хоча попит від будівельних організацій зменшився в п'ять разів. Про те, коли розпочнеться відновлення, всі потужності будуть потрібні, їх необхідно буде збільшувати і ринок будівельних матеріалів буде стрімко зростати. У відповідь на внесені законодавством зміни щодо підвищення безпеки населення і покращення енергоефективності будівель і споруд визначено тенденції щодо підвищення попиту на енергоефективні будівельні матеріали та модульні залізобетонні укриття. За умови ефективного управління ми можемо формувати додану

вартість від виробництва будівельних матеріалів на території України, що дозволить створити близько 180 тисяч робочих місць - більше, ніж до війни.[2]. Проаналізовано виробництво будівельних матеріалів в «тиловій» Івано-Франківській області за 2023 рік в порівнянні з 2022 роком і тенденції роботи галузі в 2024 році і відзначено позитивну динаміку роботи більшості підприємств. З метою значного збільшення обсягів виробництва будівельних матеріалів з місцевих сировинних ресурсів запропоновано використовувати покинуті виробничі приміщення, які є практично у всіх територіальних громадах області під організацію потужностей соціально важливої продукції з використанням науково-технічного прогресу, інновацій та передового досвіду.

Ключові слова: будівельні матеріали; воєнний стан; ринок; виробництво; науково-технічний прогрес; інновації; імпорт.

Постановка проблеми. Базовою галуззю будівельного комплексу є промисловість будівельних матеріалів. До війни серед країн Центральної Європи Україна була одним з найбільших виробників і експортерів різноманітних будівельних матеріалів, які виробляються з природної сировини (будівельний камінь, кам'яні облицювальні матеріали, вогнетривкі глини, каолін, кварцити тощо) та хімічним способом (покрівельні матеріали, пластмаси, смоли, клейкі речовини, полістиролові й кумаринові плити та ін.). Найбільшими довоєнними центрами промисловості будівельних матеріалів були –Донецьк, Київ, Харків, Одеса, Дніпропетровськ, Запоріжжя, Кривий Ріг, Маріуполь. У Донбасі зосереджені великі запаси високоякісних карбонатних порід (мергелі, доломіт, вапняки, крейда), з яких виробляють напівфабрикат цементу – клінкер. Тут діяли найбільші цементні підприємства України – Амвросіївський цементний комбінат (до нього належать п'ять заводів і чотири кар'єри), Краматорський та Єнакіївський цементні комбінати. До війни обсяг виробництва будівельних матеріалів складав 16 млрд. доларів із понад 130 тисячами працюючих в цій галузі. Щорічно ринок зростав на 10% і Україна поставляла на експорт 5% продукції, при цьому повністю забезпечуючи свої потреби. Повномасштабне вторгнення Росії значно вплинуло на зниження попиту на будівельні матеріали в прифронтових регіонах і складнощі з ре локацією підприємств. Водночас, 90% будівельних матеріалів, необхідних для відбудови можуть вироблятися в Україні. У «тилових» областях, зокрема, Івано-Франківській, є наявний потенціал потужностей з виробництва будівельних матеріалів. На основі існуючих промислових підприємствах, а також з використанням покинутих виробничих приміщень, які є практично у всіх територіальних громадах області, з необхідною їх реконструкцією і впровадженням досягнень науково-технічного прогресу, інновацій є

можливість значно збільшити обсяги, розширити асортимент будівельних матеріалів в основному з місцевих сировинних ресурсів. Все це повинно здійснюватися під відповідальним керівництвом місцевих територіальних громад, районних й обласної військових адміністрацій відповідно до Закону України «Про правовий режим воєнного стану» [1].

Аналіз досліджень публікацій. З означеної проблематики існує ряд публікацій, які носять загально інформаційний і рекомендаційний характер. Серьогіна Н.В.,Пашинов В.О. та Петренко О.В. проаналізували загальний стан галузі виробництва будівельних матеріалів на прикладі окремих груп, визначили зовнішні та внутрішні фактори впливу на обсяги виробництва будівельної продукції.[3]

Т. Одаренко, розглядаючи передумови й перспективи розвитку будівельного комплексу України, оцінює промисловість будівельних матеріалів, як комплекс галузей у складі важкої промисловості, які виготовляють матеріали, деталі й конструкції для всіх видів будівництва (цементу, азбестоцементних виробів, збірних залізобетонних і бетонних конструкцій та виробів, стінових матеріалів, будівельної кераміки, будівельних матеріалів та виробів з полімерної сировини, нерудних будівельних матеріалів, пористих заповнювачів тощо) [4].

О. Латишева та А. Сайко [5] стверджують, що така ситуація обумовлена збільшенням ступеню зношення основних засобів, зменшенням обсягів введення нових основних засобів, зниженням рентабельності діяльності виробництв будівельної продукції. Поліпшення роботи підприємств по виробництву будівельних матеріалів з метою забезпечення їх конкурентоспроможності можливе за рахунок оновлення основних засобів; впровадження досягнень науково-технічного прогресу; інновацій; підвищення якості будівельної продукції; вдосконалення управління, розширення горизонту планування; впровадження довгострокових програм фінансування; сприяння розвитку кластерних утворень. На думку окремих авторів , проблеми й перешкоди розвитку виробництва будівельних матеріалів сповільнюють соціально-економічний розвиток країни, погіршують їх конкурентну позицію. Проте оцінці розвитку виробництва будівельних матеріалів України в умовах воєнного стану поки що не приділено достатньо уваги.

Мета статті - аналіз тенденцій та перспектив розвитку виробництва будівельних матеріалів України в умовах воєнного стану, а також передумов і факторів, що сприятимуть розвиток ринку будівельних матеріалів в період відбудови.

Аналіз проведено на прикладі «тилової» Івано-Франківської області по виробництву промислової продукції, що використовується в будівництві.

Виклад основного матеріалу. З період повномасштабної війни галузь по виробництву будівельних матеріалів зазнала значних збитків. За даними Всеукраїнської спілки виробників будівельних матеріалів, щонайменше 70 великих будівельних підприємств, понад 300 середніх і близько одної тисячі малих було зруйновано внаслідок бойових дій, а також в даний час знаходяться на окупованих територіях. Аналітики відзначають, що руйнування підприємств будівельної галузі триває, тому виробникам і постачальникам будівельних матеріалів потрібно шукати нові логістичні ланцюжки. Така тенденція спостерігається і в 2024 році.[6].

Протягом 2022-2023-2024 років втрат зазнали різні сегменти промисловості будівельних матеріалів, зокрема металопрокату, скла та сухих будівельних сумішей. Постачальники будівельних матеріалів, які раніше імпортували їх з Росії та Білорусі (металопрокат, цемент, скло, бітум, сенгвіч-панелі та інше), були змушені переорієнтовуватись на постачання із країн Євросоюзу і Туреччини.[7]. Наприкінці 2023 року і на початку 2024 року виникли ускладнення із ввезенням будівельних матеріалів через блокування польськими і словацькими перевізниками пунктів пропуску на кордоні з Україною. Це призвело до зростання цін і термінів постачання імпортних будівельних матеріалів. Закриття Українських портів для імпорту будівельних матеріалів морем(металопрокат, хімічні речовини, оздоблювальні матеріали тощо)призвело до руйнування існуючих логістичних шляхів та пошуку нових. На сьогоднішній день ввезення цих матеріалів в Україну здійснюється через Румунію, що сприяє зростанню вартості продукції. Окрім ускладнення логістики на зростання цін вплинули подорожання енергетичних ресурсів та зниження курсу гривні на валютному ринку. Від валютного ринку залежить вартість імпортних будівельних матеріалів в Україні, так і собівартість їх виробництва із закордонної сировини і на іноземному обладнанні. У відповідь на загрози воєнного часу відбулися зміни в законодавчих документах щодо підвищення безпеки людей і покращення енергоефективності будівель і споруд. Внесені зміни до закону України №2486-IX регламентують вимоги до улаштування об’єктів цивільного захисту при проектуванні і будівництві нових будівель і споруд.[8]. На ринку будівельних конструкцій з’явилися модульні залізобетонні укриття, призначені для захисту людей під час надзвичайних ситуацій військового характеру. У ДБН В.2.6-31:2021 змінилися вимоги до мінімально допустимих значень приведеного опору теплопередачі огороджувальних конструкцій будівель і споруд з їх підвищенням в середньому на 28%. Нові вимоги призвели до зміни технологій виробництва окремих будівельних матеріалів, що також вплинуло на здороження собівартості продукції. В результаті поступового відновлення виробництва будівельних

матеріалів в Україні помітно не лише зростання цін на ринку будівельних матеріалів, але також підвищення рівня заробітної плати працівників цієї галузі. Еміграція та мобілізація кваліфікованих працівників призвели до дефіциту кадрів не тільки в галузі виробництва будівельних матеріалів, а і в будівельному комплексі в цілому. Все це призвело і призводить до здороження собівартості будівництва.

Вартість будівельних матеріалів в період воєнного часу зросла більше як вдвічі, порівняно з довоєнними цінами.[9].

Виробництво будівельних матеріалів розвивається під впливом сировинного, споживчого і логістичного факторів, а розміщення підприємств цієї галузі залежить від переважання хоча б одного з них. Промисловість будівельних матеріалів відзначається складністю галузевої структури.

Одним із головних матеріалів для відбудови народного господарства України є цемент. За даними Асоціації «Укрцемент», потреба цементу в роки відбудови становитиме що найменше 14 млн. тон на рік. До такої потреби необхідно готувати потужності цементної промисловості України. Зокрема, мова йде про будівництво клінкерних печей для збільшення потужностей по виробництву цементу понад 2,4 млн. тон на рік. Цементна сировина і цементна промисловість розміщена по всій території України. В довоєнний період збільшилася частка високоякісних сортів цементу і щорічно зростали його обсяги. Свого часу на території України утворилися великі зони виробництва цементу: південно-східна (Донецька область), південна (Миколаївська область), західна (Рівненська, Хмельницька, Львівська, Івано-Франківська області). В умовах війни підприємства цієї галузі па сході і півдні нашої держави майже не працюють або працюють на окупованих територіях.[10]. Основне навантаження по виробництву цементу для будівельної галузі взяли на себе підприємства, які розміщені в «тилових» областях Західної України, зокрема ПрАТ «Івано-Франківськ цемент». Також великий попит прогнозується на бетон, цеглу, металоконструкцію, скло, теплоізоляційні та облицювальні матеріали. У сучасному будівництві спостерігається підвищений попит до застосування енергоефективних будівельних матеріалів, зокрема виготовлених по інноваційних технологіях з використанням місцевих сировинних ресурсів в «тилових» областях. Серед інноваційних технологій можна відзначити розробку ТОВ «Енергетичні інноваційні технології» «Конструкції огороджуючі для захисту від ударної хвилі та уламків» згідно Технічних умов ТУ У 13.2,6 – 23,6 – 36216527 – 001:2024 р., які набрали чинності 30.10.2024 р.

Такі конструкції можна виготовляти на одному із підприємств в «тиловій» Івано-Франківській області, або для організації виробництва перепрофілювати одне із виробничих приміщень, які в даний час не

використовуються. Важливим являється організація виробництва композитної терасної дошки типу “PolyWood” з використанням відходів деревообробної промисловості, а також відходів продукції рослинництва агропромислового комплексу і наповнювачів місцевого хімічного підприємства. Удосконаленням даної технології займається кафедра архітектури та будівництва ЗВО «Університет Короля Данила»

Вітчизняна промисловість будівельних матеріалів може задовільнити більшість потреб післявоєнної відбудови народного господарства України. Ступінь руйнувань і втрат потужностей некритичний, за виключенням ПВХ-профілю і гіпсової штукатурки. Щодо забезпечення потреби сухими будівельними сумішами на цементній основі, то наразі наша країна здатна майже повністю забезпечити внутрішній попит на цемент, маючи для цього потужну промисловість по виробництву цієї продукції. [11].

В даний час більшість українських інвесторів готуються до відбудови і активно прораховують вартість проектних і будівельно-монтажних робіт, але очікують завершення воєнних дій і справедливого миру. Для міжнародних інвесторів виробництво будівельних матеріалів України може розглядатися, як пріоритетний для інвестицій та надання допомоги постраждалій від війни економіці. Міжнародні фінансові інституції планують залучатися до відбудови народного господарства України. Ключовими критеріями фінансування повоєнного будівництва в Україні будуть швидкість та прозорість реалізації проектів, тому міжнародні організації вже сьогодні починають налагоджувати партнерство з виробниками будівельних матеріалів. При цьому у пріоритеті стають підприємства, які працюють з європейськими технологіями і матеріалами, що дозволяє створювати сучасні енергоефективні та архітектурно привабливі будівлі і споруди.[12].

Забезпечення будівництва матеріалами вітчизняного виробництва підтримає після воєнне ослаблене народне господарство України через зростання виробленої доданої вартості, організацію робочих місць та збільшить надходження до місцевих бюджетів, а також зменшить потребу фінансування із державного бюджету за рахунок інвестицій міжнародних фінансових організацій.

Аналіз виробництва будівельних матеріалів в «тиловій» Івано-Франківській області за 2022-2023 роки і тенденції в 2024році.[13].

Промислове виробництво в області охоплює широкий спектр видів діяльності, одним із яких є випуск будівельної продукції. Виробництво промислової продукції, що використовується в будівництві забезпечують більше ста підприємств регіону.

У добувній промисловості і розробленні кар'єрів у 2023 році порівняно з 2022 роком зафіксовано зростання каменю дробленого, який використовується як наповнювач бетону, для дорожнього покриття та подібних цілей в 1,7 раза; пісків будівельних, такі як глинисті, каолінові, польовошпатові(крім кременистих та металоносних пісків)-на 17,5%. Також зросло виробництво пісковика(валового); гальки та гравію, що використовується як наповнювачі бетону, для дорожнього покриття та подібних цілей; кременю; вапняку, флюсу вапнякового та іншого вапнякового каменю для виготовлення вапна й цементу (крім подрібненого вапнякового наповнювача та каменю вапнякового заданих розмірів) (на 38,5%-у 2,9 раза). Крім того, у 2023 році відновлено виробництво глин вогнетривких.

Аналогічна тенденція спостерігається і у 2024 році: зросли обсяги видобутку каменю дробленого, який використовується як наповнювач бетону, для дорожнього покриття та подібних цілей; пісків будівельних, такі як глинисті, каолінові, польовоштапові(крім кременистих та металоносних пісків); глин вогнетривких (на 34,4%-у 2,6 раза). Водночас зменшилось виробництво вапняку, флюсу вапнякового та іншого вапнякового каменю для виготовлення вапна й цементу (крім подрібненого вапнякового наповнювача та каменю вапнякового заданих розмірів).

У виготовленні виробів із деревини у 2023 році порівняно з попереднім роком спостерігається зменшення окремих видів продукції, зокрема обсяги виробництва виробів столярних та конструкцій будівельних з деревини зменшилися на 5,4%; деревини, уключаючи планки та фризи для паркетного покриття підлоги, незібрані, у вигляді погонажу уздовж будь якого з робер, торців чи площин, стругана або нестругана, шліфована або з'єднана в шип(крім хвойних порід та бамбука)-на 23,1%; виробництво вікон, дверей балконних та їх рам – на 31%; деревини хвойних порід у вигляді погонажу профільованого уздовж будь якого з ребер чи площин, уключаючи планки та фризи для паркетного покриття підлоги, незібрані-на 35,7%.

У 2024 році порівняно з аналогічним періодом минулого року зменшилося виробництво вікон, балконних дверей і їх рам (у 5,8 раза); деревини хвойних порід у вигляді погонажу профільованого уздовж будь якого з ребер чи площин, уключаючи планки та фризи для паркетного покриття підлоги, незібрані (на третину). Водночас, за вказаний період зросло виробництво деревини, уключаючи планки та фризи для паркетного покриття підлоги, незібрані у вигляді погонажу уздовж будь-якого з ребер, торців чи площин, стругана або нестругана, шліфована або з'єднана в шип (крім хвойних порі та бамбука)-в 1,7 раза; виробів столярних та конструкцій будівельних з деревини-на 4,4%.

На підприємствах з виробництва гумових і пластмасових виробів у 2023 році зросло виробництво вікон та їх рам, дверей та їх коробок і порогів з пластмас-на 20,7%. Спостерігається також зростання у виробництві будівельних елементів, які використовуються для спорудження підлог, стін, перегородок, стель, дахів т.ін.

На підприємствах із виробництва іншої неметалевої мінеральної продукції у 2023 році зросло виробництво розчинів бетонних готових для використання-1,7 раза; плиток, плит, черепиці та виробів подібних з цементу, бетону або каменю штучного (крім блоків та цегли для будівництва)-в 1,6 раза; елементів конструкцій збірних для будівництва з цементу, бетону або каменю штучного-на 24,5%; цегли невогнетривкої керамічної будівельної(крім виробів з борошна кам'яного кремнеземистого чи ґрунтів діатомітових) - на 20,8%; плиток та плит керамічних-на6,2%.

Також зросло виробництво клінкерів цементних; портландцементу; виробництво гіпсових сумішей, що складаються з кальцинованого гіпсу або сульфату кальцію; виробів з азбесцементу, з цементу з волокнами целюлози або подібних волокнистих сумішей (азбесту, целюлози та інших рослинних волокон, синтетичних матеріалів, скла чи металевих волокон і т.ін) та цементу або інших гідравлічних зв'язувальних речовин, які містять азбест; вапна негашеного-у 3,2 раза. Спостерігається значне зростання виробництва блоків та цегли з цементу, бетону або каменю штучного для будівництва. Водночас виробництво сумішей асфальтових для дорожнього покриття, сумішей будівельних сухих(крім розчинів бетонних, готових для використання), бітумінозних на основі природних і штучних заповнювачів та з асфальтом природним і бітумом, як зв'язувальними речовинами зменшилося-у 1,8 раза.

У січні–серпні 2024р. порівняно з аналогічним періодом 2023 року зросло виробництво гіпсових сумішей, що складаються з кальцинованого гіпсу або сульфату кальцію; клінкерів цементних; портландцементу; блоків та цегли з цементу, бетону або каменю штучного для будівництва (на 2,2–49,3%); розчинів бетонних, готових для використання (на 6,6%); плиток, плит, черепиці та виробів подібних з цементу, бетону або каменю штучного (крім блоків та цегли для будівництва) (на 14,9%); цегли невогнетривкої керамічної будівельної (крім виробів з борошна кам'яного кремнеземистого чи ґрунтів діатомітових) (на 17,6%); елементів конструкцій збірних для будівництва з цементу, бетону або каменю штучного (на 18,7%). Разом з тим скоротилось виробництво вапна негашеного; виробів з азбесцементу, з цементу з волокнами целюлози або подібних волокнистих сумішей (азбесту, целюлози та інших рослинних волокон, синтетичних матеріалів, скла чи металевих волокон і т.ін.) та цементу або інших гідравлічних зв'язувальних речовин, які містять азбест;

сумішей будівельних сухих (крім розчинів бетонних, готових для використання) (на 4,7%–18%); плиток та плит керамічних, сумішей асфальтових для дорожнього покриття сумішей бітумінозних на основі природних і штучних заповнювачів та з асфальтом природним і бітумом як зв'язувальними речовинами (на 23,3%–68,8%).

У металургійному виробництві, виробництві готових металевих виробів, крім машин і устаткування, за підсумками 2023 року відмічалося збільшення виробництва конструкцій, виготовлених виключно або переважно з листового матеріалу, з металів чорних, інших; листів профільованих (ребристих) холоднодеформованих, зі сталі нелегованої; профілів холоднодеформованих, отриманих із прокату плоского, зі сталі неіржавої (на 11,9% – у 2,2 раза). Поряд з цим зменшилось виробництво конструкцій збірних будівельних (уключаючи блоки будівельні) з чавуну чи сталі (житлові або промислові приміщення, школи, магазини, навіси, гаражі або аналогічні будівлі).

У січні–серпні 2024 року спостерігалося зменшення виробництва листів профільованих (ребристих) холоднодеформованих, зі сталі нелегованої(на 14,3%) та профілів холоднодеформованих, отриманих із прокату плоского, зі сталі неіржавої. Водночас, збільшилось виробництво конструкцій, виготовлених виключно або переважно з листового матеріалу, з металів чорних, інших (на 22,3%) та конструкцій збірних будівельних (уключаючи блоки будівельні) з чавуну чи сталі (житлові або промислові приміщення, школи, магазини, навіси, гаражі або аналогічні будівлі).

Виробництво будівельної продукції в області демонструє змішану динаміку, що може бути пов'язано як з внутрішніми, так і з зовнішніми чинниками економічного характеру. Упродовж останніх трьох років намітилася позитивна динаміка у виробництві портландцементу, клінкерів цементних, каменю дробленого, а також дверей, плиток і плит керамічних, елементів і збірних конструкцій для будівництва з цементу, бетону чи каменю штучного, розчинів бетонних, сумішей асфальтових для дорожнього покриття, листів профільованих холоднодеформованих, зі сталі нелегованої. Водночас зменшилися обсяги у виробництві цегли керамічної будівельної, виробів столярних і конструкцій будівельних, з деревини, пісків будівельних (глинисті, каолінові,полевошпитові), крім кременистих і металоносних пісків.

У 2023 р. у структурі експорту товарів частка деревини та виробів із деревини склала 16,5% загальнообласних обсягів (у 2022 р. – 18,6%, протягом першого півріччя 2024 р. – 18,8%). Порівняно з 2022 р. обсяги експорту цих товарів зменшилися на 20,2%. Водночас суб'єктами зовнішньоекономічної діяльності Івано-Франківщини за 2023 рік було експортовано виробів із

каменю, гіпсу, цементу на суму 3,5 млн. дол. США (у 2022 р. – 2,9 млн дол., І півріччя 2024 р. – 2,3 млн.дол.[13].

У «тилових» областях, зокрема, в Івано-Франківській області, необхідно провести інвентаризацію виробничих приміщень колишніх промислових підприємств, які з різних причин припинили свою діяльність, і перепрофілювати їх на організацію виробництв будівельних матеріалів. Для прикладу, це приміщення Хриплинського промислового вузла в м.Івано-Франківську, приміщення і територія бувшого заводу ТОС «Барва» в с.Ямниця, приміщення покинутих хімічних виробництв в м. Калуші, заводів сільського машинобудування і електрооснастки в м. Коломиї, бувших лісокомбінатів і багато ін. Практично в кожній територіальній громаді є приміщення, які можна перепрофілювати під виробництва необхідних будівельних матеріалів. Щодо кадрового забезпечення доцільно працевлаштовувати випускників спеціалізованих ліцеїв, коледжів, вищих навчальних закладів на створених виробництвах з відповідним бронюванням на період воєнного стану.

Таким чином, для збільшення виробництва будівельних матеріалів потрібних обсягів і асортименту необхідно:

-активізувати розвиток й використання досягнень науково-технічного прогресу, інновацій, передового досвіду в галузі як способів дій, модернізації основних засобів і предметів праці та якості працівників, що забезпечить створення необхідної кількості, потрібного асортименту та високої якості продукції;

-розвивати нові організаційні форми у галузі, ріст соціально-економічних дій і рішень, цілеспрямованого й активного впливу фахівця на виробничі та логістичні процеси;

-зменшити залежність галузі від зовнішніх умов і процесів, відмовитись від надмірної централізації й локалізації щодо енергозабезпечення, використання місцевих сировинних ресурсів;

-підвищити вимоги до цивільного захисту та життєзабезпечення працівників на виробництві і місцевого населення.

Висновки. Виробництво будівельних матеріалів під час воєнного стану є складним видом діяльності. Однак, незважаючи на труднощі, воно відіграє важливу роль в ритмічному забезпеченні капітального будівництва необхідними ресурсами особливо в період відбудови народного господарства України.

Проаналізовано стан виробництва будівельних матеріалів в державі та Івано-Франківській області, яка в умовах воєнного стану є «тиловою», процеси й тенденції змін у галузі. Запропоновано використовувати покинуті виробничі приміщення колишніх промислових підприємств під організацію в них

виробництва будівельних матеріалів з місцевих сировинних ресурсів, з впровадженням досягнень науково-технічного прогресу, інноваційних технологій і передового досвіду.

Впровадження результатів досліджень і конкретних пропозицій дасть можливість активізувати роботу існуючих виробництв, організувати нові потужності і поповнити дефіцит в будівельних матеріалах, який виник через зруйновані агресором аналогічні підприємства на сході і півдні нашої держави, здійснювати реконструкцію існуючих та будівництво нових виробничих приміщень, відновлювати й модернізувати інженерну інфраструктуру, розвинути будівництво житла, об'єктів соціально-культурного призначення, організувати додаткові робочі місця, в т.ч. для тимчасово переміщених осіб, поповнити місцеві бюджети і в цілому бюджет України.

Перелік використаних джерел:

1. Про правовий режим воєнного стану: Закон України [док. 389-VIII,чинний, ред. від 27.07.2024] // Відомості Верховної Ради (ВВР). 2015. № 28. https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/389-19#Text.

2. Виклики та перспективи будівельної індустрії України: обговорення досліджень стосовно готовності ринку будівльних матеріалів до відбудови України. https://eba.com.ua/vyklyky-ta-perspektyvy-budivelnoyi-industriyi-ukrayiny-obgovorennya-doslidzhennya-stosovno-gotovnosti-rynku-budivelnyh-materialiv-do-vidbudovy-ukrayiny/.

3. Серьогіна Н.В., Пашинов В.О., Петренко О.В. Оцінка стану та перспективи розвиту виробництва будівельних матеріалів. Держава та регіони. Серія, Економіка та підприємництво. 2019. №2(107). С 116-120.

4. Одаренко Т.Є. Передумови та перспективи розвитку будівельного комплексу України // Цифровий репозитарій ХНАМГ, 2013. https://core.ac.uk/reader/13358553.

5. Латишева О.В. Будівельна галузь України: сучасний стан та її роль у забезпеченні сталого розвитку національної економіки // Економічний вісник Донбасу. 2019. № 2 (56). С. 66–73.

6. Ринок будівництва відновлюється: Ukrainian Council of Shoppin g Centers (UCSC): сайт. URL: Ринок будівництва відновлюється: що буде з цінами на матеріали до кінця року І Українська Рада торгових центрів (ucsc.org.ua).

7. Закон України від 29.07.2022 №2486-lX «Про внесення змін до деяких https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/389-19#Text захисту під час планування та забудови територій. Верховна Рада України. Законодавство України: сайт.URL: https://zakon.rada.gov.ua/laws.

8. Ринок будівельних матеріалів в Україні: Фактори впливу та тенденції розвитку проведено компанією Pro-Consulting : сайт.URL. https://pro-consulting.ua/ua/pressroom/rynok-stroitelnyh-materialov-v-ukraine-faktory-vliyaniya-i-tendencii-razvitiya.

9. Пріоритети розвитку реального сектора в умовах війни та повоєнного відновлення економіки економіки України: аналіт. доц./[О.В. Собкевич, А.В .Шевченко, В.М. Русан та ін.] К.:НІСД, 2024 -104с. https://doi.org/10.53679/NISS-analytrep.2024/03.

10. Romanenko O.V., Kalantyr D.V. Assesment of the state and development prospects of the dry mix mortar market in Ukraine and in the world. Modern engineering and innovative technologies. 2023. Issue №30 Part 3 (Germany). p. 42-48. URL: https://www.moderntechno.de/index.php/meit/issue/view/meit30-03/meit30-03.

11. Експерт розповів про тенденції будівельного ринку України. СтройОбзор: сайт.URL: https://stroyobzor.ua/ru/news-ukraine/ekspert-rozpoviv-pro-tendencii-budivelnogo-rinku-ukraini.

12. Аналітична довідка про виробництво будівельних матеріалів в Івано-Франківській області за 2023 рік в порівнянні з 2022 роком, та січні-серпні 2024 року. Головне управління статистики в Івано-Франківській області. – Івано-Франківськ, 2024. – 8 с.

13. Косьмій М.М., Касіянчук В.Д., Шевчук М.О.,Габрель М.М. Трансофрмація та особливості капітального будівництва в умовах воєнного стану. Приклад «тилової» області. Просторовий розвиток, вип.8. КНУБА.: 2024.С. 190 -207.

14. ДБН В.2.2-5:2023. Захисні споруди цивільного захисту. Міністерство розвитку громад, територій та інфраструктури України. – К., 2023. https://e-construction.gov.ua/laws_detail/3225773063500990463.

15. Бабич Ю. Що очікує ринок нерухомості у 2024 році: від глобальних тенденцій до локальних прогнозів / Юлія Бабич // 24 Нерухомість. https://realestate.24tv.ua/shho-ochikuye-rinok-neruhomosti-2024-rotsi-prognoz-dlya-ukrayini_n2461675.

16. Деякі питання здійснення дозвільних та реєстраційних процедур у будівництві в умовах воєнного стану: Постанова Кабінету Міністрів України № 722 від 24.06.2022 р. https://www.kmu.gov.ua/npas/deyaki-pitannya-zdijsnennya-dozvilnih-ta-reyestracijnih-procedur-u-budivnictvi-v-umovah-voyennogo-stanu-i240622-722.

17. Коба О. В. Ризики і загрози економічної безпеки будівельної галузі України в умовах воєнного стану / О.В. Коба // Вісник Хмельницького національного університету. Серія: Економічні науки. – 2020. – Вип. 6. – С. 352–358.

18. Стратегія розвитку Івано-Франківської області на 2021–2027 роки: Рішення обласної ради від 21.02.2020 [док. 1381-34/2020]. – Івано-Франківськ, 2020. – 99 с. https://www.if.gov.ua/storage/app/sites/24/documentu-2021/10-06-2021-strategiya-rozvitku-ivano-frankivskoi-oblasti-na-2021-2027-roki.pdf .

19. Івано-Франківщина в цифрах. Головне управління статистики в Івано-Франківській області. https://ifstat.gov.ua/KONF_1/2021/1kv/PDF ; https://www.ifstat.gov.ua/INDEX.HTM#:~:text.

20. Аналітична довідка про результати діяльності будівельної галузі Івано-Франківської області за 2023 р. Головне управління статистики в Івано-Франківській області. – Івано-Франківськ, 2024. – 8 с.

PhD, Senior Researcher, Professor **Vasyl Kasiianchuk,**
PhD (Candidate of Chemical Sciences) **Myroslava Shevchuk,**
lecturer of the Department **Svitlana Verkalets,**
lecturer of the Department **Kateryna Gusar,**
lecturer of the Department **Oksana Manziak,**
University of King Danylo, Ivano-Frankivsk

CHALLENGES AND PROSPECTS FOR THE ORGANIZATION OF PRODUCTION OF BUILDING MATERIALS UNDER MARTIAL LAW, AN EXAMPLE OF THE "REAR" REGION

The article analyzes the state of affairs with the production of building materials under martial law, as well as the prospects for the development of this industry during the reconstruction of the national economy of Ukraine. It is noted that the volume of

production of building materials objectively decreased due to the destruction of production facilities due to military events, as well as the location of large enterprises in the occupied territories. It has been confirmed that during the fighting 138 million square meters of buildings were destroyed and 26 thousand square kilometers of roads were damaged, which led to increased demand for building materials. In turn, the cost of building materials has increased significantly, due to the devaluation of hryvnia, logistical problems and energy costs. Deficiency of cement, concrete, building mixtures, mineral wool, PVC profiles, sheet glass, electrical products can create significant challenges for the restoration of the national economy but this is an important potential for investing in the future. Attention is drawn to the fact that in the current situation, the decline in the production of building materials is not critical, although the demand from construction organizations has decreased by five times. When the recovery will begin, all the capacities will be needed, they will need to be increased and the market for building materials will grow rapidly. In response to the changes made by the legislation to improve the safety of the population and improve the energy efficiency of buildings and structures, trends in increasing the demand for energy-efficient building materials and modular reinforced concrete shelters have been identified. Under the condition of effective management, we can generate added value from the production of building materials in Ukraine, which will create about 180 thousand jobs more than before the war. [2]

The production of building materials in the "Tylova" Ivano-Frankivsk region for 2023 compared to 2022 and trends in the industry in 2024 and noted the positive dynamics of the majority of enterprises. In order to significantly increase the production of building materials from local raw materials, it is proposed to use abandoned production facilities, which are practically in all territorial communities of the region for the organization of socially important products with the use of scientific and technological progress, innovation and best practices.

Keywords**:** building materials; martial law; market; production; scientific and technical progress; innovation; import.

REFERENCES

1. Pro pravovyy rezhym voyennogo stanu: Zakon Ukrainy [dok. 389-VIII, chynnyy, red. vid 27.07.2024] // Vidomosti Verkhovnoyi Rady (VVR). – 2015. – № 28. URL: https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/389-19#Text. {in Ukrainian}

2. Vyklyky ta perspektyvy budivel′noyi industriyi Ukrayiny: obhovorennya doslidzhen′ stosovno hotovnosti rynku budivel′nykh materialiv do vidbudovy Ukrayiny // Ukrayins′ka Biznes Asotsiatsiya. URL: https://eba.com.ua/vyklyky-ta-perspektyvy-budivelnoyi-industriyi-ukrayiny-obgovorennya-doslidzhennya-

stosovno-gotovnosti-rynku-budivelnyh-materialiv-do-vidbudovy-ukrayiny/. {in Ukrainian}

3. Seryohina N.V., Pashynov V.O., Petrenko O.V. Otsinka stanu ta perspektyvy rozvytku vyrobnytstva budivel′nykh materialiv. Derzhava ta rehiony. Seriya, Ekonomika ta pidpryyemnytstvo. 2019. № 2(107). S. 116–120. {in Ukrainian}

4. Odarenko T.Ye. Peredumovy ta perspektyvy rozvytku budivel′noho kompleksu Ukrayiny // Tsyfrovyj repozytariy KHNAMH, 2013. URL: https://core.ac.uk/reader/13358553. {in Ukrainian}

5. Latysheva O.V., Sayko A.D. Budivel′na haluz′ Ukrayiny: suchasnyy stan ta yiyi rol′ u zabezpechenni staloho rozvytku natsional′noyi ekonomiky // Ekonomichnyy visnyk Donbasu. 2019. № 2 (56). S. 66–73. {in Ukrainian}

6. Rynok budivnytstva vidnovlyuyetsya: shcho bude z tsinamy na materialy do kin′tsya roku. Ukrayinska Rada Torgovykh Tsentriv (UCSC). URL: Rynok budivnytstva vidnovlyuyetsya: shcho bude z tsinamy na materialy do kin′tsya roku. {in Ukrainian}

7. Zakon Ukrainy vid 29.07.2022 № 2486-IX "Pro vnesennya zmin do deyakykh zakonodavchykh aktiv shchodo zakhystu pid chas planuvannya ta zabudovy terytoriy." Verkhovna Rada Ukrayiny. URL: https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/389-19#Text. {in Ukrainian}

8. Rynok budivel′nykh materialiv v Ukrayini: Faktory vplyvu ta tendentsiyi rozvytku. Pro Consulting. URL: Rynok budivel′nykh materialiv. {in Ukrainian}

9. Priorytety rozvytku real′noho sektora v umovakh viyny ta povoyennogo vidnovlennya ekonomiky Ukrayiny: analit. dotz. / O.V. Sobkevych, A.V. Shevchenko, V.M. Rusan ta in.; za zah. red. Ya.A. Zhalila. – K.: NISD, 2024. – 104s. URL: https://doi.org/10.53679/NISS-analytrep.2024/03. {in Ukrainian}

10. Romanenko O.V., Kalantyr D.V. Assesment of the state and development prospects of the dry mix mortar market in Ukraine and in the world. Modern engineering and innovative technologies. 2023. Issue №30 Part 3 (Germany). p. 42–48. URL: https://www.moderntechno.de/index.php/meit/issue/view/meit30-03/meit30-03. {in Germany}

11. Ekspert rozpoviv pro tendenciyi budivel′noho rynku Ukrayiny. StroyObzor. URL: https://stroyobzor.ua/ru/news-ukraine/ekspert-rozpoviv-pro-tendencii-budivelnogo-rinku-ukraini. {in Ukrainian}

12. Analitychna dovidka pro vyrobnytstvo budivel′nykh materialiv v Ivano-Frankivskij oblasti za 2023 rik v porivnyanni z 2022 rokom, ta sichni-serpni 2024 roku. Holovne upravlinnya statystyky v Ivano-Frankivskij oblasti. – Ivano-FrankivsMykk, 2024. – 8 s. {in Ukrainian}

13. Myhailo Kosmii, Mykola Habrel Vasyl, Kasiianchuk, Myroslava Shevchuk Transformations and features of capital construction in conditions of martial law. An example of the "rear" area Prostorovyy rozvytok, vyp. 8. K.: KNUBA, 2024, pp. 197-207. {in Ukrainian}

14. DBN V.2.2-5:2023. Civil defense protective structures. Ministry for Communities, Territories and Infrastructure Development of Ukraine. Kiev. https://e-construction.gov.ua/laws_detail/3225773063500990463. {in Ukrainian}

15. Babich, Y. (2024). What awaits the real estate market in 2024: from global trends to local forecasts. 24 Real Estate. https://realestate.24tv.ua/shho-ochikuye-rinok-neruhomosti-2024-rotsi-prognoz-dlya-ukrayini_n2461675. {in Ukrainian}

16. Some issues of the implementation of permitting and registration procedures in construction under martial law (2022): Resolution of the Cabinet of Ministers of Ukraine No. 722. https://www.kmu.gov.ua/npas/deyaki-pitannya-zdijsnennya-dozvilnih-ta-reyestracijnih-procedur-u-budivnictvi-v-umovah-voyennogo-stanu-i240622-722 .{in Ukrainian}

17. Koba, O.V. (2020). Risks and threats to the economic security of the construction industry of Ukraine under martial law. Bulletin of Khmelnytskyi National University. Series: Economic Sciences. Vyp. 6, c. 352–358. {in Ukrainian}

18. Development Strategy of Ivano-Frankivsk Oblast for 2021–2027: Decision of the Regional Council from 21.02.2020. https://www.if.gov.ua/storage/app/sites/24/documentu-2021/10-06-2021-strategiya-rozvitku-ivano-frankivskoi-oblasti-na-2021-2027-roki.pdf. {in Ukrainian}

19. Ivano-Frankivsk region in figures. Main Department of Statistics in Ivano-Frankivsk Oblast. https://ifstat.gov.ua/KONF_1/2021/1kv/PDF; https://www.ifstat.gov.ua/INDEX.HTM#:~:text. {in Ukrainian}

20. Analitychna dovidka pro rezultaty diialnosti budivelnoi haluzi Ivano-Frankivskoi oblasti za 2023 r. Holovne upravlinnia statystyky v Ivano-Frankivskii oblasti. – Ivano-Frankivsk, 2024. – 8 s. {in Ukrainian}

DOI: 10.32347/2786-7269.2025.11.383-396
УДК 711.1

канд. техн. наук, доцент **Кіс Н.Ю.,**
nadiya.kis@uzhnu.edu.ua, ORCID: 0000-0002-7330-2865,
Тютюнникова Г.С.,
ganna.tyutynnykova@uzhnu.edu.ua, ORCID: 0000-0003-0859-6382,
Несух М.М.,
michael.nesuh@uzhnu.edu.ua, ORCID: 0000-0003-2561-110X,
канд. техн. наук, доцент **Субота А.В.,**
andrii.subota@uzhnu.edu.ua, ORCID: 0000-0002-8605-344X,
ДВНЗ «Ужгородський національний університет»

ПРОБЛЕМИ ІНТЕГРАЦІЇ КОНЦЕПЦІЇ СТАЛОГО РОЗВИТКУ В ПРОЄКТИ ПРОСТОРОВОГО ПЛАНУВАННЯ В УКРАЇНІ (ЧАСТИНА 1)

У дослідженні розглядається проблеми розриву між містобудівною документацією та юридичними документами, що ускладнює реалізацію стратегій сталого розвитку населених пунктів. Стаття наголошує на необхідності системної координації між різними аспектами розвитку для досягнення успішного впровадження сталого розвитку в Україні. Дослідження складається з двох частин.

Ключові слова: сталий розвиток; просторове планування; містобудівна документація; громадська участь; Україна; стратегії розвитку; координація документів; інтеграція.

Вступ

Українська містобудівна школа має довгу історію та багаторічний досвід, теорію, методологію і проєктну культуру містобудівного планування. Інтеграція України в систему світових процесів розвитку вимагає коригування практики міського проектування, планування та господарювання. Розрив між містобудівною документацією і стратегічними документами, недостатня участь громади в ухваленні рішень, неефективна координація між різними секторами міського господарства — всі ці проблеми існували ще до повномасштабного вторгнення. Проте, війна загострила ці виклики, зробивши їх більш явними та критичними для вирішення. Особливо гостро цей аспект повстає у контексті післявоєнної відбудови та реорганізації територій. Різноманітні соціальні процеси, такі, як: урбанізація, зміни клімату, соціально-економічні трансформації, вимагають інтеграції нових підходів до просторового планування територій. Важливо чітко розмежовувати та правильно застосовувати поняття «містобудівне планування», «просторове планування» та

«стратегічне планування», особливо в контексті розробки і реалізації стратегій розвитку територій. Також важливо розуміти пріоритет та місце кожного прийнятого нормативу, стратегії та закону у сьогоднішніх реаліях. Грамотна інтеграція світових підходів до планування міських територій в проєкти просторового планування, є ключем до успішного їх розвитку. Плутанина в статусі старих та нових законів, нормативах та стратегічних документів може ускладнювати розуміння та взаємоінтеграцію обох підходів.

Основною ідеєю сталого розвитку суспільства є те, що нам потрібно забезпечити збалансований розвиток, який задовольняв би потреби сучасного покоління, не підірвавши здатності майбутніх поколінь задовольняти свої власні потреби.

Стратегія сталого розвитку суспільства включає в себе ряд концепцій сталого розвитку для різних сфер життя суспільства: Економічний аспект, Екологічний аспект, Соціальний аспект, Культурний аспект, Політичний аспект та Містобудівний аспект. Саме останній є ключовим в контексті реалізації концепції сталого розвитку, так як містобудівне планування та розвиток міст та населених пунктів, відіграють важливу роль у досягненні сталого розвитку.

Проблематика стратегічного планування сталого розвитку, як інструменту містобудівної модернізації міст України, постала перед нами закономірно як пошук відповіді на запитання: *яке місце діючих містобудівних документів у системі стратегічного планування*.

Виклад основного матеріалу

Величезна кількість проблем які повинні вирішуватися стратегічним плануванням сталого розвитку територій лежить в площині містобудування та територіального планування . Наприклад: стратегія сталого розвитку передбачає комплексне планування з урахуванням соціальних, економічних та екологічних факторів. Проте, якщо містобудівна документація, не узгоджується з юридичними документами чи іншими стратегіями (планами з енергоефективності або захисту природних ресурсів), це призводить до невиконання цих стратегій.

Уявімо, що в стратегії сталого розвитку для міста *N* визначено, що потрібно збільшити кількість зелених зон для покращення якості повітря та забезпечення екологічної сталості. Проте генеральний план міста не враховує ці вимоги і передбачає забудову територій, які мають бути використані під зелені зони. Як наслідок, екологічні цілі стратегії не будуть досягнуті через відсутність узгодження між планувальними документами. Це прямо підриває основи сталого розвитку, оскільки не враховується довгострокова екологічна стійкість міста.

Інший приклад: місто *У* запланувало побудувати новий житловий район у відповідності до стратегії сталого розвитку. Проте громада не була залучена до процесу, і після завершення будівництва, виявилося, що житловий район не враховує ключових потреб мешканців, таких як транспортна інфраструктура або доступ до освітніх закладів.

Може виникнути і протилежна ситуація – попри активну участь мешканців – недостатня залученість до процесу фахівців з містобудування, так само призведе до ряду проблем, яких можна уникнути ще на стадії проєктування. В таких випадках стратегія не тільки не покращує якість життя, але й викликає нові проблеми, що підриває стійкість розвитку.

Державна стратегія регіонального розвитку на період 2021—2027, затвердженою Постановою Кабінету Міністрів України № 695 від 5 серпня 2020 р. [4] описує новий підхід до формування та реалізації державної регіональної політики в області просторового планування як: «…*обов'язкове врахування вимог містобудівної документації* (Генеральної схеми планування території України, схем планування території на регіональному рівні, генеральних планів населених пунктів) під час здійснення державних інвестиційних програм/заходів».

Однак, виникає низка суперечностей:

1) існуючі та нові містобудівні документи (Генеральні плани населених пунктів і детальні плани територій повинні узгоджуватися з новими комплексними планами просторового розвитку, проте велика кількість діючих планів не відповідає оновленим законодавчим вимогам);

2) законодавча невідповідність (Різні законодавчі акти, які регулюють просторове планування, мають суперечливі положення, що ускладнює їх інтеграцію та практичне застосування);

3) відсутність репрезентативних даних (Моніторинг та аналіз наявної містобудівної документації показує, що багато документів мають умовно-суб'єктивний характер і не є достатньо репрезентативними);

4) інфраструктурні виклики (війна по-різному впливає на інфраструктуру міст, викликаючи необхідність її перебудови з урахуванням нових соціальних та екологічних вимог, призводить до зміни демографічної структури, тощо).

Так, як Державна стратегія регіонального розвитку на період 2021-2027 років затверджує новий підхід до формування державної регіональної політики у сфері просторового планування, який вимагає врахування вимог містобудівної документації при здійсненні державних інвестиційних програм, потрібно детальніше розглянути діючі містобудівні та законодавчі документи

що мають відношення до територіального планування з метою координації різних аспектів формування розумних міст.

Аналіз останніх досліджень і публікацій

Дослідженнями проблематики сучасних викликів в умовах воєнних дій, організації просторового ладу і розвитку та післявоєнної відбудови міст України та її територій займається чимало науковців як в Україні, так і за кордоном. Дослідження таких суперечностей часто піднімають питання про необхідність гармонізації законодавчої бази, підвищення кваліфікації фахівців, інтеграції нових методик та технологій планування. Наприклад, містобудівний досвід алгоритми виконання робіт щодо складання містобудівної й землевпорядної документації для планування розвитку території в умовах реформування державного управління (А. Мерзляк і В. Боклаг); сутність і основні поняття територіального планування в умовах ринкових відносин в Україні (О. Дорош, А. Третяк); використання закордонного досвіду для ефективного розвитку територіальних громад в Україні (І. Костецька); упорядкування теоретичних положень бази знань для обґрунтування просторового розвитку та моделювання просторового майбутнього територіальних систем у нових адміністративно-територіальних умовах (М. Габрель); різні аспекти урбіциду як загрозу містам (М. Ковард); вивченням проблематики відбудови, безпеки, просторового ладу і просторового розвитку України та її територій (О. Матвійчук, К. Мезенцев); проблематику перешкод, щодо розв'язання актуальних завдань та технологічні вимоги до змісту містобудівної документації, генерального, стратегічного, містобудівного планування та проблеми планувального управління розселенням (М. Габрель, М. Дьомін, С. Дюжев); вплив соціальних процесів на системи розселення у післявоєнний період (Й. Голик, А. Плешкановська); класичною оцінкою ефективності стратегій розвитку міст (Е. Глейзер, Р. Флоріда, П. Холл, Дж. Сіті, Ян Ґейл). Також дослідження та оцінка ефективності стратегій міст є предметом інтересу для багатьох науковців і дослідників у галузі міського розвитку, міського планування, економіки, соціології та інших суміжних областей.

Цілі дослідження

До числа основних цілей дослідження входить: дослідження та аналіз проблем інтеграції концепції сталого розвитку в містобудівні документи та проекти просторового планування в Україні; визначення ключових викликів щодо впровадження принципів сталого розвитку на різних рівнях планування (від генеральних планів до детальних планів територій) та оцінка впливу розриву між містобудівними документами та стратегічними планами на досягнення цілей сталого розвитку, практичні пропозиції для поліпшення

узгодженості містобудівної документації з вимогами сталого розвитку, включаючи українські та зарубіжні приклади.

Мета і методи дослідження

Метою дослідження є виявити основні проблеми та бар'єри для інтеграції концепції сталого розвитку в проекти просторового планування України та запропонувати практичні рішення для подолання цих проблем. Дослідження також має на меті обґрунтувати необхідність узгодженості містобудівної документації з екологічними, соціальними та економічними цілями сталого розвитку.

Для досягнення мети було проведено аналіз літератури та нормативно-правової бази (досліджено чинні містобудівні документи, стратегічні плани та законодавчі акти, що стосуються просторового планування і сталого розвитку).

Також для порівняння закордонних прикладів інтеграції сталого розвитку з українськими реаліями, щоб виявити можливості адаптації найкращих практик застосовано метод порівняльного аналізу.

Для оцінки впливу різних факторів на планування територій, включаючи екологічні, соціальні та економічні аспекти сталого розвитку використано системний підхід.

Актуальність роботи

Актуальність статті полягає в тому, що на сучасному етапі просторове планування в Україні стикається зі значними викликами, пов'язаними із післявоєнною відбудовою та необхідністю забезпечення сталого розвитку міст і територій. Проблема полягає в тому, що принципи сталого розвитку часто не можуть бути реалізовані через містобудівну документацію, або залишаються лише на рівні декларацій. Це створює різні труднощі в містобудівному, економічному, екологічному і соціальному розвитку територій населених пунктів. З огляду на важливість сталого розвитку в сучасному містобудуванні, дослідження цієї теми є вкрай актуальним для України.

Новизна дослідження полягає в тому, що воно поєднує теоретичний аналіз концепції сталого розвитку із практичними прикладами впровадження цих принципів у містобудівні документи. Даний аналіз комплексно розглядає проблеми узгодженості між стратегіями сталого розвитку та містобудівними документами в контексті сучасних викликів для України.

Понятійний апарат

Зосередження на містобудівних аспектах дозволяє чітко структурувати процес стратегічного планування розвитку територій населених пунктів. Розглянутий понятійний апарат допоможе у визначенні основних концепцій та інструментів, необхідних для ефективного управління та розвитку сучасних міст.

Стратегічне планування – процес встановлення довгострокових цілей, напрямків і заходів для досягнення бажаного майбутнього стану розвитку міських територій

Концепція інтегрованого розвитку громади – це документ стратегічного планування, що визначає довгострокові, міждисциплінарні, просторові та соціально-економічні пріоритети розвитку громади, розробляється із залученням місцевих мешканців та інших заінтересованих сторін, є передумовою розроблення містобудівної документації на місцевому рівні на принципах сталого розвитку з метою підвищення якості життя, доступності та рівності можливостей, сприяння розвитку соціальних відносин громадян та ділової активності, оптимізації адміністративної діяльності, координується з державними і регіональними програмами розвитку [3].

Міські території – це складні соціально-просторові системи, що поєднують у собі різноманітні економічні, соціальні та культурні процеси, забезпечуючи умови для взаємодії та розвитку міського життя [11].

Містобудівне планування – це процес проектування та організації простору міських територій з метою створення функціонального, комфортного та естетично привабливого міського середовища, інструментами якого є Генеральні плани, детальні плани територій, зонування, нормативи забудови.

Територіальне планування – традиційний напрям економічної науки, що має на меті розподіл економічних ресурсів – матеріальних, трудових, фінансових, за адміністративно-територіальними одиницями для потреб управління [6].

Система просторового планування – це специфічна соціальна конструкція, яка характеризує встановлення і застосування в певних інституційних контекстах, в часі і просторі, визначених методів громадського порядку і співробітництва, спрямованих на управління колективними діями по використанню простору [9].

Генеральний план населеного пункту (далі - генеральний план) - одночасно містобудівна документація на місцевому рівні та землевпорядна документація, що визначає принципові вирішення розвитку, планування, забудови та іншого використання території населеного пункту (пункт 2 частини першої статті 1 Закону України "Про регулювання містобудівної діяльності". Генеральний план населеного пункту є одночасно видом містобудівної документації на місцевому рівні та документацією із землеустрою і призначений для обґрунтування довгострокової стратегії планування та забудови території населеного пункту (частина 1 статті 17 Закону) [5].

Генплан міста – це проектна розробка перспективного розвитку міста (на період 25 років), в якій обґрунтовані головні напрямки його впорядкування і

розвитку – природно-середовищного (ландшафтно-архітектурне зонування), соціально-демографічного, економічного, інфраструктурного, транспортно-логістичного, а також планувально-розселенського, функціонально-планувального, природоохоронно-екологічного, науково-технічного, соціокультурного та ін. [6].

За визначення надано Британським інститутом стандартів (BSI) [12] *розумні міста (Smart Cities)* – ефективна інтеграція фізичних, цифрових і людських систем в штучному середовищі заради сталого, благополучного і всебічного майбутнього для громадян. Тобто міста, що використовують інформаційно-комунікаційні технології (ІКТ) для підвищення ефективності міських сервісів, зменшення витрат та ресурсів, покращення якості життя мешканців. Це зокрема: інтернет речей (IoT), смарт-інфраструктура, цифрове управління, аналітика даних, інтегровані платформи.

Інфраструктура – основні засоби та системи, що обслуговують країну, місто чи іншу територію, включаючи послуги та засоби, необхідні для функціонування своєї економіки [13]. Тобто міська інфраструктура - це сукупність основних об'єктів і систем, що забезпечують функціонування міста. Вони в свою чергу зумовлюють функціонально-планувальну, соціально-планувальну та планувальну структуру міста

Зонування (зóнінг) — засіб контролю влади над використанням територій і спорудами, що знаходяться на цих територіях. Території поділені на зони, щодо яких визначені різні можливості використання [14]. Термін передбачає практику створення мап зонування, що регулюють використання, форму, дизайн та сумісність територій що розвиваються. Юридично, план зонування надає законну силу відповідним містобудівним розробкам, зокрема, в Україні – процес розподілу міських територій на зони з визначенням їх дозволеного використання (житлова, комерційна, промислова, рекреаційна тощо) з метою забезпечення раціонального використання територій, попередження конфліктів між різними типами забудови.

Містобудівна документація – сукупність документів, що визначають планувальні рішення, архітектурні та будівельні нормативи для забудови міських територій. До переліку документів входить генеральний план, детальні плани територій, плани зонування, плани детальної забудови. З 24 липня 2021року основним видом містобудівної документації на місцевому рівні законодавством визначено комплексний план просторового розвитку території територіальної громади (далі – комплексний план), який розробляється на всю територію територіальної громади [8].

Комплексний план просторового розвитку території територіальної громади — це стратегічний документ, який розробляється для всієї території

громади (окрім випадків, коли вона включає лише територію населеного пункту). Він забезпечує узгоджене прийняття рішень для комплексного розвитку населених пунктів громади та територій за їх межами, враховуючи сталий розвиток і баланс державних, громадських та приватних інтересів.

До складу комплексного плану включаються генеральні плани населених пунктів та інші планувальні документи, зокрема детальні плани територій і межі функціональних зон. Комплексний план є основою для подальшої розробки або уточнення генеральних і детальних планів та визначає правила забудови і ландшафтної організації. Він обов'язковий для виконання всіма суб'єктами містобудування і визначає перспективи використання територій громади на майбутнє.

Затвердження плану визначає статус існуючих генеральних планів та детальних планів, встановлює межі функціональних зон і враховує вимоги до їхнього розвитку [16].

При реалізації комплексного плану суб'єкти містобудування зобов'язані дотримуватися його положень. Комплексний план включає планувальні рішення щодо перспективного використання всієї території територіальної громади, а також:

- генеральний план населеного пункту – адміністративного центру територіальної громади;

- генеральні плани населених пунктів та детальні плани території у межах території територіальної громади, затверджені до прийняття комплексного плану, які відповідно до цієї статті визнані такими, що відповідають вимогам законодавства, узгоджуються з планувальними рішеннями комплексного плану і підлягають включенню до нього [16].

Детальний план території – містобудівна документація, що визначає планувальну організацію та розвиток території [16]. Це документ, що повинен уточнювати положення генерального плану населеного пункту та визначає розвиток певної частини території. З іншого боку, він також є нижчим за ієрархією містобудівним документом та повинен відповідати генеральному плану.

Інтегроване планування – підхід до планування, що передбачає координацію різних аспектів розвитку міських територій, включаючи економічні, соціальні, екологічні та просторові фактори з метою забезпечення збалансованого та стійкого розвитку міста, врахування інтересів усіх зацікавлених сторін

Висновки до першої частини

У нашій країні діє багато законів, що регулюють містобудівні процеси різних рівнів. Серед них закони «Про регулювання містобудівної

діяльності» [22] та «Про основи містобудування» [21] (у кожний вносилися зміни).У ході моніторингу розробки та оновлення містобудівної документації [8] було проведено аналіз наявних детальних планів територій за їх кількісними та якісними показниками. Проте, інформація щодо цього виду містобудівної документації є частково суб'єктивною та оцінною, тому не може вважатися репрезентативною, а лише відображає загальні тенденції.

Стратегії розвитку міста грають важливу роль у визначенні напрямку та шляху розвитку міста на майбутнє. Вони включають в себе набір довгострокових цілей, пріоритетів, а також конкретних дій для досягнення цих цілей. Розробка ефективних стратегій розвитку міста допомагає забезпечити збалансований та стійкий розвиток, враховуючи економічні, соціальні, екологічні та культурні аспекти. Вони пов'язані з управлінням проектами у тому сенсі, що вони надають рамки та орієнтири для реалізації конкретних проектів та ініціатив.

Крім того, стратегії розвитку міста часто включають в себе важливі аспекти, такі як розвиток інфраструктури, стале використання ресурсів, підвищення якості життя громадян, розвиток туризму та інші. Управління проектами допомагає вирішувати конкретні завдання і виконувати проекти, що входять до складу стратегій розвитку міста, забезпечуючи їх ефективне втілення та співпрацю з різними зацікавленими сторонами. Але механічне перенесення світового досвіду в просторове планування й містобудівне проектування є некоректним [19].

Важливим фактором, що лежить в основі успішної реалізації стратегії розвитку населеного пункту, є встановлення чіткої та обов'язкової законодавчої основи. Ця структура служить міцним фундаментом, що дозволяє безшовну інтеграцію між плануванням та управлінням, формулює точні планувальні стандарти та формулює послідовні політики використання земель. Об'єднання чіткої законодавчої структури з містобудівними нормативами надає авторитету та ефективності територіальному плануванню та забезпечує прогрес розвитку в напрямку його запланованого майбутнього, з добре спрямованим та сталоорієнтованим підходом.

Підсумовуючи вищезазначене, необхідно відзначити, що багато діючих генеральних і детальних планів не відповідають новим вимогам законодавства. Це призводить до того, що процес розробки і реалізації стратегій часто втрачає свою ефективність через неузгодженість між старими та новими документами. Основними причинами є: відсутність чіткого розмежування між різними видами документів; суперечності між законодавчими актами, які регулюють просторове планування; недостатня кількість представницьких даних та їхній

умовно-суб'єктивний характер; непрозорі алгоритми інтеграції старих документів у нові стратегії розвитку територій.

Така плутанина створює перешкоди для ефективного управління територіями і реалізації стратегій, що ускладнює інтеграцію концепцій сталого розвитку в урбаністичні проекти.

Це перша частина дослідження, в якій розглянуто основні проблеми інтеграції концепції сталого розвитку в проєкти просторового планування в Україні. У наступній частині буде проаналізовано можливі шляхи вирішення виявлених проблем, з урахуванням міжнародного досвіду та практичних рекомендацій для України

Продовження (закінчення) буде в наступному випуску збірника.

Список літератури

1. Коваленко А.О. Стратегічне планування сталого розвитку України / А.О. Коваленко. – К.: ПрофКнига, 2018. – 424 с. ISBN 978-966-97813-8-3.

2. Габрель М., Габрель М., & Форкуца Л. До питання формування бази знань просторового планування в Україні. Містобудування та територіальне планування. 2023. №84, с.6–27. DOI: https://doi.org/10.32347/2076-815x.2023.84.6-27.

3. Вяхірєв М.О. Проєктний підхід у сфері планування інтегрованого розвитку територіальних громад. Державне управління та менеджмент: Сучасні наукові дискусії. 2020. P. 96–112. DOI: https://doi.org/10.30525/978-9934-26-022-3-6.

4. Про затвердження Державної стратегії регіонального розвитку на 2021-2027 роки: Постанова Кабінету Міністрів України № 695 від 5 серпня 2020 року. Редакція від 13 серпня 2024 р. № 940 [Електронний ресурс]. – Режим доступу: https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/695-2020-%D0%BF#Text.

5. Baumgartner J. Critical perspectives of sustainable development research and practice / J. Baumgartner // Journal of Cleaner Production. – 2011. – Vol. 19. – P. 783– 786.

6. Методологічні засади географії: підручник / О.Г. Топчієв та ін. Одеса: Одеськ. нац. ун-т ім. І.І. Мечника, 2019. 352 с.

7. Закон України «Про Основні засади (стратегію) державної екологічної політики України на період до 2030 року» від 28 лютого 2019 року № 2697-VIII [Електронний ресурс]. – Режим доступу: https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/2818-17#Text.

8. Указ Президента України від 2 червня 2021 року № 225/2021 «Про рішення Ради національної безпеки і оборони України від 14 травня 2021 року

"Про Стратегію людського розвитку"» [Електронний ресурс]. – Режим доступу : https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/225/2021#n2.

9. Міністерство розвитку громад та територій України провело моніторинг розроблення та оновлення містобудівної документації [Електронний ресурс]. – Режим доступу: https://architecture.te.gov.ua/articlearticles/2022/01/17/ministerstvo-rozvitku-gromad-ta-teritorij-ukrayini/.

10. Територіально-просторове планування: базові засади теорії, методології, практики: монографія / А.М. Третяк, В.М. Третяк, Т.М. Прядка & Н.А. Третяк [за заг. ред. А.М. Третяка]. – Біла Церква: «ТОВ «Білоцерківдрук», 2021. 142 с.

11. Сергієнко Л.В., Захаров Д.М. & Новосьолов І.В. Розвиток урбанізованих територій в Україні та світі за період 1950–2035 років. Економіка, управління та адміністрування, 2023. №3(105). С.131–145. DOI: https://doi.org/10.26642/ema-2023-3(105)-131-145.

12. Edward W. Soja.(2000). Postmetropolis: Critical Studies of Cities and Regions. Wiley-Blackwell. Retrieved from: https://philpapers.org/rec/SOJPCS.

13. Матеріали XVI Всеукраїнської студентської науково- М34 технічної конференції «Сталий розвиток міст» (88-ї студентської науково-технічної конференції ХНУМГ ім. О.М. Бекетова): в 4-х ч. – Харків: ХНУМГ ім. О.М. Бекетова, 2023. – Ч. 3. 512с. [Електронний ресурс]. – Режим доступу: https://science.kname.edu.ua/images/dok/konfe-rentsii/stalyirozvytok2019/2023/Ch3-Economica_23.pdf.

14. O'Sullivan Arthur; Sheffrin Steven M.(2003). Economics: Principles in Action. Upper Saddle River. New Jersey 07458: Pearson Prentice Hall. 2003. 474 p.

15. Zoning. https://web.archive.org/web/20201023002141/https://thecanadianencyclopedia.ca/en/article/zoning.

16. National Spatial Development Concept 2030. Ministry of Regional Development. – Warsawa, 2013. – 268 p.

17. Закон України «Про регулювання містобудівної діяльності» від 17.02.2011р. – № 3038-VI (редакція 21.09.2024р.) [Електронний ресурс]. – Режим доступу: https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/3038-17#Text.

18. Gorodnichenko, Yu. & Sologoub, I. (2022). Rebuilding Ukraine: Principles and Policies. Paris Report 1. https://cepr.org/system/files/publication-files/178114-paris_report_1_rebuilding_ukraine_principles_and_policies.pdf.

19. Голд Gold J.R. An Introduction to Behavioural Geography. University of Michigan: Oxford University Press, 1980. 290 p.

20. Globalization and Urban Development / [Ed.: Harry W. Richardson, Chang-Hee C. Bae]. – London: Springer, Limited, 2005. – 322 p.

Candidate of Technical Sciences, Associate Professor **Nadia Kis,**
Senior Lecturer **Hanna Tiutiunnykova,** Senior Lecturer **Mykhailo Nesukh,**
Candidate of Technical Sciences, Associate Professor **Subota Andriy,**
Uzhhorod National University

INTEGRATION OF THE SUSTAINABLE DEVELOPMENT CONCEPT INTO SPATIAL PLANNING PROJECTS IN UKRAINE

This is the first part of a study focusing on the challenges of integrating the concept of sustainable development into spatial planning projects in Ukraine. It examines the critical disconnect between urban planning documentation and legal frameworks, which undermines the effective implementation of sustainable development strategies. The article highlights how Ukraine's urban planning tradition must adapt to global standards, especially in the context of post-war recovery and territorial reorganization.

Key issues explored include the misalignment between urban planning documents and strategic development plans, insufficient public engagement in decision-making, and the lack of coordination across various urban management sectors. Specific examples demonstrate how these challenges hinder the realization of sustainability goals, such as ecological resilience and socio-economic balance. Additionally, the paper emphasizes the need to reconcile outdated urban planning practices with modern approaches to ensure sustainable growth.

This part of the research sets the groundwork for understanding the systemic problems that obstruct the integration of sustainable development principles. The next part of the study will focus on identifying potential solutions, drawing on international best practices, and providing practical recommendations for aligning urban planning with sustainable development goals. Together, these insights aim to contribute to the creation of resilient and sustainable urban environments in Ukraine.

Keywords: sustainable development; spatial planning; urban planning documentation; public participation; Ukraine; development strategies; coordination; integration.

REFERENCES

1. Kovalenko, A.O. (2018). Stratehichne planuvannya staloho rozvytku Ukrayiny [Strategic planning of sustainable development of Ukraine] – Kyiv: ProfKnyga. {in Ukrainian}.

2. Gabrel, M., Gabrel, M., & Forkutsa, L. (2023). Do pytannya formuvannya bazy znan′ prostorovoho planuvannya v Ukrayini [To the issue of

forming a knowledge base of spatial planning in Ukraine]. Urban planning and territorial planning, 84, 6–27. Retrieved from https://doi.org/10.32347/2076-815x.2023.84.6-27. {in Ukrainian}.

3. Vyakhiryev M.O. (2020). Proyektnyy pidkhid u sferi planuvannya intehrovanoho rozvytku terytorial′nykh hromad [Project approach in the field of planning integrated development of territorial communities]. Derzhavne upravlinnya ta menedzhment: Suchasni naukovi dyskusiyi, 96–112. https://doi.org/10.30525/978-9934-26-022-3-6. {in Ukrainian}.

4. Pro zatverdzhennya Derzhavnoyi stratehiyi rehional′noho rozvytku na 2021-2027 roky: Postanova Kabinetu Ministriv Ukrayiny № 695 vid 5 serpnya 2020 roku [On the approval of the State Regional Development Strategy for 2021-2027: Resolution of the Cabinet of Ministers of Ukraine No. 695 of August 5, 2020]. Redaktsiya vid 13 serpnya 2024 r. № 940, https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/695-2020-%D0%BF#Text. {in Ukrainian}.

5. Baumgartner J. (2011). Critical perspectives of sustainable development research and practice. Journal of Cleaner Production, 19, 783– 786. {in English}.

6. Topchiev, O.H. et al (2019). Metodolohichni zasady heohrafiyi: pidruchnyk [Methodological principles of geography: textbook]. Odesa: Odes′k. nats. un-t im. I.I. Mechnyka. {in Ukrainian}.

7. Zakon Ukrayiny «Pro Osnovni zasady (stratehiyu) derzhavnoyi ekolohichnoyi polityky Ukrayiny na period do 2030 roku» vid 28 lyutoho 2019 roku № 2697-VIII [Law of Ukraine "On the Basic Principles (Strategy) of the State Environmental Policy of Ukraine for the Period Until 2030" dated February 28, 2019 No. 2697-VIII] https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/2818-17#Text. {in Ukrainian}.

8. Ukaz Prezydenta Ukrayiny vid 2 chervnya 2021 roku № 225/2021 «Pro rishennya Rady natsional′noyi bezpeky i oborony Ukrayiny vid 14 travnya 2021 roku "Pro Stratehiyu lyuds′koho rozvytku"» [Decree of the President of Ukraine dated June 2, 2021 No. 225/2021 "On the decision of the National Security and Defense Council of Ukraine dated May 14, 2021 "On the Strategy of Human Development"] https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/225/2021#n2. {in Ukrainian}.

9. Ministerstvo rozvytku hromad ta terytoriy Ukrayiny provelo monitorynh rozroblennya ta onovlennya mistobudivnoyi dokumentatsiyi [The Ministry of Development of Communities and Territories of Ukraine monitored the development and updating of urban planning documentation] [in:]. Retrieved from: https://architecture.te.gov.ua/articlearticles/2022/01/17/ministerstvo-rozvitku-gromad-ta-teritorij-ukrayini/. {in Ukrainian}.

10. Tretyak, A.M., Tretyak, V.M., Pryadka, T.M. & Tretyak, N.A.(2021). Terytorial′no-prostorove planuvannya: bazovi zasady teoriyi, metodolohiyi, praktyky: monohrafiya [Territorial and spatial planning: basic principles of theory,

methodology, practice: monograph] – Bila Tserkva: «TOV «Bilotserkivdruk». {in Ukrainian}.

11. Sergienko L.V., Zakharov D.M. & Novosyolov I.IN. (2023). Rozvytok urbanizovanykh terytoriy v Ukrayini ta sviti za period 1950–2035 rokiv [Development of urban areas in Ukraine and the world for the period 1950–2035]. Ekonomika, upravlinnya ta administruvannya, 105, 131–145, https://doi.org/10.26642/ema-2023-3(105)-131-145. {in Ukrainian}.

12. Edward W. Soja.(2000). Postmetropolis: Critical Studies of Cities and Regions. Wiley-Blackwell. Retrieved from: https://philpapers.org/rec/SOJPCS. {in English}.

13. Materialy KHVI Vseukrayins′koyi student·s′koyi naukovo- M34 tekhnichnoyi konferentsiyi «Stalyy rozvytok mist» (88-yi student·s′koyi naukovo-tekhnichnoyi konferentsiyi KHNUMH im. O.M. Beketova): v 4-kh ch. [Development of Cities" (88th Student Scientific and Technical Conference of O.M. Beketov XNUMX University): – Kharkiv: KHNUMH im. O.M. Beketova, https://science.kname.edu.ua/images/dok/konferentsii/stalyirozvytok2019/2023/Ch3-Economica_23.pdf. {in Ukrainian}.

14. O'Sullivan Arthur; Sheffrin Steven M.(2003). Economics: Principles in Action. Upper Saddle River. New Jersey 07458: Pearson Prentice Hall {in English}.

15. Zoning. https://web.archive.org/web/20201023002141/https://thecanadianencyclopedia.ca/en/article/zoning. {in English}.

16. National Spatial Development Concept 2030. Ministry of Regional Development. – Warsawa, 2013. {in English}.

17. Zakon Ukrayiny «Pro rehulyuvannya mistobudivnoyi diyal′nosti» vid 17.02.2011r. – № 3038-VI [Law of Ukraine "On Regulation of Urban Planning" dated February 17, 2011. – No. 3038-VI]. Redaktsiya 21.09.2024 r. [in:] https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/3038-17#Text. {in Ukrainian}.

18. Gorodnichenko, Yu. & Sologoub, I. (2022). Rebuilding Ukraine: Principles and Policies. Paris Report 1. https://cepr.org/system/files/publication-files/178114-paris_report_1_rebuilding_ukraine_principles_and_policies.pdf. {in English}.

19. Gold J.R.(1980). An Introduction to Behavioural Geography. University of Michigan: Oxford University Press. {in English}.

20. Harry W. Richardson, Chang-Hee C. Bae (2005). Globalization and Urban Development. – London: Springer, Limited{in English}.

DOI: 10.32347/2786-7269.2025.11.397-404
УДК 621.6

к.т.н., доцент **Кравчук О.А.**,
kravchuk.oa2@knuba.edu.ua, ORCID: 0000-0001-6578-8896,
к.е.н., доцент **Лаврухіна К.О.**,
lavrukhina.ko@knuba.edu.ua, ORCID: 0000-0003-2417-7153,
Кострич Б.О.,
kostrych_bo@knuba.edu.ua, ORCID: 0009-0005-4515-6943,
Київський національний університет будівництва і архітектури

ПЕРСПЕКТИВИ ПІДВИЩЕННЯ ЕНЕРГОЕФЕКТИВНОСТІ НАСОСНИХ СТАНЦІЙ ВОДОПОСТАЧАННЯ ТА ВОДОВІДВЕДЕННЯ В УМОВАХ ЕКОНОМІЧНИХ ВИКЛИКІВ І ВОЄННИХ ДІЙ В УКРАЇНІ

Присвячено дослідженню сучасних підходів та перспектив підвищення енергоефективності насосних станцій систем водопостачання та водовідведення в умовах економічних викликів та воєнних дій в Україні. Вона включає аналіз поточного технічного стану обладнання, оцінку енергоспоживання, огляд найбільш ефективних технологій та методів модернізації, а також визначення основних проблем, викликів та перспектив щодо їх впровадження з урахуванням обмежених ресурсів та необхідності підвищення стійкості до кризових ситуацій. Підкреслено важливість системного та комплексного підходу до модернізації насосних станцій як інструменту забезпечення надійності критичної інфраструктури, зниження енергозатрат та здатності протистояти зовнішнім викликам.

Ключові слова: насос; насосна станція; водопостачання; водовідведення; енергоефективність.

Постановка проблеми. Системи водопостачання та водовідведення відіграють критично важливу роль у забезпеченні життєдіяльності населення та функціонуванні промисловості. Проте в умовах сучасних економічних викликів та воєнних дій в Україні їхня стабільна робота опинилась під загрозою. Значна частина систем водопостачання та водовідведення має високий рівень фізичного зносу, морально застаріле обладнання та характеризується неефективним енергоспоживанням.

Воєнні дії також завдали значних пошкоджень інфраструктурі, що спричинило необхідність оперативного відновлення систем водопостачання за умов обмежених фінансових і технічних ресурсів [1]. Додатковий тиск створює енергетична криза, яка супроводжується зростанням цін на енергоносії,

дефіцитом електроенергії та перебоями в її постачанні, оскільки енергетична складова витрат насосних станцій складає до 60% від загальних операційних витрат підприємств водопостачання [2]. Це посилює навантаження на бюджети підприємств водоканалів, які часто стикаються з фінансовими труднощами, обмеженими можливостями модернізації та зростаючим попитом на послуги.

Крім того, міжнародні зобов'язання України щодо скорочення викидів парникових газів та адаптація до стандартів ЄС у сфері екології стимулюють модернізацію водопровідних мереж. Інноваційні рішення можуть одночасно сприяти економії ресурсів, покращенню екологічної ситуації та підвищенню стійкості системи в умовах кризи [3].

Таким чином, питання підвищення енергоефективності насосних станцій систем водопостачання та водовідведення є актуальним як з економічної, так і з соціальної точки зору. Воно вимагає комплексного підходу, який має враховувати потреби відновлення інфраструктури, впровадження інноваційних технологій, забезпечення енергетичної стійкості та мінімізації витрат.

Аналіз сучасного стану насосних станцій в Україні. На сьогоднішній день більшість насосних станцій експлуатується у складних умовах. Більш ніж половина насосів, що використовуються, працює понад 20 років і перевищила термін своєї експлуатації. Це призводить до частих поломок, значних витрат на ремонт та низького коефіцієнта корисної дії (ККД). Застаріле обладнання не відповідає стандартам енергоефективності, що збільшує експлуатаційні витрати. Багато насосних станцій все ще працюють без сучасних систем моніторингу та автоматизації, що ускладнює оперативне реагування на зміни в роботі [4].

Через обстріли та інші воєнні дії значна частина насосних станцій зазнала руйнувань та пошкоджень. Особливо постраждали об'єкти в Донецькій, Луганській, Харківській, Херсонській, Сумській областях, що унеможливлює нормальне водопостачання та водовідведення, ускладнює доступ до води для побутових потреб, промисловості та сільського господарства [5, 6].

Насосні станції є найбільшими споживачами електроенергії у системах водопостачання та водовідведення. Через застарілі технології регулювання, енерговитрати є значно вищими, ніж могли б бути при застосуванні сучасного обладнання [7]. Крім цього, пошкодження енергетичної інфраструктури, спричинені воєнними діями, призводять до перебоїв у постачанні електроенергії, що також негативно впливає на стабільність роботи насосних станцій.

Метою представленої роботи є дослідження сучасних підходів до підвищення енергоефективності насосних станцій систем водопостачання та водовідведення в Україні в умовах економічних викликів та воєнних дій, що

включає аналіз технічного стану обладнання, оцінку енергоспоживання, визначення найбільш ефективних технологій та методів модернізації, а також розробку рекомендацій щодо їх впровадження з урахуванням обмежених ресурсів та підвищення стійкості до кризових ситуацій.

Сучасні рішення для підвищення енергоефективності насосних станцій. На сьогоднішній день технічний прогрес пропонує низку інноваційних рішень, які можуть значно зменшити енергоспоживання насосних станцій [8, 9].

Модернізація обладнання: встановлення сучасних насосів з високим коефіцієнтом корисної дії (ККД) та новітніх електродвигунів класу енергоефективності IE3 або IE4 відповідно до Регламенту ЄС 2019/1781.

Використання частотних перетворювачів: частотні перетворювачі дозволяють регулювати швидкість обертання двигунів, забезпечуючи оптимальний режим роботи насосів відповідно до реального споживання води. Це не лише знижує витрати енергії, але й зменшує зношення обладнання, подовжуючи термін його експлуатації .

Автоматизація та моніторинг: впровадження системи моніторингу та автоматизації для контролю параметрів роботи насосних станцій у режимі реального часу; забезпечення можливості управління та діагностики насосних станцій на відстані для підвищення безпеки персоналу в умовах бойових дій; встановлення датчиків для моніторингу витрат, тиску та споживання енергії.

Оптимізація гідравлічних систем: зниження гідравлічних втрат в системах завдяки використанню трубопроводів з гладкими внутрішніми стінками та оптимізації їх діаметра; перепланування мереж трубопроводів для мінімізації споживання енергії за рахунок скорочення відстані перекачування; використання обладнання для підтримки оптимального тиску в системах.

Використання альтернативних джерел енергії: інтеграція відновлюваних джерел енергії (сонячні панелі, вітряки**)** для живлення насосних станцій у регіонах з відповідним кліматом; встановлення енергетичних систем накопичення (акумуляторів) або генераторів для забезпечення безперебійної роботи в умовах перебоїв з енергопостачанням; комбінування електричної мережі та локальних джерел енергії для підвищення автономності (гібридні системи живлення).

Фінансові та організаційні рішення: впровадження державних програм фінансування для модернізації критичної інфраструктури; залучення інвестицій від приватних компаній для реалізації проєктів з енергоефективності; використання грантів та кредитів від міжнародних організацій на підтримку комунальних підприємств.

Освітні та наукові ініціативи: організація навчання для технічного персоналу з питань енергоефективності; підтримка наукових досліджень щодо інновацій у сфері водопостачання та водовідведення.

Застосування перелічених технічних рішень дозволить значно зменшити енергоспоживання насосних станцій, скоротити витрати на експлуатацію, підвищити надійність і забезпечити стабільність роботи навіть в умовах кризи. Це є стратегічно важливим для підтримки водопостачання та водовідведення в умовах воєнних дій і економічних викликів.

Перешкоди та виклики впровадження енергоефективних технологій.

Однією з головних перешкод для модернізації насосних станцій є значна вартість енергоефективного обладнання. Сучасні насоси зі змінною частотою обертів, системи автоматизації та моніторингу, а також відновлювані джерела енергії потребують значних фінансових вкладень. Для багатьох комунальних підприємств такі витрати є непосильними, особливо в умовах економічної кризи та підвищення цін на енергоресурси.

Економічна нестабільність, спричинена війною, значно обмежує можливості фінансування проєктів із підвищення енергоефективності. Багато місцевих бюджетів спрямовані на відновлення критичної інфраструктури, ліквідацію наслідків бойових дій та забезпечення базових потреб населення. До того ж, міжнародні інвестори та донори часто обмежують фінансування проєктів у зонах активних бойових дій через високі ризики. Як наслідок, впровадження енергоефективних технологій відкладається на невизначений термін.

Успішне впровадження енергоефективних рішень вимагає наявності кваліфікованих кадрів, здатних обслуговувати сучасне обладнання та працювати із системами автоматизації. Однак багато комунальних підприємств стикаються з браком фахівців, які мають достатній досвід і знання у сфері енергоефективності.

Додатковою проблемою є трудова міграція: через війну та економічну кризу частина спеціалістів покинула свій регіон або країну, що погіршило ситуацію з кадровим забезпеченням.

Перспективи та можливості впровадження енергоефективних технологій. Незважаючи на обмеженість фінансових ресурсів, інвестиції в енергоефективність насосних станцій є економічно доцільними у середньо- та довгостроковій перспективі. Встановлення сучасного обладнання з високим ККД, частотних перетворювачів та систем автоматизації дозволяє зменшити енергоспоживання на 20-30%, залежно від стану існуючої інфраструктури [8]. Економічний ефект таких інвестицій може бути виражений через скорочення експлуатаційних витрат, зниження залежності від зростання тарифів та

підвищення надійності роботи систем. Наприклад, модернізація одного середнього насосного агрегату може окупитися протягом 3-5 років за рахунок економії електроенергії.

Крім того, залучення коштів міжнародних донорів та державних програм з енергоефективності, які активно підтримуються в умовах війни, відкриває додаткові можливості для впровадження інноваційних рішень. Грантове фінансування, пільгові кредити та субсидії можуть суттєво знизити фінансовий бар'єр для реалізації таких проєктів. Важливим аспектом є те, що багато грантових програм передбачають також технічну допомогу в реалізації проектів, що дозволяє мінімізувати ризики та збільшити ефективність витрат.

Інвестування в енергоефективність також сприяє підвищенню екологічної стійкості підприємств, що відповідає сучасним тенденціям сталого розвитку. Завдяки зменшенню обсягів споживаної енергії скорочуються викиди парникових газів, що є важливим чинником з огляду на зобов'язання України у сфері кліматичних змін [3].

Впровадження цифрових технологій та кластерних ініціатив відіграє важливу роль у підвищенні енергоефективності насосних станцій водопостачання та водовідведення, зокрема в умовах нестабільності та воєнного часу. Використання цифрових платформ для моніторингу, оптимізації і прогнозування енергоспоживання, а також створення кластерів для обміну технологіями, знаннями та ресурсами, координації дій у кризових ситуаціях, дозволяє знизити ризики, пов'язані з енергетичними проблемами, і підвищити ефективність роботи насосних станцій [10, 11].

Важливим аспектом перспектив розвитку є включення енергоефективних заходів у стратегії післявоєнного відновлення України. Враховуючи масштаб руйнувань, післявоєнний період відкриває нові можливості для комплексної модернізації інфраструктури. Впровадження енергоефективних технологій стане не лише економічно вигідним, але й важливим кроком у забезпеченні сталого розвитку [12].

Висновок.

Модернізація насосних станцій є критично важливою для забезпечення стабільності водопостачання в Україні, особливо в умовах воєнних дій та економічної нестабільності. Впровадження енергоефективних технологій дозволить знизити витрати на електроенергію, підвищити надійність системи та зменшити залежність від зовнішніх постачальників енергоресурсів. Не зважаючи на такі виклики, як продовження воєнних дій, висока вартість модернізації, брак фінансування та кваліфікованих кадрів, міжнародна підтримка, державні програми та публічно-приватні партнерства створюють можливості для залучення інвестицій і впровадження інновацій. Створення

сприятливих умов для інвестування в енергоефективність має стати важливою складовою стратегії економічного відновлення та сталого розвитку України.

Література

1. Кравченко О., Хоружий В., Каніболоцький В. Особливості експлуатації систем питного водопостачання в умовах воєнного часу. *Проблеми водопостачання, водовідведення та гідравліки*. 2022. Вип. 38. С. 18-37. https://doi.org/10.32347/2524-0021.2022.38.18-37.

2. Чорній В. Вплив війни на енергетичну систему України. *Вісник Хмельницького національного університету. Серія: Економічні науки*. 2022. Том 304, № 2 (2). С. 196-202. https://doi.org/10.31891/2307-5740-2022-304-2(2)-31.

3. Васильківський Д., Сисюк В. Європейські механізми підвищення енергоефективності економіки та перспективи їх впровадження в Україні. *Економіка та суспільство*. 2024. Вип. 66. https://doi.org/10.32782/2524-0072/2024-66-44.

4. Основні підсумки узагальнення досвіду експлуатації систем централізованого водопостачання/водовідведення під час воєнних дій. Заходи з відновлення і подальшого сталого розвитку підприємств ВКГ. *Виробничо-практичний журнал «Водопостачання та водовідведення» (Спецвипуск)* / гол. ред. О.П. Мудрий. 2022. Вип. 6. 68 с.

5. Кравчук О., Андріященко О., Левітін В., Єремченко Л., Лаврухіна К. Рекомендації щодо особливостей роботи насосних станцій водопостачання та водовідведення в період воєнних дій. *Містобудування та територіальне планування*. 2024. Вип. 85. С. 268-276. https://doi.org/10.32347/2076-815x.2024.85.268-276.

6. Кравчук О., Возний О. Основні виклики та заходи для забезпечення стабільної роботи насосних станцій систем водопостачання та водовідведення під час воєнних дій. *Міжнар. наук.-практ. конф. молодих вчених «Build-Master-Class-2024»*, Київ, 05.11-07.11.2024. Київ: КНУБА, 2024. С. 235-236.

7. Abdelsalam A.A., Gabbar H. A. Energy saving and management of water pumping networks. *Heliyon*. 2021. Vol. 7, No 8. e07820. https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2021.e07820.

8. Gan X., Pei J., Pavesi G., Yuan S., Wang W. Application of intelligent methods in energy efficiency enhancement of pump system: A review. *Energy Reports*. 2022. Vol. 8, 11592–11606. https://doi.org/10.1016/j.egyr.2022.09.016.

9. Кравчук О., Кострич Б. Сучасні підходи та методи підвищення енергоефективності насосних станцій систем водопостачання та водовідведення.
Міжнар. наук.-практ. конф. молодих вчених «Build-Master-Class-2024», Київ, 05.11-07.11.2024. Київ: КНУБА, 2024. С. 237-238.

10. Лаврухіна К., Кравчук О. Інноваційні аспекти кластерних ініціатив в умовах цифровізації економіки України. *Проблеми і перспективи економіки та управління*. 2024. Вип. 2 (38). С. 21-33. https://doi.org/10.25140/2411-5215-2024-2(38)-21-33.

11. Лаврухіна К. Кластери в промислових екосистемах – нові інноваційні тренди розвитку повоєнної України. *Екологічна безпека та природокористування*. 2023. Т. 48, № 4. С. 62-73. https://doi.org/10.32347/2411-4049.2023.4.62-73.

12. Мініна О., Коваль В. Ключові аспекти повоєнного відновлення України на засадах сталого розвитку. *Проблеми і перспективи економіки та управління*. 2024. Вип. 2 (38). С. 9-20. https://doi.org/10.25140/2411-5215-2024-2(38)-9-20.

Ph.D., Associate Professor **Kravchuk Oleksandr**,
Ph.D., Associate Professor **Lavrukhina Kateryna, Kostrych Bohdan,**
Kyiv National University of Construction and Architecture

PROSPECTS FOR IMPROVING ENERGY EFFICIENCY OF WATER SUPPLY AND WASTEWATER PUMPING STATIONS IN THE CONTEXT OF ECONOMIC CHALLENGES AND MILITARY ACTIONS IN UKRAINE

This paper is dedicated to the analysis of the prospects for improving the energy efficiency of water supply and wastewater pumping stations in Ukraine under the conditions of economic challenges and military actions. An assessment of the current state of pumping stations in Ukraine is presented, highlighting their technical obsolescence, high energy consumption, and vulnerability in crisis situations. The study explores innovative technologies, including the use of modern pumps, frequency converters, automation systems, hydraulic system optimization, and the integration of renewable energy sources, all of which contribute to the optimization of pump operations. Particular attention is given to the obstacles and challenges to implementing energy-efficient technologies, such as a lack of funding, infrastructure damage, and insufficient technical qualifications of personnel. The potential for integrating modern technologies, digitalization, renewable energy sources, state programs, and international cooperation for attracting investment is outlined. The paper emphasizes the importance of a systemic approach to the modernization of pumping stations as a tool for ensuring the reliability of critical infrastructure, reducing energy costs, and enhancing resilience to external challenges.

Keywords: pump; pumping station; water supply; water sewerage; energy efficiency.

REFERENCES

1. Kravchenko, O., Khoruzhy, V., & Kanibolotsky, V. (2022). Peculiarities of operation of drinking water supply systems in wartime. *Problems of Water Supply, Sewerage and Hydraulic*, *38*, 18-37. https://doi.org/10.32347/2524-0021.2022.38.18-37. {in Ukrainian}

2. Chornii, V. (2022). Impact of the war on the energy system of ukraine. *Herald of Khmelnytskyi National University. Economic Sciences*, *304(2(2)*, 196-202. https://doi.org/10.31891/2307-5740-2022-304-2(2)-31. {in Ukrainian}

3. Vasylkivskyi, D., & Sysyuk, V. (2024). European mechanisms for increasing the energy efficiency of the economy and prospects for their implementation in Ukraine. *Economy and Society*, (66). {in Ukrainian} https://doi.org/10.32782/2524-0072/2024-66-44. {in Ukrainian}

4. Osnovni pidsumky uzahalnennia dosvidu ekspluatatsii system tsentralizovanoho vodopostachannia/vodovidvedennia pid chas voiennykh dii. Zakhody z vidnovlennia i podalshoho staloho rozvytku pidpryiemstv VKH. (2022). *Industrial and practical magazine "Water supply and drainage"*, *6*, 68. {in Ukrainian}

5. Kravchuk, O., Andriiashchenko, O., Levitin, V., Yeremchenko, L., & Lavrukhina, K. (2024). Recommendations regarding the operation features of water supply and sewerage pumping stations during military actions. *Urban Development and Spatial Planning*, (85), 268-276. https://doi.org/10.32347/2076-815x.2024.85.268-276. {in Ukrainian}

6. Kravchuk, O., Voznyi, O. (2024). Main challenges and measures to ensure stable operation of pumping stations of water supply and sewerage systems during military actions. *International Scientific and Practical Conference of Young Scientists «BUILD-MASTER-CLASS-2024».* Kyiv, KNUCA. 235-236. {in Ukrainian}

7. Abdelsalam, A. A., & Gabbar, H. A. (2021). Energy saving and management of water pumping networks. *Heliyon*, *7*(8), e07820. https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2021.e07820. {in English}

8. Gan, X., Pei, J., Pavesi, G., Yuan, S., & Wang, W. (2022). Application of intelligent methods in energy efficiency enhancement of pump system: A review. *Energy Rep.*, *8*, 11592-11606. https://doi.org/10.1016/j.egyr.2022.09.016. {in English}

9. Kravchuk, O., Kostrych, B. (2024). Modern approaches and methods for improving energy efficiency of pumping stations in water supply and sewerage systems. *International Scientific and Practical Conference of Young Scientists «BUILD-MASTER-CLASS-2024».* Kyiv, KNUCA. 237-238. {in Ukrainian}

10. Lavrukhina, K., & Kravchuk, O. (2024). Innovative aspects of cluster initiatives in the context of digitalization of Ukraine's economy. *Problems and Prospects of Economics and Management*, *2* (38), 21-33. https://doi.org/10.25140/2411-5215-2024-2(38)-21-33. {in Ukrainian}

11. Lavrukhina, K.O. (2023). Clusters in industrial ecosystems – new innovative trends in the development of post-war Ukraine. *Environmental Safety and Natural Resources*, *48*(4), 62-73. https://doi.org/10.32347/2411-4049.2023.4.62-73. {in Ukrainian}

12. Minina, O., & Koval, V. (2024). Key aspects of the post-war reconstruction of Ukraine based on sustainable development. *Problems and Prospects of Economics and Management*, *2* (38), 9-20. https://doi.org/10.25140/2411-5215-2024-2(38)-9-20. {in Ukrainian}

DOI: 10.32347/2786-7269.2025.11.405-419
УДК 624.04

д.т.н., професор **Крутій Ю.С.,**
yurii.krutii@gmail.com, ORCID: 0000-0001-7105-3087,
д.т.н., професор **Сур'янінов М.Г.,**
sng@odaba.edu.ua, ORCID: 0000-0003-2592-5221,
к.т.н., доцент **Карнаухова Г.С.,**
karnauhovaanna@ukr.net, ORCID: 0000-0002-3542-4300,
к.т.н., доцент **Перпері А.О.,**
a.perperi@odaba.edu.ua, ORCID: 0000-0001-7112-6864,
Клименко О.М., alex.klim760229@gmail.com, ORCID: 0000-0002-7445-6057,
Одеська державна академія будівництва та архітектури

АНАЛІТИЧНИЙ РОЗРАХУНОК КІЛЬЦЕВИХ ПЛАСТИН, ЩО СПИРАЮТЬСЯ НА ПРУЖНУ ОСНОВУ З ЕКСПОНЕНЦІАЛЬНОЮ НЕОДНОРІДНІСТЮ

Розглядається задача про осесиметричний згин кільцевої пластини, що знаходиться під впливом сталого рівномірно розподіленого поперечного навантаження та опирається на неоднорідну пружну основу Вінклера. У цій моделі пружна основа, на яку опирається конструкція, представляється у вигляді набору вертикальних, близько розташованих, не пов'язаних між собою пружин. Таку ситуацію загалом можна описати єдиним параметром, який називають модулем пружності основи чи коефіцієнтом постелі. У найпростішому випадку, коли пружна основа вважається однорідною, коефіцієнт постелі є сталим, що значно спрощує розв'язання відповідних диференціальних рівнянь. Цим можна пояснити широко вживане припущення про однорідність основи. Однак таке припущення далеке від реальності і для більш якісних досліджень необхідно враховувати неоднорідність основи. В такому разі коефіцієнт постелі буде змінною величиною.

В роботі неоднорідність пружної основи задається експоненціальною функцією. В аналітичному вигляді знайдено фундаментальні функції та частинний розв'язок відповідного диференціального рівняння. Дані функції є безрозмірними та представляються абсолютно і рівномірно збіжними степеневими рядами. В свою чергу, через вказані функції виражаються формули для параметрів напружено-деформованого стану пластини. Фактично розрахунок пластини зводиться до процедури чисельної реалізації явних аналітичних формул. Продемонстровано практичне застосування отриманих розв'язків на прикладі бетонної плити з обома закріпленими контурами.

Ключові слова: кільцева пластина; неоднорідна пружна основа; гіпотеза Вінклера; змінний коефіцієнт постелі; аналітичний розрахунок.

Вступ. Конструкція, що являє собою кільцеву пластину на суцільній пружній основі, часто застосовується в інженерній практиці, в тому числі, в промисловому та цивільному будівництві, в залізничній галузі, гідротехніці, кораблебудуванні, аерокосмічній техніці та інших. Зокрема, у будівництві широко застосовуються інженерні споруди, яким притаманна в плані кругова форма. До них належать телевізійні вежі, димові та вентиляційні труби, опорні башти вітрових електростанцій, вежі радіорелейних ліній та інші. Фундаменти таких споруд часто являють собою пластини кільцевої форми.

Серед великої кількості моделей пружної основи, широкого поширення набула так звана модель Вінклера. У цій моделі пружна основа, на яку опирається конструкція, представляється у вигляді набору вертикальних, близько розташованих, не пов'язаних між собою пружин. Таку ситуацію загалом можна описати єдиним параметром, який називають модулем пружності основи чи коефіцієнтом постелі. У найпростішому випадку, коли пружна основа вважається однорідною, коефіцієнт постелі є сталим, що значно спрощує розв'язання відповідних диференціальних рівнянь. Цим можна пояснити широко вживане припущення про однорідність основи. Однак таке припущення далеке від реальності і для більш якісних досліджень необхідно враховувати неоднорідність основи [1]. Зрозуміло, що в такому разі коефіцієнт постелі буде змінною величиною. Саме таким випадкам присвячені публікації авторів [2-5]. Дана робота є продовженням досліджень авторів, присвячених осесиметричному згину кільцевих пластин на неоднорідній пружній основі.

Аналіз попередніх досліджень. Детальний огляд робіт, присвячених дослідженню згину круглих та кільцевих пластин на змінній пружній основі, надано в [1]. Тут після ретельного аналізу констатується, що пошук аналітичних розв'язків є актуальним.

На доповнення до публікацій [6-11], результати яких раніше були проаналізовані авторами в [2, 5], також заслуговують бути відміченими роботи [12-17]. У публікації [12] досліджуються прогини та вільні коливання функціонально-градієнтних кругових і кільцевих секторних пластин, що спираються на пружну основу Пастернака та знаходяться під впливом рівномірного навантаження. Для отримання критичних навантажень прогину та основних частот для різних граничних умов використовувався метод диференціальної квадратури. У статті [13] розглядається термічний згин круглої пластини з поперечним градієнтним розподілом матеріалу, що розміщена на частково пружній основі. Властивості пластини змінюються по

товщині відповідно до степеневої функції. Автори застосовують класичну теорію пластин, а рівняння стійкості записані за критерієм рівноваги після попереднього аналізу згину. У роботі [14] досліджено згинальні властивості радіально функціонально-градієнтних плит (як суцільних, так і кільцевих), які розташовані на двопараметричній пружній основі та знаходяться під впливом поперечного навантаження. Матеріальні характеристики плит змінюються у радіальному напрямку. Аналіз проводився для різних варіантів граничних умов, зокрема для затиснутих і шарнірно-опертих країв. Для чисельного розв'язання рівнянь застосовували метод динамічної релаксації у комбінації з методом кінцевих різниць. Автори [15] досліджують асиметричну поведінку згину кільцевих функціонально-градієнтних пластин, що опираються на часткову пружну основу типу Вінклера за рівномірного підвищення температури. Крайові умови – затиснення пластин як з внутрішнього, так і з зовнішнього країв. Для розв'язання отриманих рівнянь використовують гібридний метод, який складається з аналітичних тригонометричних функцій та методу узагальнених диференціальних квадратур. Досліджувався як вплив пружної основи, так і її радіус та товщина пластини. У статті [16] представлено пружний осесиметричний аналіз міцності круглих і кільцевих пластин, що опираються на пружну основу при дії радіального навантаження. Використовується чисельний варіаційний метод (варіаційна диференціальна квадратура). В якості пружної основи використовуються моделі Вінклера та Пастернака. У роботі [17] досліджуються згинальні реакції осесиметричних круглих та кільцевих пластин для різних варіантів граничних умов. Виконується моделювання сендвіч-структур з різною кількістю шарів.

Аналіз публікацій в цілому засвідчує, що розробка нових аналітичних методів розрахунку на згин кільцевих пластин, що опираються на неоднорідну пружну основу, є актуальною.

Мета. Метою роботи є подальший розвиток аналітичних методів розрахунку на згин кільцевих пластин, що спираються на неоднорідну суцільну пружну основу Вінклера.

Матеріали та методи дослідження. Дослідження ґрунтуються на точному розв'язку диференціального рівняння осесиметричного згину круглих та кільцевих пластин. Такий розв'язок для узагальненого випадку, коли коефіцієнт постелі та розподілене навантаження являють собою будь-які неперервні функції, знайдено в роботі [18]. Також застосовується теорія степеневих рядів, оскільки в окремому випадку що тут розглядається, саме до таких рядів трансформується точний розв'язок з публікації [18].

Результати та обговорення. Об'єктом дослідження є кільцева пластина сталої циліндричної жорсткості D, що опирається на суцільну неоднорідну

пружну основу Вінклера та знаходиться під впливом неперервно-розподіленого поперечного навантаження сталої інтенсивності q (рис. 1).

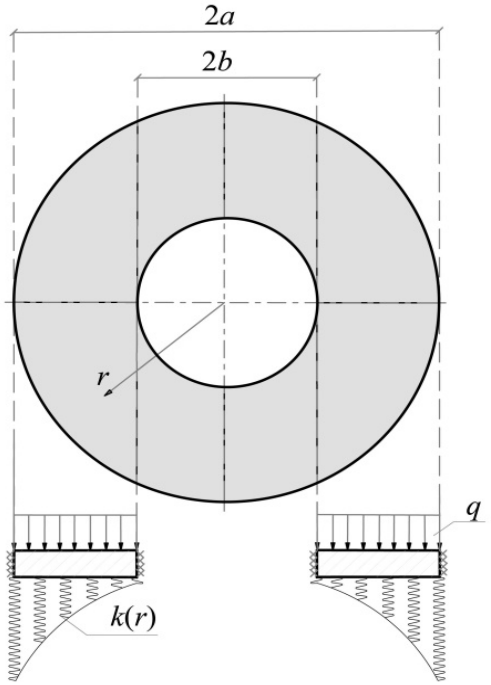


Рис. 1. Кільцева пластина на змінній пружній основі

Тут a і b – відповідно радіуси зовнішнього і внутрішнього контурних кіл пластини, r – радіальна координата $(0 < b \le r \le a)$.

Циліндрична жорсткість пластини обчислюється за відомою формулою

$$D = \frac{Eh^3}{12(1-\mu^2)},$$

де E – модуль Юнга, h – товщина пластини, μ – коефіцієнт Пуассона.

Осесиметричний згин пластини виникає, коли реакція пружної основи $R(r)$ та умови закріплення контурів не залежать від полярного кута θ. При такому згині в пластині діють тільки три внутрішні зусилля: радіальний M_r і окружний M_θ згинальні моменти та радіальна поперечна сила Q_r (рис. 2).

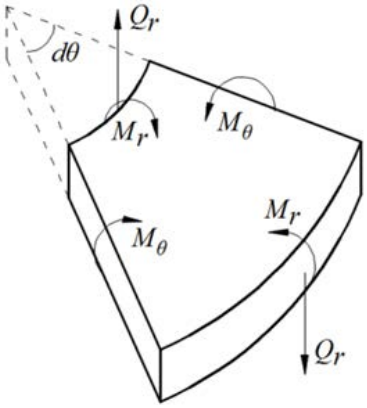


Рис. 2. Згинальні моменти та поперечна сила в пластині

Відповідно до гіпотези Вінклера, сила реакції $R(r)$ основи на пластину та прогин $w(r)$ пов'язані між собою рівністю $R(r) = -k(r)w(r)$, де $k(r)$ – змінний коефіцієнт постелі, що характеризує неоднорідність основи (рис. 1). Для $k(r)$ в [18] прийнято форму запису $k(r) = k_0 A(r)$, де k_0 – значення коефіцієнта постелі в деякій характерній точці пластини, $A(r)$ – безрозмірна неперервна функція, що виражає закон зміни коефіцієнта постелі від радіальної координати.

Дана робота присвячена окремому випадку, коли неоднорідність основи задається експоненціальною функцією

$$k(r) = k(b)\exp\left(\delta\left(\frac{r}{a} - \frac{b}{a}\right)\right), \quad \delta = \frac{1}{1 - b/a}\ln\frac{k(a)}{k(b)},$$

тобто тут

$$k_0 = k(b)\exp\left(-\delta\frac{b}{a}\right), \; A(r) = \exp\left(\delta\frac{r}{a}\right). \tag{1}$$

Точний розв'язок та формули для параметрів стану пластини

Диференціальне рівняння осесиметричного згину пластини має вигляд

$$D\frac{1}{r}\frac{d}{dr}\left\{r\frac{d}{dr}\left[\frac{1}{r}\frac{d}{dr}\left(r\frac{dw}{dr}\right)\right]\right\} + k_0 A(r)w = q\,. \tag{2}$$

В публікації [18] знайдено його точний розв'язок для довільної неперервної функції $A(r)$, який визначається формулами:

$$w(r) = \frac{qa^4}{D}W(r); \tag{3}$$

$$W(r) = \lambda_1 X_1(r) + \lambda_2 X_2(r) + \lambda_3 Y_1(r) + \lambda_4 Y_2(r) + X_3(r), \tag{4}$$

де $\lambda_n\,(n = 1,2,3,4)$ – безрозмірні константи інтегрування; $X_n(r), Y_n(r)$ $(n = 1,2)$ – безрозмірні фундаментальні функції відповідного однорідного рівняння, тобто рівняння (2) при нульовій правій частині; $X_3(r)$ – безрозмірна функція, яка пов'язана з частинним розв'язком $X_*(r)$ неоднорідного рівняння (2) формулою

$$X_*(r) = \frac{qa^4}{D}X_3(r).$$

Також важливо зауважити, що для $Y_n(r)$ $(n = 1,2)$ має місце подання

$$Y_n(r) = X_n(r)\ln\frac{r}{a} + Z_n(r) \;\; (n = 1,2). \tag{5}$$

Функції $X_n(r)$ $(n = 1,2,3)$ та $Z_n(r)$ $(n = 1,2)$ визначаються рівномірно збіжними рядами, записаними по степенях безрозмірного параметру $K = k_0 a^4 / D$

$$X_n(r) = \alpha_{n,0}(r) - K\alpha_{n,1}(r) + K^2\alpha_{n,2}(r) - K^3\alpha_{n,3}(r) + \ldots\,(n = 1,2,3); \tag{6}$$

$$\alpha_{n,0}(r)=\left(\frac{r}{a}\right)^{2n-2}\ (n=1,2);\quad \alpha_{3,0}(r)=\frac{1}{2^2 4^2}\left(\frac{r}{a}\right)^4; \tag{7}$$

$$\alpha_{n,k}(r)=\frac{1}{a^3}\int_0^r\frac{1}{r}\int_0^r r\int_0^r\frac{1}{r}\int_0^r rA(r)\alpha_{n,k-1}(r)\,drdrdrdr\ \ (n=1,2,3)(k=1,2,3,...); \tag{8}$$

$$Z_n(r)=\beta_{n,0}(r)-K\beta_{n,1}(r)+K^2\beta_{n,2}(r)-K^3\beta_{n,3}(r)+...\ (n=1,2); \tag{9}$$

$$\beta_{n,0}(r)=\left(\frac{r}{a}\right)^{2n-2}\ (n=1,2); \tag{10}$$

$$\beta_{n,k}(r)=\frac{1}{a^3}\int_0^r\frac{1}{r}\int_0^r r\int_0^r\frac{1}{r}\int_0^r\left(rA(r)\beta_{n,k-1}(r)-4a^3\frac{d^3\alpha_{n,k}(r)}{dr^3}\right)drdrdrdr \tag{11}$$

$(n=1,2)(k=1,2,3,...).$

Як видно, формули (8), (11) є рекурентними. За допомогою цих формул, по відомим початковим функціям $\alpha_{n,0}(r)\,(n=1,2,3)$, $\beta_{n,0}(r)(n=1,2)$ послідовно визначаються функції $\alpha_{n,k}(r)\,(n=1,2,3)$, $\beta_{n,k}(r)\,(n=1,2)(k=1,2,3,...)$, які названо твірними [18].

Для кута повороту та внутрішніх зусиль мають місце формули [18]:

$$\frac{dw}{dr}=\frac{q_0a^3}{D}\tilde{W}(r); \tag{12}$$

$$M_r=-q_0a^2\left(\widehat{W}(r)+\mu\frac{a}{r}\tilde{W}(r)\right); \tag{13}$$

$$M_\theta=-q_0a^2\left(\mu\widehat{W}(r)+\frac{a}{r}\tilde{W}(r)\right); \tag{14}$$

$$Q_r=-q_0a\left(\hat{W}(r)+\frac{a}{r}\widehat{W}(r)-\left(\frac{a}{r}\right)^2\tilde{W}(r)\right); \tag{15}$$

$$\tilde{W}(r)=\lambda_1\tilde{X}_1(r)+\lambda_2\tilde{X}_2(r)+\lambda_3\tilde{Y}_1(r)+\lambda_4\tilde{Y}_2(r)+\tilde{X}_3(r); \tag{16}$$

$$\widehat{W}(r)=\lambda_1\widehat{X}_1(r)+\lambda_2\widehat{X}_2(r)+\lambda_3\widehat{Y}_1(r)+\lambda_4\widehat{Y}_2(r)+\widehat{X}_3(r); \tag{17}$$

$$\hat{W}(r)=\lambda_1\hat{X}_1(r)+\lambda_2\hat{X}_2(r)+\lambda_3\hat{Y}_1(r)+\lambda_4\hat{Y}_2(r)+\hat{X}_3(r). \tag{18}$$

Тут через $\tilde{X}_n(r),\widehat{X}_n(r),\hat{X}_n(r)$ позначено три перших безрозмірних похідні від функцій $X_n(r)$, тобто

$$\tilde{X}_n(r)=a\frac{dX_n(r)}{dr},\ \widehat{X}_n(r)=a^2\frac{d^2X_n(r)}{dr^2},\ \hat{X}_n(r)=a^3\frac{d^3X_n(r)}{dr^3}\ (n=1,2,3), \tag{19}$$

а через $\tilde{Y}_n(r),\widehat{Y}_n(r),\hat{Y}_n(r)-$ три перших безрозмірних похідні від функцій $Y_n(r)$, тобто

$$\tilde{Y}_n(r)=a\frac{dY_n(r)}{dr},\ \widehat{Y}_n(r)=a^2\frac{d^2Y_n(r)}{dr^2},\ \hat{Y}_n(r)=a^3\frac{d^3Y_n(r)}{dr^3}\ (n=1,2). \tag{20}$$

Зважаючи на (5), для безрозмірних похідних (20) також визначені наступні подання [18]:

$$\tilde{Y}_n(r) = \tilde{X}_n(r)\ln\frac{r}{a} + \frac{a}{r}X_n(r) + \tilde{Z}_n(r); \tag{21}$$

$$\hat{Y}_n(r) = \hat{X}_n(r)\ln\frac{r}{a} + 2\frac{a}{r}\tilde{X}_n(r) - \left(\frac{a}{r}\right)^2 X_n(r) + \hat{Z}_n(r); \tag{22}$$

$$\hat{Y}_n(r) = \hat{X}_n(r)\ln\frac{r}{a} + 3\frac{a}{r}\hat{X}_n(r) - 3\left(\frac{a}{r}\right)^2 \tilde{X}_n(r) + 2\left(\frac{a}{r}\right)^3 X_n(r) + \hat{Z}_n(r), \tag{23}$$

де безрозмірні похідні функцій $Z_n(r)$:

$$\tilde{Z}_n(r) = a\frac{dZ_n(r)}{dr},\ \hat{Z}_n(r) = a^2\frac{d^2Z_n(r)}{dr^2},\ \hat{Z}_n(r) = a^3\frac{d^3Z_n(r)}{dr^3}\ (n=1,2). \tag{24}$$

Подання твірних функцій степеневими рядами

Для простоти чисельної реалізації, функцію $A(r)$ апроксимуємо рядом Маклорена

$$A(r) = A_0 + A_1\left(\frac{r}{a}\right) + A_2\left(\frac{r}{a}\right)^2 + A_3\left(\frac{r}{a}\right)^3 + \ldots. \tag{25}$$

У випадку, що розглядається, для коефіцієнтів ряду матимемо

$$A_0 = 1,\ A_j = \frac{\delta^j}{j!}\ (j=1,2,3,\ldots). \tag{26}$$

Зважаючи на (25), твірні функції (8), (11) також подаються степеневими рядами [18]

$$\alpha_{n,k}(r) = \left(\frac{r}{a}\right)^{2n+4k-2}\sum_{j=0}^{\infty} c_{n,k,j}\left(\frac{r}{a}\right)^j\ (n=1,2,3)(k=1,2,3,\ldots), \tag{27}$$

$$\beta_{n,k}(r) = \left(\frac{r}{a}\right)^{2n+4k-2}\sum_{j=0}^{\infty} d_{n,k,j}\left(\frac{r}{a}\right)^j\ (n=1,2)(k=1,2,3,\ldots), \tag{28}$$

причому, коефіцієнти цих рядів обчислюються за формулами:

$$c_{n,0,0} = 1\ (n=1,2);\ c_{3,0,0} = \frac{1}{2^2\cdot 4^2}; \tag{29}$$

$$c_{n,0,j} = 0\ (n=1,2,3)(j=1,2,3,\ldots); \tag{30}$$

$$c_{n,k,j} = \frac{1}{p_{n,k,j}^2}\sum_{i=0}^{j} A_{j-i}\,c_{n,k-1,i}\ (n=1,2,3)(k=1,2,3,\ldots)(j=0,1,2,\ldots); \tag{31}$$

$$d_{n,0,0} = 1\ (n=1,2); \tag{32}$$

$$d_{n,0,j} = 0\ (n=1,2)(j=1,2,3,\ldots); \tag{33}$$

$$d_{n,k,j} = \frac{1}{p^2_{n,k,j}} \sum_{i=0}^{j} A_{j-i}\, d_{n,k-1,i} - 4(2n + 4k + j - 3)\frac{c_{n,k,j}}{p_{n,k,j}} \qquad (34)$$

$$(n = 1,2)(k = 1,2,3,...)(j = 0,1,2,...),$$

де

$$p_{n,k,j} = (2n + 4k + j - 4)(2n + 4k + j - 2).$$

Таким чином, завдяки формулам (1), (3)-(6), (9), (12)-(24), (26)-(34) забезпечено можливість аналітичного розрахунку кільцевих пластин, що опираються на пружну основу з експоненціальною неоднорідністю, з будь якими граничними умовами.

Приклад розрахунку

Розглянемо бетонну плиту, зовнішній контур якої шарнірно обпертий, а внутрішній – вільний. Такому випадку відповідатимуть граничні умови:

$$(w)_{r=a} = 0;\ (M_r)_{r=a} = 0;\ (M_r)_{r=b} = 0;\ (Q_r)_{r=b} = 0.$$

Застосувавши для їх реалізації формули (3), (4), (13), (15), отримаємо лінійну неоднорідну систему рівнянь, яка в матричному вигляді запишеться так: $G\Lambda = g$,

де

$$G = \begin{pmatrix} X_1(a) & X_2(a) & Y_1(a) & Y_2(a) \\ \hat{X}_1(a) + \mu\tilde{X}_1(a) & \hat{X}_2(a) + \mu\tilde{X}_2(a) & \hat{Y}_1(a) + \mu\tilde{Y}_1(a) & \hat{Y}_2(a) + \mu\tilde{Y}_2(a) \\ \hat{X}_1(b) + \mu\frac{a}{b}\tilde{X}_1(b) & \hat{X}_2(b) + \mu\frac{a}{b}\tilde{X}_2(b) & \hat{Y}_1(b) + \mu\frac{a}{b}\tilde{Y}_1(b) & \hat{Y}_2(b) + \mu\frac{a}{b}\tilde{Y}_2(b) \\ \hat{X}_1(b) + \frac{a}{b}\hat{X}_1(b) - & \hat{X}_2(b) + \frac{a}{b}\hat{X}_2(b) - & \hat{Y}_1(b) + \frac{a}{b}\hat{Y}_1(b) - & \hat{Y}_2(b) + \frac{a}{b}\hat{Y}_2(b) - \\ -\left(\frac{a}{b}\right)^2\tilde{X}_1(b) & -\left(\frac{a}{b}\right)^2\tilde{X}_2(b) & -\left(\frac{a}{b}\right)^2\tilde{Y}_1(b) & -\left(\frac{a}{b}\right)^2\tilde{Y}_2(b) \end{pmatrix},$$

$$\Lambda = \begin{pmatrix} \lambda_1 \\ \lambda_2 \\ \lambda_3 \\ \lambda_4 \end{pmatrix},\quad g = -\begin{pmatrix} X_3(a) \\ \hat{X}_3(a) + \mu\tilde{X}_3(a) \\ \hat{X}_3(b) + \mu\frac{a}{b}\tilde{X}_3(b) \\ \hat{X}_3(b) + \frac{a}{b}\hat{X}_3(b) - \left(\frac{a}{b}\right)^2\tilde{X}_3(b) \end{pmatrix}.$$

Звідси знаходимо безрозмірні константи інтегрування:

$$\Lambda = G^{-1}g.$$

Вихідні дані для розрахунку:

Матеріал плити — бетон ($E = 1,5 \cdot 10^7\ kPa,\ \mu = 1/6$);

Зовнішній радіус $a = 6\,м$;

Внутрішній радіус $b = 4,5\,м$;

Товщина плити $h = 0,12\,м$;

$k(a) = 8 \cdot 10^3\ кН\ /\ м^3$; $k(b) = 5 \cdot 10^3\ кН\ /\ м^3$; $q = 70\ кПа$.

Результати розрахунку авторським методом (АМ) в числовому форматі представлено в табл. 1, 2, а в графічному — на рис. 3.

Таблиця 1

Значення прогину та поперечної сили

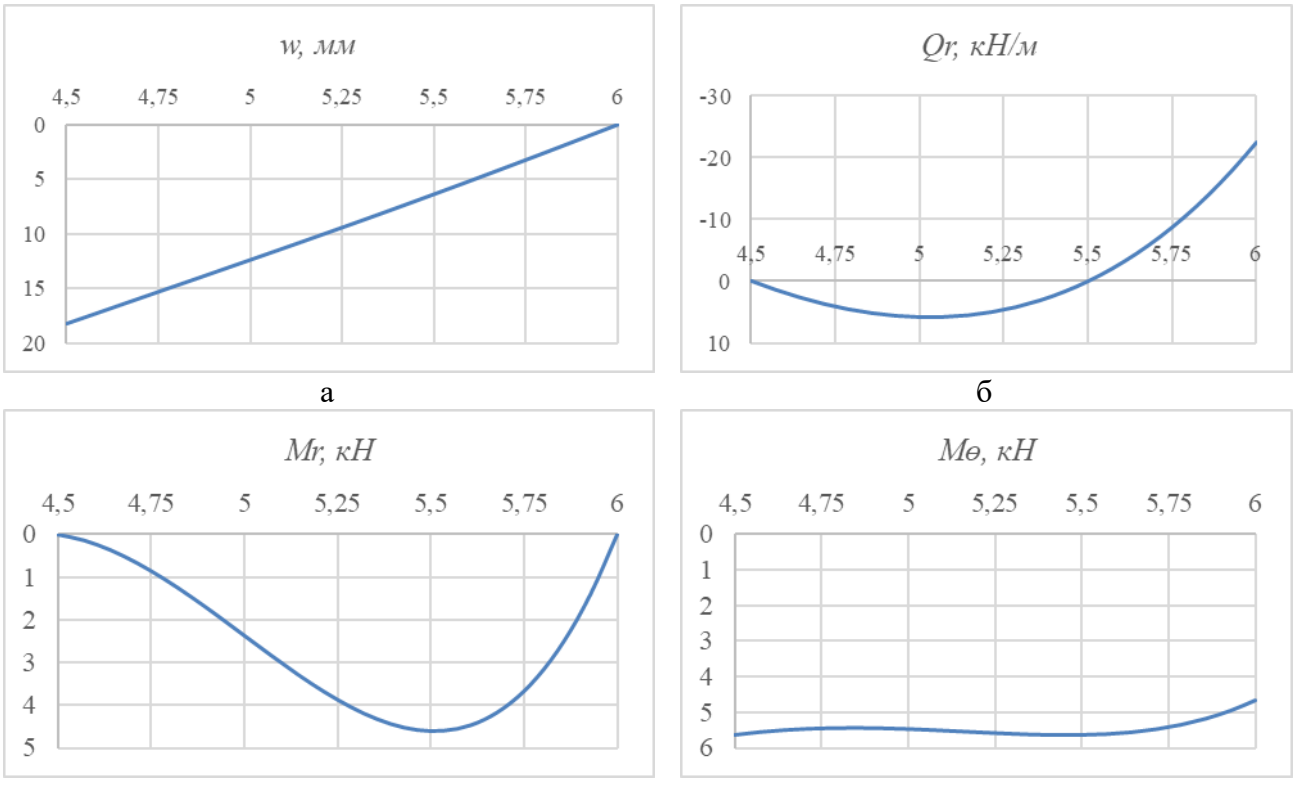
r, *м*	w, *мм*		Відносна похибка, %	Q_r, *кН / м*		Відносна похибка, %
	АМ	МСЕ		АМ	МСЕ	
4,5000	18,2553	18,2490	0,00	0,0000	0,0000	0,00
4,5714	17,4171	17,4110	0,04	1,4298	1,3941	2,50
4,6429	16,5808	16,5750	0,04	2,6756	2,5899	3,20
4,7143	15,7458	15,7410	0,03	3,7308	3,6531	2,08
4,7857	14,9113	14,9070	0,03	4,5881	4,4604	2,78
4,8571	14,0765	14,0720	0,03	5,2395	5,4268	3,57
4,9286	13,2404	13,2360	0,03	5,6761	5,8281	2,68
5,0000	12,4019	12,3980	0,03	5,8882	5,9988	1,88
5,0714	11,5600	11,5560	0,03	5,8651	5,7927	1,23
5,1429	10,7136	10,7100	0,03	5,5951	5,5237	1,28
5,2143	9,8617	9,8590	0,03	5,0656	5,1639	1,94
5,2857	9,0033	9,0010	0,03	4,2626	4,3461	1,96
5,3571	8,1375	8,1350	0,03	3,1713	3,2452	2,33
5,4286	7,2637	7,2620	0,02	1,7758	1,9144	7,81
5,5000	6,3815	6,3800	0,02	0,0593	0,0674	13,66
5,5714	5,4907	5,4890	0,03	-1,9962	-1,7836	10,65
5,6429	4,5914	4,5900	0,03	-4,4093	-4,7558	7,86
5,7143	3,6840	3,6830	0,03	-7,1994	-7,5887	5,41
5,7857	2,7696	2,7690	0,02	-10,3862	-10,5745	1,81
5,8571	1,8493	1,8490	0,02	-13,9900	-13,8058	1,32
5,9286	0,9253	0,9250	0,03	-18,0306	-17,8530	0,99
6,0000	0,0000	0,0000	0,00	-22,5278	-22,4356	0,41

Таблиця 2

Значення згинальних моментів

r, *м*	M_r, *кН*		Відносна похибка, %	M_θ, *кН*		Відносна похибка, %
	АМ	МСЕ		АМ	МСЕ	
1	2	3	4	5	6	7
4,5000	0,0000	0,0283	0,00	5,6395	5,6172	0,39
4,5714	0,1393	0,1449	3,99	5,5610	5,5615	0,01
4,6429	0,3690	0,3746	1,51	5,5037	5,5044	0,01
4,7143	0,6748	0,6803	0,81	5,4662	5,4670	0,02
4,7857	1,0423	1,0475	0,50	5,4467	5,4476	0,02
4,8571	1,4567	1,4615	0,33	5,4432	5,4442	0,02
4,9286	1,9029	1,9072	0,23	5,4533	5,4543	0,02
5,0000	2,3652	2,3689	0,16	5,4745	5,4755	0,02

1	2	3	4	5	6	7
5,0714	2,8274	2,8304	0,11	5,5037	5,5046	0,02
5,1429	3,2727	3,2750	0,07	5,5376	5,5384	0,01
5,2143	3,6837	3,6850	0,04	5,5727	5,5733	0,01
5,2857	4,0419	4,0424	0,01	5,6051	5,6055	0,01
5,3571	4,3283	4,3278	0,01	5,6305	5,6306	0,00
5,4286	4,5228	4,5213	0,03	5,6443	5,6442	0,00
5,5000	4,6043	4,6017	0,06	5,6415	5,6412	0,01
5,5714	4,5507	4,5470	0,08	5,6169	5,6163	0,01
5,6429	4,3385	4,3338	0,11	5,5647	5,5638	0,02
5,7143	3,9434	3,9376	0,15	5,4788	5,4778	0,02
5,7857	3,3396	3,3326	0,21	5,3527	5,3519	0,01
5,8571	2,5002	2,4920	0,33	5,1794	5,1794	0,00
5,9286	1,3968	1,3874	0,67	4,9517	4,9535	0,04
6,0000	0,0000	0,3788	0,00	4,6618	4,7472	1,83



а б в г

Рис. 3. Графіки функцій: а – прогини; б – поперечні сили; в – радіальні згинальні моменти; г – окружні згинальні моменти

З метою верифікації авторського методу, в табл. 1, 2 також надані результати розрахунку методом скінченних елементів (МСЕ) у програмному комплексі LIRA та вказана відносна похибка.

Висновки

1. Запропоновано аналітичний метод розрахунку на осесиметричний згин кільцевих пластин, що опираються на суцільну пружну основу з

експоненціальною неоднорідністю.

2. Оскільки АМ ґрунтується на точному розв'язку диференціального рівняння, отримані тут чисельні результати можна трактувати, як точні. Такі розв'язки є особливо цінними, оскільки вони служать критеріями, по яким можна оцінювати точність різного роду наближених розв'язків.

3. Порівняння розрахунків АМ з відповідними розрахунками МСЕ у програмному комплексі LIRA підтверджує валідність запропонованого методу.

4. Встановлено, що найбільша похибка МСЕ виникає в околицях точок, де функції внутрішніх зусиль змінюють знак.

Список літератури

1. Foyouzat, M.A., & Mofid, M. (2019). An analytical solution for bending of axisymmetric circular/annular plates resting on a variable elastic foundation. *European Journal of Mechanics - A/Solids*, *74*, 462–470. https://doi.org/10.1016/j.euromechsol.2019.01.006.

2. Surianinov, M.H., Krutii, Y.S., Karnaukhova, A.S., & Klymenko, O.M. (2022). Analytical method for calculating annular plates on a variable elastic base. *Modern Construction and Architecture*, *2*, 37–43. https://doi.org/10.31650/2786-6696-2022-2-37-43.

3. Surianinov, M., Krutii, Y., Kirichenko, D., & Klymenko, O. (2022). Calculation of annular plates on an elastic base with a variable bedding factor. *Mechanics and Mathematical Methods*, *4*(2), 43–52. https://doi.org/10.31650/2618-0650-2022-4-2-43-52.

4. Surianinov, M., Krutii, Y., Klymenko, O., Vakulenko, V. & Rudakov, S. (2023). Axisymmetric bending of circular plates on a variable elastic base. *Construction Technologies and Architecture, 9,* 3–10. https://doi.org/10.4028/p-L9yr2n.

5. Krutii, Y., Surianinov, M., Klymenko, O., Karnaukhova, H., & Perperi, A. (2024). Analytical method for calculating ring plates on an elastic foundation with an arbitrary continuously variable bedding factor. *Key Engineering Materials*, *1005*, 121–132. https://doi.org/10.4028/p-gp8pyq.

6. Karaşin, H., Gülkan, P., & Aktas, G. (2014). A finite grid solution for circular plates on elastic foundations. *KSCE Journal of Civil Engineering*, *19*(4), 1157–1163. https://doi.org/10.1007/s12205-014-0713-x.

7. Crook, A.W. (1991). A transfer matrix method for calculating the elastic behaviour of annular plates. *The Journal of Strain Analysis for Engineering Design. 26*(1), 65-73. https://doi.org/10.1243/03093247V261065.

8. Vaskova, J., & Matečková, P. (2015). Software for Design and Assessment of Rotationally Symmetrically Loaded Reinforced Concrete Slabs in the Shape of

Circle or Ring. *Applied Mechanics and Materials*, *749*, 368–372. https://doi.org/10.4028/www.scientific.net/amm.749.368.

9. Vivio, F., & Vullo, V. (2010). Closed form solutions of axisymmetric bending of circular plates having non-linear variable thickness. *International Journal of Mechanical Sciences*, *52*(9), 1234–1252. https://doi.org/10.1016/j.ijmecsci.2010.05.011.

10. Behravan Rad, A. (2012). Semi-Analytical solution for functionally graded solid circular and annular plates resting on elastic foundations subjected to axisymmetric transverse loading. *Advances in Applied Mathematics and Mechanics*, *4*(2), 205–222. https://doi.org/10.4208/aamm.10-m11104.

11. Behravan Rad, A., & Alibeigloo, A. (2013). Semi-Analytical solution for the static analysis of 2D functionally graded solid and annular circular plates resting on elastic foundation. *Mechanics of Advanced Materials and Structures*, *20*(7), 515–528. https://doi.org/10.1080/15376494.2011.634088.

12. Hosseini-Hashemi, S., Akhavan, H., Taher, H.R.D., Daemi, N., & Alibeigloo, A. (2010). Differential quadrature analysis of functionally graded circular and annular sector plates on elastic foundation. *Materials & Design*, *31*(4), 1871–1880. https://doi.org/10.1016/j.matdes.2009.10.060.

13. Kiani, Y., & Eslami, M.R. (2013). Instability of heated circular FGM plates on a partial Winkler-type foundation. *Acta Mechanica*, *224*(5), 1045–1060. https://doi.org/10.1007/s00707-012-0800-3.

14. Golmakani, M.E., & Alamatian, J. (2013). Large deflection analysis of shear deformable radially functionally graded sector plates on two-parameter elastic foundations. European Journal of Mechanics - A/Solids, *42,* 251–265. https://doi.org/10.1016/j.euromechsol.2013.06.006.

15. Bagheri, H., Kiani, Y., & Eslami, M.R. (2018). Asymmetric thermal buckling of temperature dependent annular FGM plates on a partial elastic foundation. *Computers & Mathematics with Applications*, *75*(5), 1566–1581. https://doi.org/10.1016/j.camwa.2017.11.021.

16. Hasrati, E., Ansari, R., & Rouhi, H. (2019). A numerical approach to the elastic/plastic axisymmetric buckling analysis of circular and annular plates resting on elastic foundation. *Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, Part C: Journal of Mechanical Engineering Science*, *233*(19-20), 7041–7061. https://doi.org/10.1177/0954406219867726.

17. Zhao, H., Wang, L., Issakhov, A., & Safarpour, H. (2021). Poroelasticity framework for stress/strain responses of the multi-phase circular/annular systems resting on various types of elastic foundations. *The European Physical Journal Plus*, *136*(8). https://doi.org/10.1140/epjp/s13360-021-01761-w

18. Krutii, Y.S., Sur'yaninov, M.G., & Karnaukhova, G.S. (2021). Calculation

method for axisymmetric bending of circular and annular plates on a changeable elastic bed. Part 1. Analytical relations. *Strength of Materials*, *53*(2), 247–257. https://doi.org/10.1007/s11223-021-00282-2.

Doctor of Science, Professor **Yurii Krutii**,
Doctor of Science, Professor **Mykola Surianinov**,
PhD **Anna Karnauhova,** PhD **Alla Perperi,**
Postgraduate **Olexandr Klimenko,**
Odesa State Academy of Civil Engineering and Architecture, Odesa

ANALYTICAL DESIGN OF CIRCULATED PLATES THAT SPIRAL ON A SPRING BASE WITH EXPONENTIAL INHOMOIDITY

The problem is considered about the axisymmetric bend of the ring plate, which is under the infusion of a uniformly distributed transverse tension and rests on a non-uniform Winkler spring base. This model has a spring base, on which the structure rests, which appears to be a set of vertical, closely spaced, not interconnected springs. This situation can be described by a single parameter called the base elasticity modulus and bed coefficient. In the simplest case, if the spring base is treated as one-piece, the coefficient of the bed is steel, which will significantly simplify the untangling of different differential strings. This can be explained widely using the assumption about the uniformity of the base. However, such an assumption is far from reality and for clearer investigations it is necessary to take into account the heterogeneity of the basis. In this case, the coefficient of the bed will be a variable value. In robots, the heterogeneity of the spring base is specified by an exponential function. In an analytical view, the fundamental functions and partial outcome of the differential differential equation have been identified. These functions are dimensionless and are represented by absolutely and uniformly similar power series. In turn, through the specified functions, formulas for the parameters of the stress-strain of the plate are expressed. In fact, the development of the plate is reduced to a procedure for the numerical implementation of explicit analytical formulas. The practical installation of loosening ties on the butt of a concrete slab with generally secured contours has been demonstrated.

Keywords: ring plate; non-homogeneous spring base; Winkler hypothesis; variable bed coefficient; analytical design.

REFERENSES

1. Foyouzat, M.A., & Mofid, M. (2019). An analytical solution for bending of axisymmetric circular/annular plates resting on a variable elastic

foundation. *European Journal of Mechanics - A/Solids*, *74*, 462–470. https://doi.org/10.1016/j.euromechsol.2019.01.006. {in English}

2. Surianinov, M.H., Krutii, Y.S., Karnaukhova, A.S., & Klymenko, O.M. (2022). Analytical method for calculating annular plates on a variable elastic base. *Modern Construction and Architecture*, *2*, 37–43. https://doi.org/10.31650/2786-6696-2022-2-37-43. {in English}

3. Surianinov, M., Krutii, Y., Kirichenko, D., & Klymenko, O. (2022). Calculation of annular plates on an elastic base with a variable bedding factor. *Mechanics and Mathematical Methods*, *4*(2), 43–52. https://doi.org/10.31650/2618-0650-2022-4-2-43-52. {in English}

4. Surianinov, M., Krutii, Y., Klymenko, O., Vakulenko, V. & Rudakov, S. (2023). Axisymmetric bending of circular plates on a variable elastic base. *Construction Technologies and Architecture, 9,* 3–10. https://doi.org/10.4028/p-L9yr2n. {in English}

5. Krutii, Y., Surianinov, M., Klymenko, O., Karnaukhova, H., & Perperi, A. (2024). Analytical method for calculating ring plates on an elastic foundation with an arbitrary continuously variable bedding factor. *Key Engineering Materials*, *1005*, 121–132. https://doi.org/10.4028/p-gp8pyq. {in English}

6. Karaşin, H., Gülkan, P., & Aktas, G. (2014). A finite grid solution for circular plates on elastic foundations. *KSCE Journal of Civil Engineering*, *19*(4), 1157–1163. https://doi.org/10.1007/s12205-014-0713-x. {in English}

7. Crook, A.W. (1991). A transfer matrix method for calculating the elastic behaviour of annular plates. *The Journal of Strain Analysis for Engineering Design. 26*(1), 65-73. https://doi.org/10.1243/03093247V261065. {in English}

8. Vaskova, J., & Matečková, P. (2015). Software for Design and Assessment of Rotationally Symmetrically Loaded Reinforced Concrete Slabs in the Shape of Circle or Ring. *Applied Mechanics and Materials*, *749*, 368–372. https://doi.org/10.4028/www.scientific.net/amm.749.368. {in English}

9. Vivio, F., & Vullo, V. (2010). Closed form solutions of axisymmetric bending of circular plates having non-linear variable thickness. *International Journal of Mechanical Sciences*, *52*(9), 1234–1252. https://doi.org/10.1016/j.ijmecsci.2010.05.011. {in English}

10. Behravan Rad, A. (2012). Semi-Analytical solution for functionally graded solid circular and annular plates resting on elastic foundations subjected to axisymmetric transverse loading. *Advances in Applied Mathematics and Mechanics*, *4*(2), 205–222. https://doi.org/10.4208/aamm.10-m11104.

11. Behravan Rad, A., & Alibeigloo, A. (2013). Semi-Analytical solution for the static analysis of 2D functionally graded solid and annular circular plates resting on elastic foundation. *Mechanics of Advanced Materials and Structures*, *20*(7), 515–

528. https://doi.org/10.1080/15376494.2011.634088. {in English}

12. Hosseini-Hashemi, S., Akhavan, H., Taher, H.R.D., Daemi, N., & Alibeigloo, A. (2010). Differential quadrature analysis of functionally graded circular and annular sector plates on elastic foundation. *Materials & Design*, *31*(4), 1871–1880. https://doi.org/10.1016/j.matdes.2009.10.060.

13. Kiani, Y., & Eslami, M.R. (2013). Instability of heated circular FGM plates on a partial Winkler-type foundation. *Acta Mechanica*, *224*(5), 1045–1060. https://doi.org/10.1007/s00707-012-0800-3. {in English}

14. Golmakani, M.E., & Alamatian, J. (2013). Large deflection analysis of shear deformable radially functionally graded sector plates on two-parameter elastic foundations. European Journal of Mechanics - A/Solids, *42,* 251–265. https://doi.org/10.1016/j.euromechsol.2013.06.006. {in English}

15. Bagheri, H., Kiani, Y., & Eslami, M. R. (2018). Asymmetric thermal buckling of temperature dependent annular FGM plates on a partial elastic foundation. *Computers & Mathematics with Applications*, *75*(5), 1566–1581. https://doi.org/10.1016/j.camwa.2017.11.021. {in English}

16. Hasrati, E., Ansari, R., & Rouhi, H. (2019). A numerical approach to the elastic/plastic axisymmetric buckling analysis of circular and annular plates resting on elastic foundation. *Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, Part C: Journal of Mechanical Engineering Science*, *233*(19-20), 7041–7061. https://doi.org/10.1177/0954406219867726. {in English}

17. Zhao, H., Wang, L., Issakhov, A., & Safarpour, H. (2021). Poroelasticity framework for stress/strain responses of the multi-phase circular/annular systems resting on various types of elastic foundations. *The European Physical Journal Plus*, *136*(8). https://doi.org/10.1140/epjp/s13360-021-01761-w. {in English}

18. Krutii, Y.S., Sur'yaninov, M.G., & Karnaukhova, G.S. (2021). Calculation method for axisymmetric bending of circular and annular plates on a changeable elastic bed. Part 1. Analytical relations. *Strength of Materials*, *53*(2), 247–257. https://doi.org/10.1007/s11223-021-00282-2. {in English}

DOI: 10.32347/2786-7269.2025.11.420-434
УДК: 504.052

д.т.н., професор **Линник І.Е.**,
linnik.xnugx@gmail.com, ORCID: 0000-0002-8972-3250,
Сабаєва П.І.,
palya.sab@gmail.com, ORCID: 0009-0008-4558-0746,
Харківський національний університет
міського господарства ім. О.М. Бекетова

ПОВОДЖЕННЯ З ЕЛЕКТРОННИМИ ВІДХОДАМИ В УКРАЇНІ ТА СВІТІ

Проаналізовано накопичення електронних відходів у світі та в Україні, основні документи, що регулюють питання поводження з електронними відходами у Європейському Союзі та в Україні. Проаналізовано методи збирання, утилізації, переробки та знешкодження електронних відходів. Виявлено, що в Україні відсутня система, яка б на державному рівні забезпечувала приймання електронного обладнання від населення та підприємств. Надано основні пропозиції щодо вирішення проблеми електронних відходів в Україні.

Ключові слова: електронні відходи; накопичення відходів; переробка та утилізація електронних відходів.

Постановка проблеми. Проблема відходів електронного та електричного обладнання і відпрацьованих елементів живлення останнім часом є однією з головних екологічних проблем у всьому світі та вимагає швидкого й ефективного вирішення. Накопичення відходів на всіх етапах виробництва і переробки ресурсів тісно пов’язане з життєдіяльністю людини.

Широке використання електричного та електронного обладнання не лише значно підвищує якість життя людей, але й призводить до негативних наслідків для навколишнього середовища та здоров’я населення. Це пов’язано з неефективним поводженням із електронними відходами [1].

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Проблемі поводження з відходами електричного та електронного обладнання (ВЕЕО) присвячено багато публікацій в Україні та світі. У роботах В.І. Хомякова, Н.М. Коробченко, Л.Ю. Главацької, В.А. Іщенко, Л.Г. Філатова, С.В. Сидоренко, С.О. Кідалова, Bruna Alves, О.М. Шуміло, Г.П. Виговської, О. М. Цигульової, S. Salhofer, M. Tesar, E. Dimitrakakis, A. Janz, B. Bilitewski, E. Gidarakos та багатьох інших вчених [2–18] досліджується кількісний та якісний склад електронних та електричних відходів [5, 8, 13, 15, 17, 18], визначено їхню класифікацію [11] та

вплив на навколишнє середовище [3, 4, 6, 14, 16]. проаналізовані методи управління електронними відходами [2, 6, 9, 10, 12, 16, 17]. Не зважаючи на кількість публікацій, проблема з електронними відходами в Україні та світі є невирішеною.

Мета статті. Проаналізувати поводження з електронними відходами в Україні та світі, й надати пропозиції щодо вирішення проблеми збирання та утилізації електронних відходів в Україні.

Накопичення електронних відходів в Україні та світі. Наразі у всьому світі стрімко зростають темпи продажу електронної техніки і, як наслідок, накопичення електронних відходів. Станом на 2022 рік у світі їх було утворено 65 млн т. За прогнозами на 2030 рік ця цифра може збільшитись до 82 млн т [19]. Таке зростання пов'язане із швидкою зміною технологій. Компанії-виробники створюють свої товари з обмеженим терміном придатності, та ремонти, зазвичай, не передбачають. Країни, де утворюється найбільша кількість електронних відходів за даними Організації економічного співробітництва та розвитку (ОЕСР), наведено на рисунках 1, 2 [20–22].

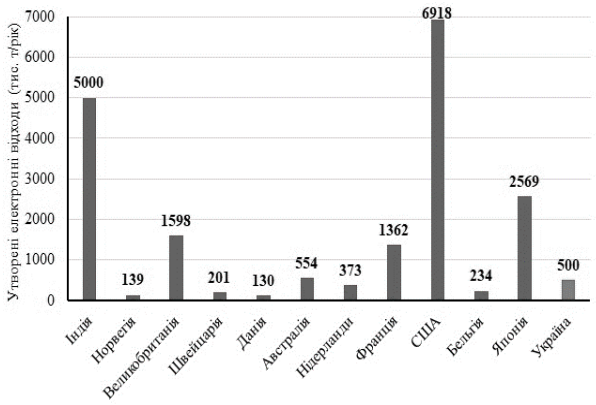


Рис. 1. Утворення електронних відходів у деяких країнах на рік

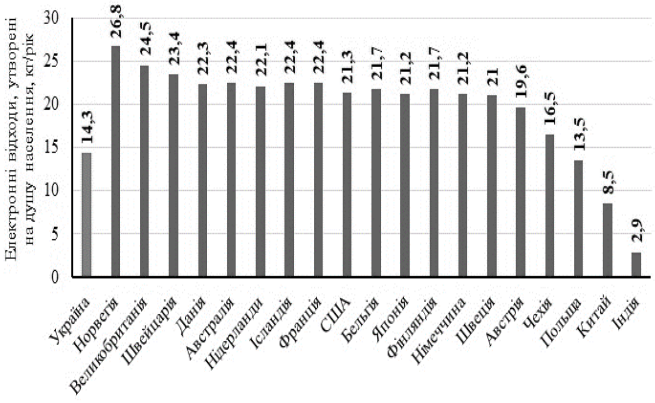


Рис. 2. Утворення електронних відходів на душу населення на рік

На українському ринку працює близько трьох тисяч підприємств, де виготовляють побутову техніку (холодильники, морозильні камери, пральні машини та ін.), офісну техніку та обладнання, медичну техніку, гальванічні елементи тощо. Певна частина виготовлених товарів в Україні експортується.

Наразі точні статистичні дані щодо обсягів утворення, знешкодження та утилізації відходів електричного та електронного обладнання в Україні відсутні. За наближеними даними в Україні кожного року утворюється 500 тис. т електронних відходів, та 14,3 кг на душу населення.

Характер впливу електронних відходів на людину і довкілля залежить від складових елементів відпрацьованого обладнання. Основними компонентами ВЕЕО є метал (42 %), полімерні матеріали (26 %) та скло (18 %) [9]. Серед

небезпечних елементів ВЕЕО містять свинець, кадмій, ртуть, що забруднюють воду, ґрунт, негативно впливають на навколишнє середовище та здоров'я людини. Крім того, в електронних відходах є дорогоцінні (золото, срібло, платина) та рідкоземельні метали, які потрібно вилучати із відходів та використовувати повторно.

Методи знешкодження електронних відходів. У світі застосовують такі методи знешкодження ВЕЕО:

1) захоронення на полігонах. Цей метод вважається не найкращим, оскільки 70 % важких металів потрапляють у довкілля;

2) спалювання відходів. За цього методу полімери та інші шкідливі речовини, які входять до складу електронних відходів, потрапляють в навколишнє середовище, що становить потенційний ризик для здоров'я людини;

3) утилізація з вилученням цінних складових елементів. Збір, сортування та подальша переробка відпрацьованої електроніки для отримання цінної сировини та готової продукції є економічно ефективним рішенням, що допомагає вирішити екологічні проблеми, обмежити забруднення довкілля та зберегти здоров'я населення.

Для того, щоб оцінити безпечність обраного методу знешкодження ВЕЕО, слід враховувати хімічні, біологічні та фізико-хімічні фактори, що супроводжують використання кожної технології. Це має бути відображено в регуляторних та законодавчих актах щодо поводження з відходами електронного обладнання [1].

Світова практика поводження з електронними відходами. Станом на 2023 р. у 81 країні існує законодавча база про електронні відходи. Основним документом, що регулює питання поводження з електронними відходами у Європейському Союзі, є Рамкова Директива 2008/98/ЄС Європейського Парламенту та Ради ЄС від 19 листопада 2008 року [23]. Директивою запроваджуються заходи щодо зниження або усунення негативного впливу відходів (в тому числі й електронних) задля захисту навколишнього середовища та здоров'я людини.

Європейська Комісія запровадила Закон «Про критичну сировину», який спрямований на покращення стійкості та кругообігу матеріалів на товарному ринку, що має стратегічне значення для майбутнього зростання відновлюваної енергетики та технологічного сектора в Європі [24].

Основними пріоритетами управління електронними відходами є:

1) попередження виникнення відходів, впровадження маловідходних технологічних процесів, використання менш небезпечних речовин, відновлення та переробка відходів;

2) повторне використання ВЕЕО, коли продукти або компоненти, що не є відходами, повторно використовуються з тією ж метою, для якої вони були призначені;

3) переробка;

4) інші варіанти утилізації (наприклад, енергетичне відновлення);

5) безпечне розташування або захоронення (у випадку, якщо немає іншого варіанту).

У розвинених країнах забороняється викидати ВЕЕО на смітники разом із побутовими відходами та висуваються вимоги до спеціальної переробки відпрацьованої електроніки. Це потребує значних матеріальних і трудових витрат, через що електронне сміття вивозять із США та Європи до країн третього світу – Мексики, Бразилії, Індії, Китаю, України та інших, не зважаючи що це заборонено.

Організації зі збору електронних відходів на державному рівні існують лише в Бельгії, а на муніципальному – у Швеції та Нідерландах, в інших країнах ЄС за вилучення й утилізацію відпрацьованої електроніки відповідають муніципалітети та постачальники [4]. На рисунку 3 наведено дані про кількість зібраних та перероблених відходів на душу населення в деяких країнах світу [22]. У середньому у світі переробляють близько 17 % електронних відходів.

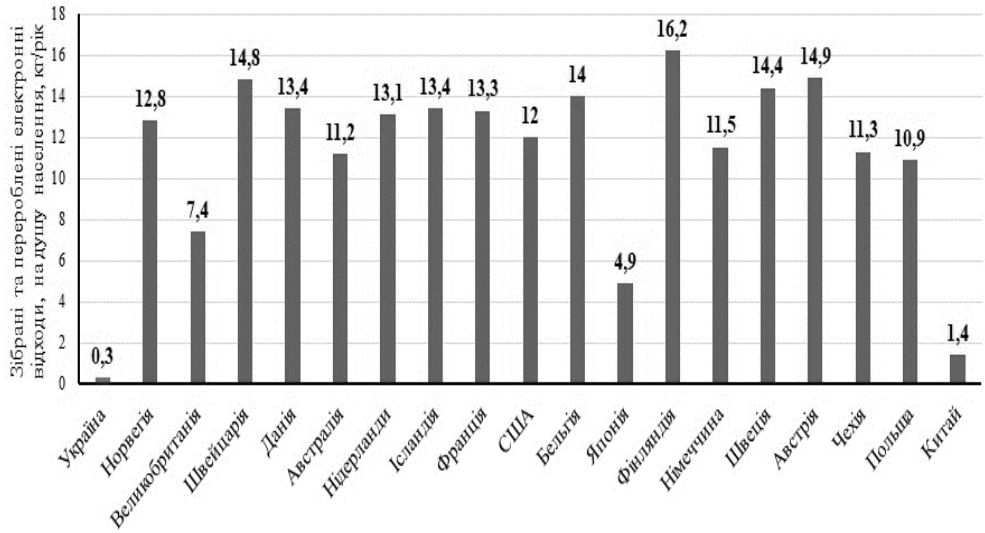


Рис. 3. Зібрані та перероблені відходи на душу населення в деяких країнах світу за рік

Найсучаснішим заводом з переробки батарейок та акумуляторів вважається «AkkuSer Ltd» (м. Нівара, Фінляндія). Завдяки сучасним технологіям переробки з відходів вилучається понад 90 % цінних компонентів, які використовуються у виробництві нової продукції. Ще один прикладом підприємства з переробки батарейок є завод «Nadin Group Jsc» (м. Нові-Іськир, Болгарія). На заводі збирають, відновлюють та перепродають всі види матеріалів, що придатні для повторного використання [1].

Організація «Amsa» (м. Мілан, Італія) здійснює збирання відходів. Потім вилучені відпрацьовані електронні відходи направляються на підприємства, які здійснюють переробку та вилучають з них цінні компоненти.

У Польщі законодавством передбачається обов'язкова передача відпрацьованої електроніки спеціалізованим підприємствам, які отримують від компаній-виробників кошти на утилізацію непридатної продукції. Польська компанія «MB Recycling» займається переробкою електронних відходів. На підприємстві «Cartridge Control» (м. Кельце, Польща) здійснюється відновлення чи ремонт відпрацьованих та зіпсованих картриджів.

У США працюють тільки три заводи з переробки електронних відходів, потужність найбільшого з яких складає лише 70 тис. т. Викидати відпрацьоване електричне та електронне обладнання користувачам забороняється. Деякі виробники приймають на переробку електронні відходи за умови отримання дотацій від держави [4].

Утилізація та безпечне поводження з відходами електричного та електронного обладнання передбачені нормативними актами в Норвегії, як і в ЄС загалом. У середньому в Норвегії переробляють 80,5 % відпрацьованої електроніки. Збір електронних відходів організований на муніципальному рівні [16].

У Німеччині переробляються близько 40 % ВЕЕО. Компанії-виробники зобов'язані вилучати використані пристрої у споживачів. Кожному споживачеві надається можливість повернути старий пристрій, якщо він купує новий. Муніципалітети пропонують можливість утилізації відходів безпосередньо на сміттєзвалищах [25].

Поводження з електронними відходами в Україні. В Україні поводження з відходами, в тому числі ВЕЕО, регулюється низкою нормативно-правових актів. Кабінетом Міністрів України затверджено Національний план дій з охорони навколишнього природного середовища на період до 2025 року [26], в якому розроблено впровадження системи збирання та переробки відпрацьованого електричного й електронного обладнання. У законі «Про відходи» [27] зазначено правові, економічні й організаційні принципи діяльності, спрямованої на запобігання і зменшення обсягів утворення відходів (в тому числі електронних), їхнє збирання, транспортування, сортування, зберігання, переробку та утилізацію. Збирання, пакування, зберігання, обробка і нагляд за відпрацьованими акумуляторами нормується нормативно-технічною документацією і локальними нормативними актами. Використані акумулятори, відпрацьоване ЕЕО й інші небезпечні відходи потрібно збирати у спеціально відведених і обладнаних місцях з метою подальшої утилізації згідно з чинним законодавством [1].

Збирання електронних відходів організовано в деяких містах України (рис. 4). Знайти пункти прийому також можна, скориставшись інтерактивною Національною мапою пункту прийому сировини [28].

Рис. 4. Інтерактивна мапа пунктів прийому електронних відходів (цифри у колах показують кількість наявних пунктів)

Наразі в Україні діє еко-проєкт «Утилізуй сьогодні для чистого завтра». У супермаркетах мережі «АТБ» «Сільпо», «Епіцентр», «JYSK», «Novus», «Comfy» та «WOG» встановлено контейнери для збирання відпрацьованих батарейок, звідки їх відправляють на зберігання до складів компанії «PROMO SERVICE», і далі – на утилізацію. Пункти прийому батарейок показано на мапі (рис. 5, 6) [29].

Збирання ртутьвмісних відходів (ртутних ламп, термометрів), електронних сигарет на сьогоднішній день в Україні не розвинене. В деяких містах та населених пунктах ця інфраструктура взагалі не розвинена. Поки що ці відходи приймають комунальне підприємство «Київкомунсервіс» у Києві, підприємство «Комунальні Екобуси» у Львові, Полтаві, Хмельницькому [30] та Харкові. У Харкові з 2021 р. розпочали встановлювати спеціальні стаціонарні контейнери для збирання небезпечних відходів – батарейок, ртутьвмісних відходів тощо [31]. Розміщення спеціальних контейнерів показано на рисунку 7.

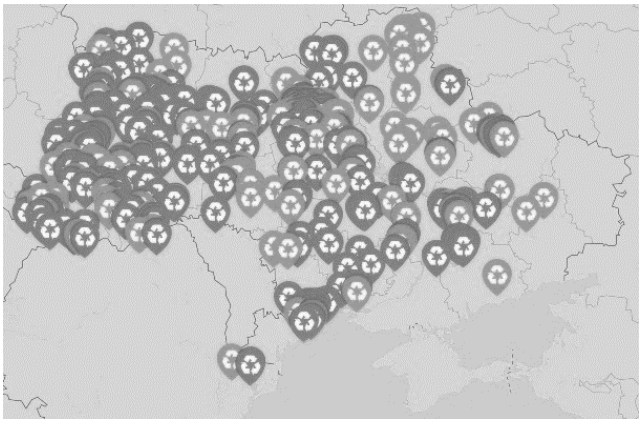


Рис. 5. Пункти прийому батарейок в Україні [29]

Рис. 6. Пункти прийому батарейок у м. Харкові [29]

Рис. 7. Пункти встановлення спеціальних контейнерів для збирання небезпечних відходів у м. Харкові:
1 – вул. Благовіщенська, 34; 2 – вул. Георгія Тарасенка, 42 (ЦНАП); 3 – вул. Академіка Павлова, 44-Б (ТЦ «Французький бульвар»); 4 – пр. Архітектора Альошина, 11 (ЦНАП); 5 – пр. Петра Григоренка, 17 (ЦНАП); 6 – пр. Тракторобудівників, 144 (ЦНАП); 7 – пр. Перемоги, 54;
8 – пр. Науки, 17; 9 – вул. Політехнічна (НТУ ХПІ)

На сьогодні в Україні застосовують наступні технології утилізації відпрацьованої електроніки:

– вилучення дорогоцінних металів з окремих компонентів, цей процес простий і економічно вигідний;

– відокремлення металевих комплектуючих (корпуси, кабелі, радіатори) для подальшого їх продажу у вигляді металобрухту;

– в деяких випадках застосовують піроліз (високотемпературний процес, що передбачає розкладання органічних сполук на більш прості газоподібні компоненти внаслідок нестачі кисню) або спалювання горючої частини [12].

Навіть при застосуванні таких технологій зберігається значна частка неутилізованих залишків, які зазвичай вже не сортують, подрібнюють і відправляють на полігони разом з твердими побутовими відходами. Отже, технології, які застосовують в Україні для переробки ВЕЕО, не є екологічно безпечними.

На сьогоднішній день в Україні працює 13 підприємств (рис. 8), де переробляють не більше ніж 2 % електронних відходів, тобто приблизно 10 тис. тон на рік [21, 32].

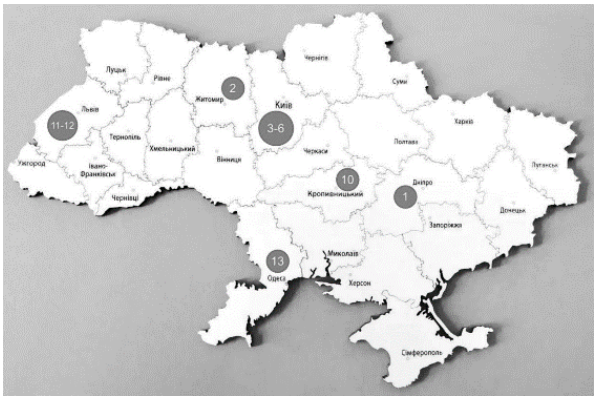


Рис. 8. Підприємства України, де переробляють ВЕЕО:
1 – ТОВ «Метал», м. Дніпро; 2 – ТОВ «АБМ Рециклінг», с. Оліївка, Житомирська обл.;
3 – ТОВ «УтільВторПром», м. Київ; 4 – ТОВ «Центр управління відходами», м. Київ;
5 – ТОВ «Утилізатор», м. Київ; 6 – ПП «Промо сервіс», м. Київ; 7 – ТОВ «ДСЛ-2010», м. Київ;
8 – МПП «Рада», м. Ірпінь, Київська обл; 9 – ТОВ «Катамет», м. Фастів, Київська обл.;
10 – ТОВ «ЕКОВДМ», м. Кропивницький; 11 – ДП «Аргентум», м. Львів; 12 – ДП «Боднарівка», м. Львів; 13 – ТОВ «НВК «УкрЕкоПром», м. Одеса

На цих підприємствах утилізують та переробляють побутові та промислові електронні відходи (комп'ютери, телевізори, ноутбуки, мобільні та стаціонарні телефони, планшети, батарейки, акумулятори, радіодеталі, джерела живлення, ртутьвмісні відходи тощо), вилучають з відходів кольорові та дорогоцінні метали, та виготовляють нову продукцію.

Пропозиції щодо вирішення проблеми поводження з електронними відходами в Україні. Впровадження системи поводження з ВЕЕО має здійснюватися в двох напрямках:

– забезпечення вилучення та утилізації непридатної до використання побутової техніки або іншого обладнання від населення;

– вилучення відпрацьованої техніки у підприємств, організацій та установ.

Зараз в Україні відсутня система, яка б на державному рівні забезпечувала приймання електронного обладнання від населення та підприємств, проводяться лише окремі акції.

Рекомендовано вжити таких заходів, щоб врегулювати питання поводження з електронними відходами в Україні:

1) розробляти електронні пристрої та обладнання з тривалішим терміном служби;

2) запускати програми зворотного викупу пристроїв;

3) розвивати систему ремонтів електронного обладнання;

4) інформувати населення про важливість правильної утилізації ВЕЕО;

5) організувати роздільне збирання та сортування сміття;

6) створити більше пунктів прийому електронних відходів різних видів, встановити спеціальні контейнери з позначенням місць їхнього розташування на інтерактивних картах;

7) забезпечити транспортування та вивезення ВЕЕО, закупити спеціальний транспорт для цього;

8) покращувати продуктивність переробки;

9) забезпечити видобування цінних промислових і дорогоцінних металів з електроніки;

10) побудувати нові підприємства з утилізації ВЕЕО в містах, де таких підприємств ще немає, або модернізувати існуючі.

Висновки.

1. У результаті аналізу накопичення електронних відходів у світі та в Україні виявлено, що кожного року у світі утворюється близько 65 млн т відходів електроніки, з яких тільки 17 % переробляють. За наближеними даними в Україні кожного року утворюється 500 тис. т електронних відходів, та 14,3 кг на душу населення.

2. Проаналізовано основні документи, що регулюють питання поводження з електронними відходами у Європейському Союзі та в Україні.

3. Проаналізовано методи збирання, утилізації, переробки та знешкодження електронних відходів в Україні та світі. Виявлені пункти збирання електронних відходів, відпрацьованих батарейок та ртутьвмісних відходів в Україні та місті Харкові зокрема. На сьогоднішній день в Україні працює 13 підприємств, де переробляють не більше ніж 2 % електронних відходів, тобто приблизно 10 тис. тон на рік. У результаті виявлено, що в Україні відсутня система, яка б на державному рівні забезпечувала приймання електронного обладнання від населення та підприємств.

4. Надано основні пропозиції щодо вирішення проблеми електронних відходів в Україні.

Список використаних джерел

1. Сучасний стан політики поводження з електронними відходами в Україні та Європейському Союзі: кроки до зближення. URL: https://www.irf.ua/files/ukr/programs/euro/survey_final.pdf.

2. Хомяков В.І., Коробченко Н.М. Менеджмент електронних відходів. Закордонний досвід. Збірник наукових праць ЧДТУ. Серія економічні науки. 2009. 24. Ч. 1. С. 327–331. URL: https://core.ac.uk/download/pdf/32613485.pdf.

3. Brett H. Robinson, E-waste: An assessment of global production and environmental impacts. Science of the Total Environment 408. 2009. 183–191. URL: https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0048969709009073.

4. Шуміло О. М., Виговська Г. П., Цигульова О. М. та ін. Вирішення проблеми електронних відходів: європейські підходи до української проблеми. Київ. ФОП «Клименко». 2013. 88 с.

5. Главацька Л.Ю., Іщенко В.А. Аналіз складу компонентів електронних та електричних відходів. Вісник Вінницького політехнічного інституту. 2021. № 1. С. 42–48.

6. Salhofer S., and Tesar M., Assessment of removal of components containing hazardous substances from small WEEE in Austria. Journal of hazardous materials. 2011. 186 (2-3). pp. 1481–1488. DOI: 10.1016/j.jhazmat.2010.12.030.

7. Bruna Alves. Global e-waste - statistics & facts. May 6, 2024. URL: https://www.statista.com/topics/3409/electronic-waste-worldwide/#topicOverview.

8. Dimitrakakis E., Janz A., Bilitewski B., and Gidarakos E. Determination of heavy metals and halogens in plastics from electric and electronic waste, Waste Management. 2009. № 29 (10). pp. 2700–2706. DOI: 10.1016/j.wasman.2009.05.020.

9. Torretta V., Ragazzi M., Istrate I.A., Rada E.C. Management of waste electrical and electronic equipment in two EU countries: A comparison. Waste Manag. 2013. 33(1). pp. 117-122. https://doi.org/10.1016/j.wasman.2012.07.029.

10. Duan H., Hu J., Tan Q., Liu L., Wang Y., and Li J. Systematic characterization of generation and management of e-waste in China. Environmental Science and Pollution Research. 2016.
№ 23(2). pp. 1929–1943. DOI: 10.1007/s11356-015-5428-0.

11. Кідалов С.О. Визначення правової класифікації відходів електричного та електронного обладнання в Європейському Союзі: досвід для України. Молодий вчений. 2019. № 11 (75). С. 322–325.

12. Філатов Л.Г., Сидоренко С.В., Кононенко О.С. Поводження з електронними відходами в Україні: аналіз проблеми та шляхи вирішення. Вісник національного технічного університету «ХПІ». 2012. № 34. С. 124–130. URL: https://core.ac.uk/reader/50579330.

13. Hong H. S., and Choi A. R. Quantitative characterization of recyclable resources dismantled from waste liquid crystal display products. Journal of Material Cycles and Waste Management. 2018. № 20(4), pp. 2054–2061. DOI: 10.1007/s10163-018-0758-x.

14. Musson S.E., Vann K.N., Jang Y.C., Mutha S., Jordan A., Pearson B., and Townsend T.G. RCRA toxicity characterization of discarded electronic devices. Environmental science & technology. 2006. № 40(8), pp. 2721–2726. DOI: 10.1021/es051557n.

15. Morf L.S., Tremp J., Gloor R., Schuppisser F., Stengele M., and Taverna R., Metals, non-metals and PCB in electrical and elec-tronic waste – Actual levels in Switzerland. Waste Management. 2007. № 27(10). pp. 1306–1316. DOI: 10.1016/j.wasman.2006.06.014.

16. Mattson K.R., Lauritsen L.L. and Pettersen J.B. Electronic Waste Treatment Flows in Norway: Investigating recycling rates and embodied emissions. DOI: 10.31025/2611-4135/2023.18331.

17. Oguchi M., Sakanakura H., and Terazono A. Toxic metals in WEEE: Characterization and substance flow analysis in waste treatment processes. Science of the total environment. 2013. 463. pp. 1124–1132. https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2012.07.078.

18. Chancerel P., and Rotter S. Recycling-oriented characterization of small waste electrical and electronic equipment. Waste management. 2009. № 29(8). pp. 2336–2352. DOI: 10.1016/j.wasman.2009.04.003.

19. Електронні відходи: глобальний виклик для людства і планети. URL: https://mepr.gov.ua/elektronni-vidhody-globalnyj-vyklyk-dlya-lyudstva-i-planety/#:~:text.

20. Which country produces the most e-waste? URL: https://www.sustainabilitymatters.net.au/content/sustainability/news/which-country-produces-the-most-e-waste--1133596634

21. Чому сотні тисяч тонн електронних відходів в Україні розкладаються на полігонах, а не проходять рециклінг? URL: https://www.dsnews.ua/ukr/blog/chomu-sotni-tisyach-tonn-elektronnih-vidhodiv-v-ukrajini-rozkladayutsya-na-poligonah-a-ne-prohodyat-recikling-07102021-439129.

22. E-waste generated per capita. URL: https://goingdigital.oecd.org/indicator/53.

23. Директива Європейського парламенту і ради 2008/98/ЄС від 19 листопада 2008 року про відходи та про скасування деяких директив. URL: https://www.kmu.gov.ua/storage/app/sites/1/55-GOEEI/2008-98-ec.pdf.

24. European Critical Raw Materials Act. URL: https://single-market-economy.ec.europa.eu/publications/european-critical-raw-materials-act_en.

25. Elektroschrott in Deutschland – alles, was Sie wissen sollten. URL: https://www.donnerberg.net/de-fr/blogs/alle-beitrage/elektroschrott-in-deutschland-alles-was-sie-wissen-sollten.

26. Національний план дій з охорони навколишнього природного середовища на період до 2025 року. Затв. розпорядженням Кабінету Міністрів України від 21 квітня 2021 р. № 443-р. URL: https://ips.ligazakon.net/document/KR210443?an=11.

27. Про відходи : Закон України від 5 березня 1998 р. № 187/98-ВР (зі змінами). – URL: http://zakon3.rada.gov.ua/laws/show/187/98-%D0%B2%D1%80/page.

28. Національна мапа пунктів прийому вторсировини. URL: https://recyclingpoints.org/.

29. Куди здати батарейки в Україні. URL: https://batareiky.ua/.

30. Куди здати ртутні лампи, термометри та електронні сигарети в Україні. URL: https://batareiky.ua/post/other-hazardous-waste.

31. Нам не до лампочки! Біля ХПІ встановили контейнер для збирання небезпечних відходів. URL: https://www.kpi.kharkov.ua/ukr/2023/11/11/nam-ne-do-lampochky-bilya-hpi-vstanovyly-kontejner-dlya-zbyrannya-nebezpechnyh-vidhodiv/.

32. Реєстр ліцензіатів з управління небезпечними відходами. URL: https://eco.gov.ua/reiestr-litsenziativ-z-upravlinnia-nebezpechnymy-vidkhodamy.

Doctor of Technical Sciences, Professor, **Lynnyk Iryna, Sabaeva Polina,**
O.M. Beketov National University of Municipal Economy in Kharkiv

ENROLLMENT WITH ELECTRONIC EXITS IN UKRAINE AND THE COUNTRY

The problem of waste electronic and electrical equipment and spent power cells has recently become one of the main environmental problems in the whole world and requires a quick and effective solution. Accumulation of waste at all stages of production and processing of resources is closely related to human activity. The widespread use of electrical and electronic equipment not only significantly improves people's quality of life, but also leads to negative consequences for the environment and public health. This is due to inefficient e-waste management. The accumulation of electronic waste in the world and in Ukraine was analyzed and it was found that about 65 million tons of electronic waste is generated in the world every year, of which only 17 % is recycled. According to approximate data, 500 000 tons of electronic waste is generated in Ukraine every year, and 14,3 kg per capita. The main documents regulating the management of e-waste in the European Union and Ukraine were analyzed. The methods of collection, utilization, processing and disposal of electronic waste in Ukraine and the world were analyzed. Collection points for electronic waste, spent batteries and mercury-containing waste have been identified in Ukraine and the city of Kharkiv in particular. It was found that there are 13 enterprises operating in Ukraine that recycle and recycle household and industrial electronic waste (computers, TVs, laptops, mobile and landline phones, tablets, batteries, accumulators, radio components, power sources, mercury-containing waste, etc.), are removed from waste non-ferrous and precious metals, and manufacture new

products. At the same time, it should be noted that these enterprises process no more than 2 % of electronic waste, that is, approximately 10 000 tons per year. As a result, it was found that there is no system in Ukraine that would ensure the acceptance of electronic equipment from the population and enterprises at the state level. The main proposals for solving the problem of electronic waste in Ukraine are provided.

Keywords: e-waste; accumulation of e-waste; collection of e-waste; processing and disposal of e-waste.

REFERENCES

1. The current state of e-waste management policy in Ukraine and the European Union: steps towards rapprochement. Retrieved from: https://www.irf.ua/files/ukr/programs/euro/survey_final.pdf. {in Ukrainian}.

2. Khomyakov, V.I., Korobchenko, N.M. (2009). Electronic waste management. Foreign experience. A collection of scientific papers of ChDTU. Series of economic sciences. 24. Part 1. 327–331. Retrieved from: https://core.ac.uk/download/pdf/32613485.pdf. {in Ukrainian}.

3. Brett, H. Robinson. (2009). E-waste: An assessment of global production and environmental impacts. Science of the Total Environment 408. 183–191. Retrieved from: https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0048969709009073. {in English}.

4. Shumilo, O.M., Vygovska, G.P., Tsygulova, O.M. and others. (2013). Solving the problem of electronic waste: European approaches to the Ukrainian problem. Kyiv. FOP «Klymenko». 88 p. {in Ukrainian}.

5. Hlavatska, L.Yu., Ishchenko, V.A. (2021). Analysis of the composition of electronic and electrical waste components. Bulletin of the Vinnytsia Polytechnic Institute. 1. 42–48. {in Ukrainian}.

6. Salhofer, S., and Tesar, M. (2011). Assessment of removal of components containing hazardous substances from small WEEE in Austria. Journal of hazardous materials. 186 (2-3). 1481–1488. DOI: 10.1016/j.jhazmat.2010.12.030. {in English}.

7. Bruna, Alves. Global e-waste - statistics & facts. May 6, 2024. Retrieved from: https://www.statista.com/topics/3409/electronic-waste-worldwide/#topicOverview. {in English}.

8. Dimitrakakis, E., Janz, A., Bilitewski, B., and Gidarakos, E. (2009). Determination of heavy metals and halogens in plastics from electrical and electronic waste, Waste Management. 29 (10). 2700–2706. DOI: 10.1016/j.wasman.2009.05.020. {in English}.

9. Torretta, V., Ragazzi, M., Istrate, I.A., Rada, E.C. (2013). Management of waste electrical and electronic equipment in two EU countries: A comparison. Waste Manag. 33(1). 117-122. https://doi.org/10.1016/j.wasman.2012.07.029. {in English}.

10. Duan, H., Hu, J., Tan, Q., Liu, L., Wang, Y., and Li, J. (2016). Systematic characterization of generation and management of e-waste in China. Environmental Science and Pollution Research. 23(2). 1929–1943. DOI: 10.1007/s11356-015-5428-0. {in English}.

11. Kidalov, S.O. (2019). Determination of the legal classification of waste electrical and electronic equipment in the European Union: experience for Ukraine. A young scientist. 11 (75). 322–325. {in Ukrainian}.

12. Filatov, L.G., Sydorenko, S.V., Kononenko, O.S. (2012). Management of electronic waste in Ukraine: analysis of the problem and solutions. Bulletin of the KhPI National Technical University. 34. 124–130. Retrieved from: https://core.ac.uk/reader/50579330. {in Ukrainian}.

13. Hong, H.S., and Choi, A.R. (2018). Quantitative characterization of recyclable resources dismantled from waste liquid crystal display products. Journal of Material Cycles and Waste Management. 20(4). 2054–2061. DOI: 10.1007/s10163-018-0758-x. {in English}.

14. Musson, S.E., Vann, K.N., Jang, Y.C., Mutha, S., Jordan, A., Pearson, B., and Townsend, T.G. (2006). RCRA toxicity characterization of discarded electronic devices. Environmental science & technology. 40(8). 2721–2726. DOI: 10.1021/es051557n. {in English}.

15. Morf, L.S., Tremp, J., Gloor, R., Schuppisser, F., Stengele, M., and Taverna, R. (2007). Metals, non-metals and PCBs in electrical and electronic waste – Actual levels in Switzerland. Waste Management. 27(10). 1306–1316. DOI: 10.1016/j.wasman.2006.06.014. {in English}.

16. Mattson, K.R., Lauritsen, L.L. and Pettersen, J.B. (2023). Electronic Waste Treatment Flows in Norway: Investigating recycling rates and embodied emissions. DOI: 10.31025/2611-4135/2023.18331. {in English}.

17. Oguchi, M., Sakanakura, H., and Terazono, A. (2013). Toxic metals in WEEE: Characterization and substance flow analysis in waste treatment processes. Science of the total environment. 463. 1124–1132. https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2012.07.078. {in English}.

18. Chancerel, P., and Rotter, S. (2009). Recycling-oriented characterization of small waste electrical and electronic equipment. Waste management. 29(8). 2336–2352. DOI: 10.1016/j.wasman.2009.04.003. {in English}.

19. Electronic waste: a global challenge for humanity and the planet. Retrieved from: https://mepr.gov.ua/elektronni-vidhody-globalnyj-vyklyk-dlya-lyudstva-i-planety/#:~:text. {in Ukrainian}.

20. Which country produces the most e-waste? Retrieved from: https://www.sustainabilitymatters.net.au/content/sustainability/news/which-country-produces-the-most-e-waste--1133596634. {in Ukrainian}.

21. Why are hundreds of thousands of tons of electronic waste in Ukraine disposed of in landfills instead of being recycled? Retrieved from: https://www.dsnews.ua/ukr/blog/chomu-sotni-tisyach-tonn-elektronnih-vidhodiv-v-ukrajini-rozkladayutsya-na-poligonah-a-ne-prohodyat-rekikling-07102021-439129. {in Ukrainian}.

22. E-waste generated per capita. Retrieved from: https://goingdigital.oecd.org/indicator/53. {in Ukrainian}.

23. Directive 2008/98/EC of the European Parliament and the Council of November 19, 2008 on waste and repealing certain directives. Retrieved from: https://www.kmu.gov.ua/storage/app/sites/1/55-GOEEI/2008-98-ec.pdf. {in Ukrainian}.

24. European Critical Raw Materials Act. Retrieved from: https://single-market-economy.ec.europa.eu/publications/european-critical-raw-materials-act_en. {in English}.

25. Elektroschrott in Deutschland – alles, was Sie wissen sollten. Retrieved from: https://www.donnerberg.net/de-fr/blogs/alle-beitrage/elektroschrott-in-deutschland-alles-was-sie-wissen-sollten. {in German}.

26. National action plan for environmental protection for the period until 2025. (2021). Approval by order of the Cabinet of Ministers of Ukraine dated April 21, 2021. 443. Retrieved from: https://ips.ligazakon.net/document/KR210443?an=11. {in Ukrainian}.

27. On waste: Law of Ukraine dated March 5, 1998. № 187/98-VR (as amended). – Retrieved from: http://zakon3.rada.gov.ua/laws/show/187/98-%D0%B2%D1%80/page. {in Ukrainian}.

28. National map of recycling points. Retrieved from: https://recyclingpoints.org/. {in Ukrainian}.

29. Where to hand in batteries in Ukraine. Retrieved from: https://batareiky.ua/. {in Ukrainian}.

30. Where to hand in mercury lamps, thermometers and electronic cigarettes in Ukraine. Retrieved from: https://batareiky.ua/post/other-hazardous-waste. {in Ukrainian}.

31. We don't like light bulbs! A container for collecting hazardous waste was installed near KhPI. Retrieved from: https://www.kpi.kharkov.ua/ukr/2023/11/11/nam-ne-do-lampochky-bilya-hpi-vstanovyly-kontejner-dlya-zbyrannya-nebezpechnyh-vidhodiv/. {in Ukrainian}.

32. Register of hazardous waste management licensees. Retrieved from: https://eco.gov.ua/reiestr-litsenziativ-z-upravlinnia-nebezpechnymy-vidkhodamy. {in Ukrainian}.

DOI: 10.32347/2786-7269.2025.11.435-455
УДК 69.003.2:658.5

к.т.н., доцент **Малихін М.О.,**
malykhin.mo@knuba.edu.ua, ORCID: 0000-0002-9721-2733,
Київський національний університет будівництва і архітектури

ФОРМУВАННЯ НОВІТНЬОЇ СИСТЕМИ ІНТЕГРОВАНОЇ ЦИФРОВОЇ ПІДГОТОВКИ БУДІВНИЦТВА

Формування новітньої системи інтегрованої цифрової підготовки будівництва є ключовим кроком до вдосконалення управлінських і виробничих процесів у будівельній галузі. Сучасний етап розвитку технологій вимагає використання інтегрованих цифрових рішень, які здатні підвищити ефективність будівництва, знизити витрати, мінімізувати ризики та покращити контроль якості на всіх етапах життєвого циклу проєкту.

Інтегрована цифрова підготовка будівництва передбачає об'єднання всіх елементів будівельного процесу в єдину цифрову екосистему, яка охоплює планування, проєктування, виробництво та контроль. Ця система базується на використанні сучасних інформаційних технологій, таких як будівельне інформаційне моделювання (BIM), хмарні технології, інтернет речей (IoT) та штучний інтелект (AI). Вони дозволяють забезпечити точність даних, покращити комунікацію між учасниками проєкту та створити умови для автоматизації ключових процесів.

Основними перевагами новітньої системи є підвищення продуктивності, скорочення термінів виконання проєктів, покращення якості робіт та забезпечення їхньої відповідності нормативним вимогам. Інтеграція різних цифрових інструментів дозволяє уникнути дублювання інформації, зменшити кількість помилок, що виникають через людський фактор, та забезпечити оперативний доступ до актуальних даних для прийняття рішень на всіх рівнях управління.

Системи цифрової підготовки дозволяють проводити моделювання різних сценаріїв розвитку подій, аналізувати ризики, прогнозувати витрати та оптимізувати використання ресурсів. Вони сприяють більш точному плануванню та контролю за виконанням робіт, що є надзвичайно важливим для великих інфраструктурних проєктів, де навіть невеликі затримки можуть призвести до значних втрат.

Окрім цього, цифрова трансформація будівельної галузі сприяє формуванню єдиної інформаційної платформи, яка об'єднує всіх стейкхолдерів, спрощує управління документацією та забезпечує прозорість у реалізації проєктів. Впровадження сучасних цифрових рішень також сприяє підвищенню

екологічної відповідальності будівельної галузі, оскільки дозволяє зменшити витрати матеріалів, енергоресурсів і мінімізувати негативний вплив на навколишнє середовище. Таким чином, новітня система інтегрованої цифрової підготовки будівництва є потужним інструментом, що дозволяє не лише підвищити ефективність управління будівельними процесами, а й адаптувати галузь до вимог цифрової економіки, сприяючи її сталому розвитку.

Ключові слова: Інтегрована система; цифрова підготовка; будівельне інформаційне моделювання; BIM; інтернет речей; автоматизація; управління будівництвом; хмарні технології.

Постановка проблеми. Сучасні технології, такі як будівельне інформаційне моделювання (BIM), інтернет речей (IoT), штучний інтелект, хмарні обчислення та автоматизація процесів, значно впливають на етапи проектування, підготовки і реалізації будівництва. Тому дослідження спрямоване на вивчення шляхів створення комплексної системи, яка забезпечить ефективну інтеграцію цих технологій для досягнення нових стандартів продуктивності, точності та економічної ефективності.

Проблематика дослідження полягає в тому, що більшість будівельних компаній та організацій часто застосовують окремі цифрові інструменти, які функціонують автономно. Це створює труднощі в синхронізації інформації, підвищує ризики помилок у плануванні і реалізації проектів, а також ускладнює прийняття обґрунтованих управлінських рішень. Таким чином, постає необхідність розробки інтегрованої системи, яка дозволить об'єднати всі етапи підготовки будівництва, включно з проектуванням, фінансуванням, управлінням ресурсами та виконанням робіт, в єдине цифрове середовище.

Мета статті. Головна ціль роботи - визначення оптимальних підходів до формування новітньої системи інтегрованої цифрової підготовки будівництва. Ставляться завдання: дослідити існуючі технологічні рішення та системи, виявити їхні переваги та недоліки, проаналізувати можливості інтеграції цих рішень в єдину платформу, а також оцінити вплив такої інтеграції на загальну ефективність будівельних процесів.

Об'єктом дослідження є процеси цифрової підготовки та управління будівництвом, які включають всі етапи життєвого циклу будівельного проекту – від концептуального планування до введення об'єкта в експлуатацію. Предметом є технологічні інструменти і методи, що використовуються для інтеграції цих процесів в єдину систему.

Інноваційність полягає в комплексному підході до створення інтегрованої цифрової системи підготовки будівництва, яка сприяє мінімізації ризиків,

підвищенню продуктивності та покращенню взаємодії між учасниками будівельного процесу.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Аналіз сучасних досліджень і публікацій з питань формування новітньої системи інтегрованої цифрової підготовки будівництва свідчить про зростаючий інтерес до впровадження цифрових технологій у всі етапи реалізації будівельних проєктів. У численних роботах розглядаються можливості інтеграції технологій BIM (Building Information Modeling) як базового елемента цифровізації, що забезпечує ефективність проєктування, будівництва та експлуатації об’єктів.

Дослідники також акцентують увагу на автоматизації управлінських процесів, яка досягається завдяки використанню платформ управління даними, штучного інтелекту та технологій аналізу великих даних. Значна кількість публікацій підкреслює важливість формування єдиного інформаційного середовища, яке сприяє координації між усіма учасниками будівельного процесу: замовниками, підрядниками, проєктувальниками та іншими стейкхолдерами.

Окремо розглядаються аспекти підвищення кваліфікації фахівців у сфері будівництва, зокрема через впровадження інтерактивних навчальних платформ, симуляційних програм і віртуальної реальності, що дозволяє адаптувати робочі процеси до сучасних технологічних вимог. Увага приділяється і питанням регулювання нормативної бази для підтримки цифровізації галузі. Таким чином, дослідження демонструють, що формування системи інтегрованої цифрової підготовки будівництва є комплексним завданням, яке потребує поєднання інноваційних технологій, новітніх управлінських підходів і розвитку професійних компетенцій.

Виклад основного матеріалу. Сучасний етап розвитку будівельної галузі характеризується стрімким зростанням вимог до якості, швидкості та економічної ефективності реалізації будівельних проєктів. У цьому контексті цифровізація будівельного процесу стає одним із ключових факторів підвищення конкурентоспроможності та інноваційного розвитку галузі. Діджиталізація дозволяє підвищити точність планування, оптимізувати ресурси, а також мінімізувати можливі помилки та ризики, пов'язані з процесом будівництва.

Формування новітньої системи інтегрованої цифрової підготовки будівництва є важливим кроком на шляху до створення ефективної та прозорої системи управління будівельними проєктами. Ця система сприяє більш ефективній координації роботи всіх учасників будівельного процесу – від архітекторів та інженерів до підрядників та замовників. Інтеграція цифрових

інструментів та технологій дозволяє значно скоротити часові та фінансові витрати, а також підвищити якість реалізації проєктів.

Зокрема, актуальність цієї теми зумовлена розвитком концепції BIM (Building Information Modeling) – інформаційного моделювання будівель, яке забезпечує комплексний підхід до управління даними на всіх етапах життєвого циклу будівельного об'єкта. Впровадження BIM технологій дає можливість створювати інтегровані цифрові моделі об’єктів, які містять в собі всю необхідну інформацію про проєктування, будівництво та експлуатацію об'єкта. Це дозволяє всім учасникам процесу будівництва працювати з однією актуальною та єдиною версією проєкту, що сприяє зменшенню помилок та підвищенню ефективності процесу будівництва.

У підсумку, необхідність формування новітньої системи інтегрованої цифрової підготовки будівництва зумовлена сучасними вимогами до якості, ефективності та швидкості реалізації будівельних проєктів. Впровадження цифрових технологій та інструментів у процес підготовки будівництва дозволяє оптимізувати роботу, зменшити витрати та підвищити загальну ефективність галузі.

Новітня система інтегрованої цифрової підготовки будівництва базується на використанні сучасних технологій, які забезпечують злагоджене та ефективне управління будівельними проєктами. Основні компоненти цієї системи включають [1]:

1. Інформаційне моделювання будівель (BIM) – ключова технологія, що забезпечує створення та управління цифровою моделлю будівельного об'єкта. BIM дозволяє інтегрувати всі аспекти будівельного проєкту – архітектурні, інженерні, фінансові, експлуатаційні – в єдину цифрову платформу. Це дозволяє координувати дії всіх учасників проєкту, скоротити кількість помилок і підвищити ефективність будівельного процесу.

2. Проєктні системи управління – це засоби, призначені для організації, моніторингу та ефективного використання ресурсів в рамках проєктів. Вони дозволяють здійснювати моніторинг виконання робіт, розподіляти завдання між учасниками команди, контролювати дотримання термінів та бюджетів. Інтеграція таких систем із BIM-моделлю дозволяє здійснювати більш точне планування та контроль за виконанням будівельних робіт.

3. Хмарні технології забезпечують можливість зберігання та переданням інформацією в реальному часі між усіма сторонами, залученими до будівельного етапу. Це дозволяє забезпечити доступ до актуальної інформації про проєкт незалежно від місця розташування та сприяє підвищенню ефективності комунікації та координації дій між різними учасниками проєкту.

4. Доповнена та віртуальна реальність (AR/VR) – технології, що дозволяють візуалізувати будівельні об'єкти та процеси, створюючи можливість для перевірки та внесення змін у проєкт ще до початку будівництва. Це дає змогу уникнути потенційних проблем і покращує розуміння проєкту всіма учасниками.

5. Системи автоматизованого контролю якості та безпеки – дозволяють здійснювати моніторинг якості будівельних робіт та дотримання вимог безпеки в режимі реального часу. Завдяки використанню датчиків, дронів та інших технологічних рішень, можливо своєчасно виявляти та усувати недоліки, що сприяє підвищенню якості та безпеки будівництва.

Принципи функціонування новітньої системи інтегрованої цифрової підготовки будівництва базуються на таких основних засадах:

- Цілісність: інтеграція всіх елементів та учасників будівельного процесу в єдину цифрову платформу, що забезпечує безперервний обмін інформацією та ефективну координацію дій.

- Прозорість: доступність інформації про всі аспекти будівельного проєкту для всіх зацікавлених сторін, що сприяє покращенню комунікації та прийняття рішень.

- Гнучкість та адаптивність: можливість швидкої адаптації системи до змін у проєкті, що дозволяє оперативно реагувати на виникаючі проблеми та виклики.

- Орієнтованість на інновації: постійне впровадження нових технологій та методів для підвищення ефективності будівельного процесу.

Впровадження цих компонентів та принципів дозволяє сформувати ефективну систему цифрової підготовки будівництва, яка здатна забезпечити високу якість, економічність та оперативність реалізації будівельних проєктів у сучасних умовах.

Організаційна підготовка передусім охоплює розробку графіків виконання технологічних етапів робіт. Процес включає в себе ряд взаємопов'язаних завдань, виконання яких сприяє завершенню конструктивних елементів і завершує кожну стадію технічного циклу в загальному технічному процесі створення об'єктів, будівель і споруд. Він також забезпечує якнайшвидше відкриття робочого фронту відповідної організації [2].

Комплексна організаційна підготовка зосередженого будівництва здійснюється в три етапи, які представлені на рис. 1.

Перший етап організаційної підготовки будівельних об'єктів та комплексів є критично важливим для забезпечення успішної реалізації проекту. Він охоплює кілька ключових завдань.

По-перше, передпроєктна підготовка будівництва включає в себе вивчення умов будівництва, технічних вимог та нормативів, а також оцінку потенційних ризиків і можливих перешкод. Це дозволяє зрозуміти, які ресурси та технології необхідні для успішного завершення проекту. На цьому етапі важливо також здійснити аналіз ринку, щоб зрозуміти кон’юнктуру та потенційних конкурентів [3].

По-друге, своєчасне і якісне приймання та перевірка проєктно-технічної документації є невід'ємною частиною цього етапу. Важливо не лише перевірити відповідність документації сучасним стандартам, але й провести детальний аналіз її надійності та технічної доцільності. Це включає в себе перевірку архітектурних, конструктивних, інженерних рішень і підтвердження їх відповідності вимогам замовника та чинним нормам.

Третім важливим етапом є складання паспорта об'єкта, який містить всю необхідну інформацію про проект, його характеристики, етапи виконання, а також дані про підрядників і постачальників. Цей документ слугує базою для подальшої роботи і контролю.

Крім того, на цьому етапі проводиться розробка проєкту організації будівництва (ПОБ), який містить детальний план реалізації проекту, розподіл ресурсів, розклад виконання робіт та інші важливі аспекти, такі як охорона праці, охорона навколишнього середовища та план заходів у разі виникнення надзвичайних ситуацій.

Другий етап охоплює організаційну підготовку виробництва на планований рік. Він є важливим для забезпечення своєчасного виконання проекту та включає кілька завдань.

Одним з перших завдань є опрацювання протоколів-замовлень від клієнтів, внутрішньобудівельних титульних списків і пускових комплексів. Це дозволяє формувати чітке уявлення про обсяги робіт, які потрібно виконати, а також про терміни їх виконання. Дана інформація є основою для подальшого планування [4].

Далі, необхідно забезпечити відповідність плану будівельно-монтажних робіт виділеним фінансовим ресурсам. Це означає, що потрібно не лише створити план, але й контролювати його виконання, забезпечуючи раціональне використання коштів. Цей аспект також включає в себе контроль за дотриманням бюджетних витрат і своєчасним фінансуванням.

Також важливим етапом є розробка проєктів планів та планів будівельних і монтажних робіт для учасників та об'єктів. Це передбачає підготовку протоколів погодження обсягів робіт із субпідрядними організаціями, складання графіків виконання технологічних етапів і підетапів для окремих

об'єктів і виконавців, а також зведеного графіка. Таке планування дозволяє забезпечити ефективну координацію між усіма учасниками проекту.

Не менш важливим завданням є розрахунок фінансових ресурсів на рік. Це передбачає створення фінансової моделі, яка допомагає передбачити можливі витрати, джерела фінансування та доходи. Правильне фінансування є запорукою успішного виконання всіх запланованих робіт і реалізації проекту в цілому.

Третій етап полягає в оперативному плануванні виробництва. На цьому етапі важливо адаптувати план до реальних умов виконання робіт, що можуть змінюватись внаслідок різних факторів, таких як зміна погоди, затримки з постачанням матеріалів або зміни в графіку роботи підрядників. Оперативне планування передбачає регулярний моніторинг прогресу виконання робіт, аналіз відхилень від графіку та своєчасне коригування плану дій. Це дозволяє швидко реагувати на виникаючі проблеми і забезпечувати дотримання термінів.

Таким чином, послідовність цих етапів є критично важливою для успішної реалізації будівельних проектів. Від якісної організаційної підготовки до оперативного планування залежить не лише успіх конкретного проекту, але й загальна ефективність будівельної компанії в умовах сучасного ринку.

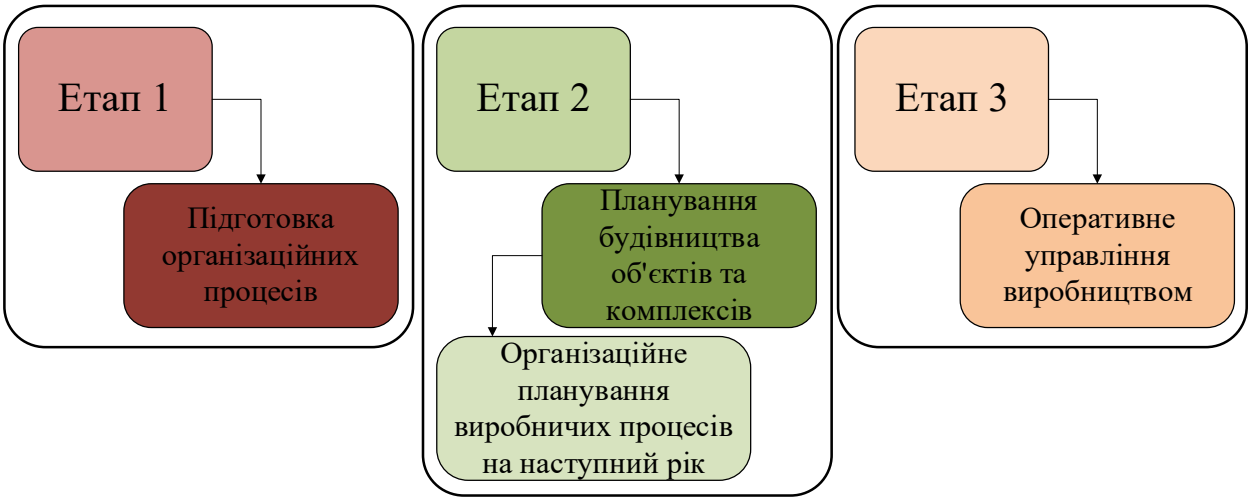


Рис. 1. Етапи комплексної організаційної підготовки для реалізації зосередженого будівництва в певній послідовності *(розроблено автором на основі [5])*

На етапі передпроєктної підготовки замовник має забезпечити впровадження в проєкти найбільш прогресивних організаційно-технологічних рішень, які сприятимуть зниженню трудомісткості та матеріаломісткості будівництва. Для цього обов’язковою є участь представників будівельних організацій у процесі вибору ділянок для будівництва та погодження завдань на проєктування всіх житлово-цивільних об'єктів. Вони також мають бути залучені до планування проєктних рішень при реконструкції, модернізації

чинних підприємств, розміщенні нових виробництв, а також надавати висновки щодо ключових аспектів будівельного проєктування підприємств і споруд.

Нормативно-технологічна документація (НТД), яка створюється в рамках комплексної організаційної підготовки виробництва, повинна узгоджуватися з керівництвом будівельної організації, що здійснюватиме спорудження об’єкта, та управлінням виробничо-технологічного комплектування [6]. Затверджена НТД стає єдиним нормативним документом для планування та організації будівельних робіт і виробничо-технологічної комплектації в процесі комплексної організаційної підготовки виробництва. Для великих і складних об'єктів ця документація розглядається й затверджується спеціальною технічною радою.

Для реалізації повного спектру робіт з організаційної підготовки будівництва можуть бути створені спеціалізовані постійно діючі підрозділи — відділи комплексної організаційної підготовки виробництва (КОПВ). До складу таких відділів входять інженерно-технічні працівники з різних підрозділів, зокрема відділів головного технолога, технічного, виробничого, кошторисно-договірного, планового, відділу з обробки заробітної плати, нормативно-дослідницької станції (НДС), групи розробки проектів виконання робіт (ППР), проектно-кошторисних груп (ПКГ), а також проектно-кошторисних бюро (ПКБ), разом із будівельними управліннями. Розподіл функцій між інженерно-технічними працівниками цих підрозділів здійснюється залежно від їхньої спеціалізації [7].

Системний підхід до організації будівельного процесу повинен враховувати всі основні окремі специфічні критерії, які пропонується об'єднати в єдиний інтегрований показник. Оцінка будівництва за одним параметром не спрощує процес і не дозволяє провести комплексну оцінку організації, а також не дозволяє встановити зв'язок з ефективністю використання трудових або матеріально-технічних ресурсів. Тільки після оцінки різних факторів і вибору найбільш прийнятного варіанту можна прийняти рішення, яке відповідає вимогам.

При розробці організації будівництва враховується безліч індивідуальних і приватних (диференційованих) критеріїв, а також їх системи. Основні індивідуальні критерії організації будівництва зазвичай включають тривалість будівельних робіт, собівартість одиниці продукції, трудомісткість виготовлення одиниці продукції, рівень стандартизації будівельних процесів та інші. Ці критерії визначаються відповідно до нормативних документів, вимог замовника, проєкту організації будівництва (ПОБ) і проєкту виконання робіт (ППР) або обчислюються за допомогою розрахунків [8].

Однією з формул, що дозволяє об'єднати різні критерії оцінки в один інтегральний показник (I), є:

$$I = w1 \times C1 + w2 \times C2 + w3 \times C3 + \ldots + wn \times Cn, \quad (1)$$

де: I — інтегральний показник, який оцінює загальну ефективність проекту з урахуванням різних критеріїв;

Ci— значення i-го критерію, що характеризує певний аспект організації будівництва (наприклад, собівартість, тривалість робіт, трудомісткість тощо);

wi — ваговий коефіцієнт для i-го критерію, що відображає його важливість в загальному оцінювальному показнику. Чим більший коефіцієнт, тим більше значення цього критерію для кінцевої оцінки проекту.

Ще однією важливою формулою є розрахунок собівартості одиниці продукції:

$$S = \frac{Ct + Cm + Ce}{Q}, \quad (2)$$

де: S — собівартість одиниці продукції, що показує, скільки коштує виготовлення одного виробу.

Ct — витрати на трудові ресурси, що включають зарплату працівників.

Cm— витрати на матеріали, що охоплюють всі сировинні та допоміжні матеріали, необхідні для виробництва.

Ce — інші витрати, які можуть включати накладні витрати, витрати на енергію та адміністративні витрати.

Q — загальна кількість виготовленої продукції, що дозволяє визначити собівартість одиниці продукту шляхом ділення загальних витрат на обсяги виробництва.

Останньою формулою, яка допомагає оцінити трудомісткість виготовлення одиниці продукції, є:

$$T = \frac{H}{Q}, \quad (3)$$

де: T — трудомісткість виготовлення одиниці продукції, що показує, скільки трудових годин потрібно для виготовлення одного виробу.

H — загальна кількість трудових годин, витрачених на виробництво всіх одиниць продукції.

Q — кількість виготовленої продукції, що дозволяє оцінити середню трудомісткість на одиницю виробу.

Ці формули надають важливі інструменти для оцінки та аналізу процесу організації будівництва. Використовуючи їх, управлінці можуть більш точно оцінювати ефективність проектів, виявляти проблеми та ухвалювати обґрунтовані рішення, що, в свою чергу, сприяє підвищенню продуктивності та успішності будівельних проектів.

Перелік конкретних стандартів для будівельних організацій може бути об'єднаний в інтегрований перелік і включати необмежену кількість показників. Кількість цих критеріїв визначається практичними вимогами [9]. Наприклад, до спеціальних критеріїв можна віднести своєчасність виконання робіт, суміщення різних видів робіт, безперервність використання фронту робіт, рівномірність використання, безперервність розвитку фронту робіт, оптимальне наповнення фронту робіт тощо. Це дозволяє об'єднати перераховані вище спеціальні (диференціальні) критерії в інтегровані критерії з урахуванням їх важливості в конкретних обставинах. При необхідності використання диференціальних критеріїв для коректної оцінки варіантів деякі з них можна виключити, встановивши коефіцієнт важливості відповідних критеріїв рівним нулю. Наприклад, диференціальний критерій «своєчасність виконання робіт» є одним з найважливіших показників в сучасних умовах. На початок виконання основних будівельно-монтажних робіт необхідно забезпечити організаційні заходи з підготовки будівельного виробництва, позамайданчикові підготовчі роботи та внутрішньомайданчикові підготовчі роботи. Необхідна організаційна підготовка до будівництва включає розгляд питань, пов'язаних з умовами використання існуючих транспортних та інженерних комунікацій, підприємств будівельної індустрії, об'єктів теплоенергетики тощо. Вона також включає визначення порядку використання місцевих матеріалів, визначення організацій, що беруть участь у будівництві, вирішення питання про необхідність перенесення або розширення виробничих потужностей будівельно-монтажних організацій, укладення договорів зі спеціалізованими субпідрядними організаціями на виконання окремих видів робіт. Перед початком організаційної підготовки важливо, щоб інженерно-технічний персонал ретельно вивчив проектно-вишукувальну документацію та місцеві умови будівництва [10].

До позамайданчикових підготовчих робіт належить прокладання зовнішніх автомобільних під’їзних шляхів, організація мереж зв'язку, електропостачання з трансформаторними підстанціями, будівництво водопровідних систем із водозабірними об’єктами, а також облаштування каналізаційних колекторів з очисними спорудами [11].

Список внутрішньомайданчикових підготовчих робіт є більш об’ємним та охоплює такі завдання:

- Встановлення геодезичної розмічальної основи для будівництва: Цей етап включає точну розмітку майданчика відповідно до проектної документації. Використання геодезичних інструментів, таких як теодоліти та рівні, дозволяє забезпечити правильність розташування основних елементів будівлі, таких як фундамент, стіни та інші конструкції. Важливість цього етапу полягає у зменшенні ризиків помилок у будівництві, що можуть призвести до додаткових витрат та затримок.
- Очищення території будівельного майданчика та демонтаж зайвих, не задіяних у процесі будівництва об’єктів: Цей процес передбачає видалення всіх перешкод на ділянці, таких як старі будівлі, дерева, сміття, а також небезпечні матеріали, які можуть заважати виконанню будівельних робіт. Очищення майданчика важливе для забезпечення безпеки робітників та створення належних умов для початку будівництва.
- Інженерне облаштування площадки з первинними задачами з створення ділянки під будівництва та організацією тимчасового відведення води: Цей етап включає проведення земельних робіт для вирівнювання ділянки та створення основи для подальшого будівництва. Також важливо забезпечити ефективне відведення поверхневих вод, щоб уникнути підтоплення та пошкодження конструкцій під час дощів. Тимчасові дренажні системи можуть бути встановлені для захисту ділянки.
- Перепрокладання існуючих інженерних мереж, облаштування постійних або тимчасових внутрішньомайданчикових доріг: Це включає в себе перенесення або заміну наявних водопровідних, електричних та інших інженерних мереж, які можуть заважати будівництву. Тимчасові дороги забезпечують доступ до різних частин будівельного майданчика для техніки та робітників, а також полегшують транспортування матеріалів.
- Прокладання мереж водопостачання, електропостачання, інтернету, телефонного та радіозв'язку: Для забезпечення нормальних умов роботи на будівельному майданчику необхідно прокласти всі відповідні інженерні комунікації. Це включає водопостачання для будівельних потреб, електрику для живлення обладнання, а також інтернет і телефонний зв’язок для забезпечення ефективного управління проектом.
- Створення централізованого складського комплексу та місць для збирання обладнання: Для організації зберігання будівельних матеріалів та обладнання важливо створити складські приміщення, що забезпечать зручний доступ до ресурсів. Це також включає визначення місць для зберігання різного устаткування, що дозволяє зберігати порядок на майданчику і запобігати втратам матеріалів.

- Монтаж тимчасових будівель, механізованих установок, а також зведення постійних споруд, що тимчасово використовуються для потреб будівництва: Тимчасові будівлі, такі як офіси, душові, санітарні кімнати та склади, необхідні для забезпечення комфорту робітників на майданчику. Крім того, можуть бути встановлені механізовані установки для підвищення продуктивності робіт, наприклад, крани та бетонозмішувачі.
- Забезпечення будівельного майданчика протипожежною водопровідною системою, інвентарем, засобами зв’язку та сигналізації: Безпека на будівельному майданчику є пріоритетом. Тому важливо встановити протипожежну систему, включаючи гідранти та вогнегасники, а також забезпечити наявність засобів зв’язку для оперативного зв’язку між робітниками та адміністрацією. Системи сигналізації забезпечують безпечні умови праці, попереджаючи про можливі небезпеки.

Завершення всіх підготовчих робіт є критично важливим етапом, оскільки він закладає основу для подальшого успішного виконання будівельного проекту. Якісно проведена підготовка дозволяє зменшити ризики, пов’язані з затримками та додатковими витратами, а також забезпечити безпеку робітників і ефективність використання ресурсів.

Житлові, суспільні, культурно-побутові, складські, а також виробничі приміщення, що передбачені для тимчасового використання протягом будівельного періоду, повинні бути представлені в інвентарних формах (мобільні, контейнерні або збірно-розбірні конструкції). Слід максимально залучати існуючі будівлі та об’єкти. Зведення тимчасових неінвентарних споруд дозволяється виключно за умови наявності обґрунтованих техніко-економічних показників [12].

Забезпечення будівельного процесу електричною енергією, водними ресурсами, тепловою енергією, парою та стисненим повітрям зазвичай має відбуватися шляхом підключення до наявних стаціонарних систем. Тимчасові мережі дозволяється облаштовувати лише у випадках, коли інші варіанти є недосяжними або недоступними. Проєктування схем електропостачання, водозабезпечення, теплопостачання та зв'язку має здійснюватися комплексно, з урахуванням усіх етапів будівельно-монтажних робіт, а також з перспективою подальшого розвитку будівельної діяльності в цьому регіоні [13].

Ключові завдання комплексної організаційної підготовки відображені на рис. 2.

Відповідно до ДБН, розроблені завдання об'єднуються у ПОБ [5]. Під час розробки фахівці використовують підходи експертного аналізу та стохастичне моделювання, що дозволяє встановити терміни виконання організаційно-технологічних етапів. Додатково розробляються методики формування ПОБ,

які базуються на інтегрованому підході, оптимальність якого, за твердженням експертів, визначається через коефіцієнт сумісності. Проте практика забудови територій кластерними структурами та вузлами багатогалузевих об'єктів висуває вимоги щодо підвищення надійності та відповідності прийнятих рішень умовам підготовки.

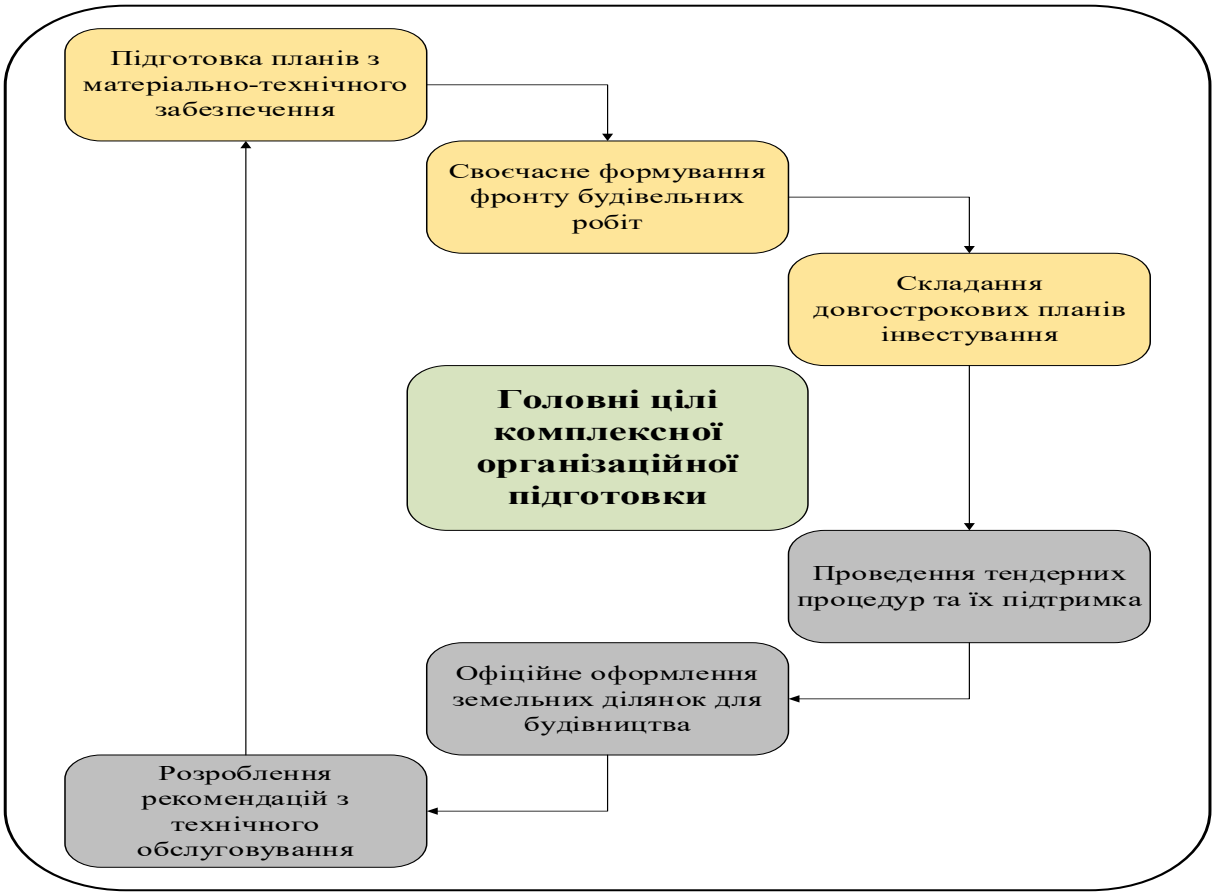


Рис. 2. Головні цілі всебічної організаційної підготовки *(розроблено автором на основі [13])*

Для створення моделі сифрового економічного простору для КОПЗБ на основі реальних проектів необхідно, як мінімум, організувати єдину обчислювальну мережу, яка забезпечить формування централізованої бази даних та впровадження всіх програмних засобів, що автоматизують облік будівельних процесів у режимі єдиної автоматизованої системи. Автори досліджень запропонували моделі, що дозволяють деталізувати інформаційні потоки для забезпечення несуперечливості між усіма компонентами автоматизованої системи. Фахівці підходів [14] пропонують оптимізувати витрати на впровадження автоматизованої системи, поступово розробляючи окремі модулі будівельних процесів без шкоди для загальної ефективності, при цьому дотримуючись принципу інваріантності системи відносно кількості залучених підсистем. В роботах закордонних дослідників розглядається

перспективність створення як інтегрованих, так і вузькоспеціалізованих сховищ даних для різних аспектів муніципального управління.

Підсумовуючи застосовані підходи до формування інформаційного забезпечення в організаційних системах будівництва, концептуальну модель, представлену на рис. 3, можна зобразити як три ключові блоки.

Рис. 3. Модель концептуального зберігання даних *(розроблено автором на основі [15])*

Блок 1 – це джерела даних, які отримуються з оперативних систем і зовнішніх ресурсів. Блок 2 – це сховище даних, куди оперативні та зовнішні джерела постачають як дані, так і метадані. Блок 3 – це споживачі інформації, які формують запити на дані до систем подання інформації, які, у свою чергу, генерують запит, що надсилається до сховища даних [16].

Основні компоненти сховища даних включають:

- Оперативні джерела даних;
- Інструменти проектування та розробки;
- Засоби перенесення та трансформації даних;
- Системи управління базами даних (СУБД);
- Інструменти доступу та аналізу даних;

- Адміністративні засоби.

Для автоматизованих систем КОПСБ важливо мати механізм «зворотного зв'язку» зі сховищем даних (СД), який дає можливість «інформувати» користувача про появу необхідної інформації та автоматично надсилати її у форматі, адаптованому до моделі даних клієнта. В банку даних з організаційної підготовки територій повинні формуватися відомості як для оперативних проектних рішень, так і для контролю за комунікаціями, вже введеними в експлуатацію [17]. Отже, служби перенесення та трансформації даних повинні не лише здатні отримувати й обробляти інформацію, а й надавати (або автоматично завантажувати) необхідні дані зі сховища в оперативні системи в зрозумілому форматі. На малюнку 4 представлена модель обміну даними.

Рис. 4. Схема передачі даних *(розроблено автором на основі [18])*

Сховища даних відрізняються багатовимірним представленням інформації, що передбачає структуру, яка включає фактичні дані та вимірювання. Це пов’язано з бажанням виокремити окремі сутності, що спрощують бізнес-аналітику даних у відповідних інформаційних зрізах діяльності організації. На відміну від багатовимірної інформаційної моделі, що використовується для загальнобудівельних завдань, для сховища кадастрової інформації в архітектурно-будівельному проектуванні потрібна багатошарова

модель, основним елементом якої має бути кадастровий об'єкт. Агреговані дані по об'єкту формують інформаційний зріз для всіх шарів, актуальних для цього об'єкта в конкретний момент часу. Отже, у системі організаційної підготовки до будівництва сховище даних у сфері містобудівного кадастру повинно відповідати наступним вимогам:

- Сприймати та ідентифікувати кадастрову інформацію через процедури вилучення, перетворення та завантаження даних у сховище;
- Забезпечувати тривале зберігання інформації та ведення історії її накопичення;
- Створювати та зберігати схеми відповідностей метаданих оперативних систем-джерел і метаданих сховища;
- Надавати сервіси автоматичного оновлення даних зі сховища в оперативну систему, перетворюючи інформацію відповідно до метаданих клієнта;
- Захищати інформацію від несанкціонованого доступу, мати відкриту архітектуру для легкості інтеграції та розширення, а також забезпечувати доступ до метаданих і даних з боку аналітичних інформаційних систем.

Отже, основна відмінність від традиційного сховища полягає в меті накопичення інформації: дані повинні бути організовані не для аналізу, а для консолідації інформації з різних автоматизованих систем.

Таким чином, розроблена концептуальна модель для забезпечення організаційної підготовки до зосередженого будівництва передбачає створення єдиної методологічної та технологічної бази на основі оптимальної моделі КГК, що дозволить сформувати інтегрований інформаційний простір з максимальним використанням вже існуючих баз даних та наявних технічних засобів у муніципальних утвореннях.

Висновки. Формування новітньої системи інтегрованої цифрової підготовки будівництва є важливим етапом у розвитку сучасної будівельної індустрії, яка вимагає постійної модернізації та адаптації до нових технологій і вимог ринку. У контексті сучасної глобалізації та динамічного прогресу інформаційних технологій ефективне управління будівельними проектами неможливе без використання цифрових інструментів, що дозволяють оптимізувати процеси проектування, планування, реалізації та контролю. Основою цієї системи є інтеграція таких інноваційних технологій, як інформаційне моделювання будівель (BIM), автоматизовані системи управління проектами (АСУП), аналітичні інструменти для оцінки ризиків, прогнозування та управління ресурсами.

Запровадження новітньої цифрової системи дозволяє значно покращити ефективність будівельного процесу на всіх його етапах — від проектування до

завершення будівництва. Ця система сприяє кращому плануванню та розподілу ресурсів, оскільки надає можливість комплексного аналізу проекту на основі точних даних. Крім того, використання цифрових технологій допомагає значно скоротити кількість помилок, пов'язаних із людським фактором, підвищити продуктивність та знизити ризики.

Одним із ключових елементів нової системи є BIM-технології, які дозволяють створювати віртуальні моделі будівель і споруд, що дає можливість здійснювати більш точний контроль за всіма аспектами проекту. Завдяки цьому з'являється можливість детально проаналізувати всі етапи будівництва, визначити потенційні проблеми та ризики ще на стадії проектування, що дозволяє заощадити значні кошти та ресурси. Крім того, інтеграція BIM з іншими автоматизованими системами управління забезпечує безперервний обмін інформацією між усіма учасниками проекту, включаючи замовників, інженерів, архітекторів та підрядників.

Ще одним важливим елементом нової системи є використання цифрових платформ для управління даними. Ці платформи дозволяють зберігати, обробляти та аналізувати великі обсяги інформації, що значно спрощує процес прийняття рішень. Завдяки інтеграції таких платформ з іншими інструментами, як BIM і АСУП, забезпечується ефективна взаємодія між різними системами та учасниками проекту. Це дозволяє забезпечити прозорість і контроль за всіма етапами будівництва, мінімізуючи можливість виникнення неузгодженостей та затримок.

Цифровізація будівельного процесу також сприяє впровадженню нових підходів до управління ризиками. Завдяки використанню аналітичних інструментів для прогнозування та оцінки ризиків, стає можливим визначати потенційні загрози для проєкту на ранніх етапах і вживати превентивних заходів для їх усунення. Це дозволяє знизити ризики, пов'язані з фінансовими втратами, затримками та проблемами якості. Впровадження новітньої системи інтегрованої цифрової підготовки будівництва відкриває широкі можливості для будівельних організацій. Ця система не лише сприяє підвищенню ефективності та продуктивності, а й дозволяє знизити витрати та ризики, покращити якість виконуваних робіт та забезпечити дотримання термінів реалізації проектів. У довгостроковій перспективі цифрова трансформація стає важливою умовою для підвищення конкурентоспроможності будівельних компаній на ринку та їхньої здатності швидко адаптуватися до змін у технологічному середовищі. Вона дозволяє впроваджувати нові інструменти та технології, що відповідають вимогам сучасного будівельного ринку та допомагають компаніям досягати високих результатів у своїй діяльності.

Література

1. Антипенко Є.Ю. Організаційно-технологічне моделювання підготовки та впровадження будівельних проектів: Монографія. Запоріжжя: РДЦ Дизайн Груп, 2010. 386 с.

2. Афанасьєв В.А., Афанасьєв А.В., Соболєв В.І., Тсадо Т.Й. Прискорене виявлення раціональних черговостей освоєння фронтів робіт у неритмічних потоках. Перспективи розвитку технології та організації будівельного виробництва. 2001. С. 173 -184.

3. ДБН А.2.2-3-2014. Склад та зміст проектної документації на будівництво. Київ: Мінрегіон України, 2014. 36 с.

4. ДБН А.3.1-5-2016. Організація будівельного виробництва. Київ.: Мінрегіон України, 2016. 49 с.

5. ДБН В.1.2-12-2008. Система надійності та безпеки у будівництві. Будівництво в умовах ущільненої забудови. Вимоги безпеки. Київ: Мінрегіонбуд України, 2008. 25 с.

6. Дьомін М., Сінгаївська О. Будівлі та споруди. Проблеми та принципи класифікації. Містобудування та територіальне планування. 2007. Віп. 27. С. 105-110.

7. Млодецький В.Р. Ентропійна характеристика організаційних систем. Вісник Придніпровської державної академії будівництва та архітектури. Дніпро: ПДАБтаА, 2004. № 9. С. 49 - 55.

8. Організаційно-технологічні моделі нейтралізації ризиків реального інвестування щодо ліквідності активів будівельних об'єктів. Програмна реалізація моделей/В.О. Поколенко, Н.О. Борисова, О.А. Тугай, Г.В. Лагутін, О.С. Рубцова, Г.М. Рижакова. Пути підвищення ефективності будівництва в умовах формування ринкових відносин. Київ: КНУБА, 2008. Вип.18. З. 58 – 71.

9. Основи менеджменту і маркетингу: навчальний посібник / Г.М. Рижакова, В.Б. Яковенко, І.С. Івахненко [та ін.] ; Київ. нац. ун-т буд-ва і архіт. – Київ: КНУБА, 2024. – 176 с. - Бібліогр.: 170 - 175.

10. Павлов І.Д., Радкевич А.В., Павлов Ф.І. Узагальнення теоретичних положень та методів оцінки моделей планування розвитку та підготовки реалізації проектів складних відновлень у заданий термін. Вісник ДНУЗТ ім. ак. В. Лазаряна. Дніпро: Вид-во ДНУЗТ ім. ак. Лазаряна, 2004. Віп. 4. С. 206 - 213.

11. Петраковська О.С. Міхальова М.Ю. Фактори, що впливають на обґрунтованість прийняття рішень щодо відчуження земельних ділянок для громадських потреб. Містобудування та територіальне планування. 2016. Віп. 60. С. 281-286.

12. Сінгаївська О.І. Інформаційне забезпечення процесів управління розвитком містобудівних систем: автореф. дис. д-ра техн. наук. Київ, 2013 . 32 с.

13. Системно-управлінські та інжинірингові засади впровадження інновацій в організацію будівництва: Монографія / С.О. Ушацький, В.О. Поколенко, Г.В. Лагутін, Н.О. Борисова.. Київ: Вид-во Європейського університету, 2003. 216 с.

14. Hryhorovskiy P. About methodology of instrumental monitoring in the operation of buildings. Actual Problems of Science and Education APSE – 2018: Proceedings of the International Scientific Conference, January 28, 2018. Hungary, Budapest: Society for Cultural and Scientific Progress in Central and Eastern Europe. URL: http://scaspee.com/all-materials/m ethod-of-inst rumentalm onitiring-during-operation-of-buildings-and-structu res-with-acc ount-forvulnerability-factor -p-e-hriho rovskiy. (10.03.2019).

15. Interactive 4D/ Stanford University. 2013. Electronic data. URL: http://www.stanford.edu/group/4D/workspace/papers/asce-96.pdf.

16. Rainieri C., Fabbrocino G. Operational Modal Analysis of Civil Engineering Structures. New York: Springer, 2014. 320 p.

17. Chupryna I. Establishment of the rational economic and analytical basis for projects in different sectors for their integration into the targeted diversified program for sustainable energy development/ Tormosov, R., , Ryzhakova, G., Prykhodko, D., Faizullin, A./ SIST 2021 - 2021

IEEE International Conference on Smart Information Systems and Technologiesthis link is disabled, 2021.

18. Yuen K.V. Bayesian Methods for Structural Dynamics and Civil Engineering. New York, USA: John Wiley & Sons, 2010. 289 p.

PhD, Associate Professor **Malykhin Mykhailo,**
Kyiv National University of Civil Engineering and Architecture

FORMATION OF AN INNOVATIVE SYSTEM OF INTEGRATED DIGITAL CONSTRUCTION PREPARATION

The formation of a new system of integrated digital construction preparation is a key step towards improving managerial and production processes in the construction industry. The current stage of technological development requires the use of integrated digital solutions capable of enhancing construction efficiency, reducing costs, minimizing risks, and improving quality control at all stages of a project's life cycle.

Integrated digital construction preparation involves unifying all elements of the construction process into a single digital ecosystem that encompasses planning, design, production, and control. This system is based on the use of modern information technologies such as Building Information Modeling (BIM), cloud technologies, the Internet of Things (IoT), and Artificial Intelligence (AI). These technologies ensure data accuracy, improve communication among project participants, and create conditions for automating key processes.

The main advantages of this new system include increased productivity, shorter project completion times, improved work quality, and compliance with regulatory requirements. The integration of various digital tools helps eliminate data duplication, reduce errors caused by human factors, and provide real-time access to relevant data for decision-making at all levels of management.

Digital preparation systems enable the modeling of different event development scenarios, risk analysis, cost forecasting, and resource optimization. They facilitate more precise planning and control of work execution, which is crucial for large infrastructure projects where even minor delays can lead to significant losses.

Additionally, the digital transformation of the construction industry contributes to the creation of a unified information platform that brings together all stakeholders, simplifies document management, and ensures transparency in project implementation. The adoption of modern digital solutions also promotes environmental responsibility within the construction sector by reducing material and energy consumption and minimizing negative environmental impact. Thus, the new

system of integrated digital construction preparation is a powerful tool that not only enhances the efficiency of construction process management but also adapts the industry to the demands of the digital economy, fostering its sustainable development.

Keywords: Integrated system; digital preparation; building information modeling; BIM; Internet of Things; automation; construction management; cloud technologies.

REFERENCES

1. Antipenko E.Yu. Organizational and technological modeling of the preparation and implementation of construction projects: Monograph. Zaporizhzhia: RDC Design Group, 2010. 386 p. {in Ukrainian}.

2. Afanasyev V.A., Afanasyev A.V., Sobolev V.I., Tsado T.Y. Accelerated identification of rational priorities for the development of work fronts in non-rhythmic flows. Prospects for the development of technology and organization of construction production. 2001. P. 173 -184. {in Ukrainian}.

3. DBN A.2.2-3-2014. Composition and content of design documentation for construction. Kyiv: Minregion of Ukraine, 2014. 36 p. {in Ukrainian}.

4. DBN A.3.1-5-2016. Organization of construction production. Kyiv.: Minregion of Ukraine, 2016. 49 p. {in Ukrainian}.

5. DBN V.1.2-12-2008. System of reliability and safety in construction. Construction in conditions of dense development. Safety requirements. Kyiv: Minregionstroy of Ukraine, 2008. 25 p. {in Ukrainian}.

6. Dyomin M., Singayivska O. Buildings and structures. Problems and principles of classification. Urban planning and territorial planning. 2007. Vol. 27. P. 105-110. {in Ukrainian}.

7. Mlodetsky V.R. Entropic characteristic of organizational systems. Bulletin of the Pridneprovskaya State Academy of Civil Engineering and Architecture. Dnipro: PDABtaA, 2004. No. P. 49-55. {in Ukrainian}.

8. Organizational and technological models of neutralization of real investment risks regarding the liquidity of assets of construction facilities. Program implementation of models/V.O. Pokolenko, N.O. Borisova, O.A. Tugay, G.V. Lagutin, O.S. Rubtsova, G.M. Ryzhakova. Ways to increase the efficiency of construction in the conditions of the formation of market relations. Kyiv: KNUBA, 2008. Issue 18. P. 58-71. {in Ukrainian}.

9. Fundamentals of management and marketing: a textbook / G.M. Ryzhakova, V.B. Yakovenko, I.S. Ivakhnenko [and others]; Kyiv. National University of Construction and Architecture. – Kyiv: KNUBA, 2024. – 176 p. - Bibliography: 170-175. {in Ukrainian}.

10. Pavlov I.D., Radkevych A.V., Pavlov F.I. Generalization of theoretical provisions and methods for evaluating models of development planning and preparation for the implementation of complex restoration projects within a given period. Bulletin of the National University of Urban and Regional Development named after academician V. Lazaryan. Dnipro: Publishing house of the National University of Urban and Regional Development named after academician Lazaryan, 2004. Issue 4. P. 206 - 213. {in Ukrainian}.

11. Petrakovska O.S. Mikhalova M.Yu. Factors influencing the validity of decision-making on the alienation of land plots for public needs. Urban planning and territorial planning. 2016. Issue 60. P. 281-286. {in Ukrainian}.

12. Singayivska O.I. Information support for the processes of managing the development of urban planning systems: author's abstract of the dissertation of Dr. Tech. Sciences. Kyiv, 2013. 32 p. {in Ukrainian}.

13. System-management and engineering principles of introducing innovations into the organization of construction: Monograph / S.O. Ushatsky, V.O. Pokolenko, G.V. Lagutin, N.O. Borisova. Kyiv: Publishing House of the European University, 2003. 216 p. {in Ukrainian}.

14. Hryhorovskiy P. About methodology of instrumental monitoring in the operation of buildings. Actual Problems of Science and Education APSE – 2018: Proceedings of the International Scientific Conference, January 28, 2018. Hungary, Budapest: Society for Cultural and Scientific Progress in Central and Eastern Europe. URL: http://scaspee.com/all-materials/m ethod-of-inst rumentalm onitiring-during-operation-of-buildings-and-structu res-with-acc ount-forvulnerability-factor -p-e-hriho rovskiy. (10.03.2019). {in English}.

15. Interactive 4D/ Stanford University. 2013. Electronic data. URL: http://www.stanford.edu/group/4D/workspace/papers/asce-96.pdf. {in English}.

16. Rainieri C., Fabbrocino G. Operational Modal Analysis of Civil Engineering Structures. New York: Springer, 2014. 320 p. {in English}.

17. Chupryna I. Establishment of the rational economic and analytical basis for projects in different sectors for their integration into the targeted diversified program for sustainable energy development/ Tormosov, R., Ryzhakova, G., Prykhodko, D., Faizullin, A./ SIST 2021 - 2021 IEEE International Conference on Smart Information Systems and Technologies this link is disabled, 2021. {in English}.

18. Yuen K.V. Bayesian Methods for Structural Dynamics and Civil Engineering. New York, USA: John Wiley & Sons, 2010. 289 p. {in English}.

DOI: 10.32347/2786-7269.2025.11.456-463
УДК 622.807

Микитенко М.Р.,
mykytenko_mr@knuba.edu.ua, ORCID:0000-0003-2891-6136,
Київський національний університет будівництва і архітектури

МАТЕМАТИЧНЕ МОДЕЛЮВАННЯ ТА АНАЛІЗ ЕФЕКТИВНОСТІ РУХУ ЧАСТИНОК У ЦИКЛОННИХ РОЗПИЛЮВАЛЬНИХ АПАРАТАХ

Представлено дослідження руху частинок у циклонних розпилювальних апаратах з урахуванням впливу основних сил, таких як відцентрова сила інерції, аеродинамічний опір та турбулентний масоперенос. Розглянуто механізм осадження частинок на стінках апарата, а також взаємодію частинок із газовим потоком. Запропоновано математичну модель руху частинок у закрученому потоці, що враховує їх випаровування та зміну траєкторії. Отримано аналітичні залежності для визначення ефективності процесу осадження. Досліджено вплив конструктивних параметрів апарата та характеристик потоку на загальну продуктивність процесу. Представлені результати можуть бути використані для оптимізації конструкцій розпилювальних систем та підвищення ефективності промислових процесів.

Ключові слова: пиловловлення; циклонний пиловловлювач; математичне моделювання; ефективність розпилення; траєкторія частинок.

Постановка проблеми. Рух частинок у циклонних розпилювальних апаратах є складним процесом, що відбувається під впливом низки зовнішніх сил, таких як гравітація, аеродинамічний опір, відцентрова сила, сили взаємодії з потоком та міжчастинкові сили. Врахування всіх цих факторів у математичних моделях є складним завданням через велику кількість параметрів, які змінюються залежно від умов процесу.

Існуючі математичні моделі пиловловлення часто не враховують особливості руху дрібнодисперсних частинок та їхню взаємодію з диспергованим середовищем, що може призводити до похибок у прогнозуванні ефективності процесу. Недостатня деталізація моделей може спричиняти перевитрати енергії або зниження якості очищення газових потоків у промислових установках.

У даній роботі потік повітря в циклонному апараті розглядається як стаціонарний із рівнозмінним кроком по висоті та радіусу камери, що дозволяє спростити математичне моделювання. Основна увага приділяється аналізу основних сил, що діють на частинки: відцентрової, аеродинамічного опору та сил інерції. Врахування цих факторів дозволяє розробити спрощену

математичну модель руху частинок у розпилювальному апараті, що стане основою для подальшої оптимізації конструкції пиловловлювачів та підвищення ефективності очищення газових потоків.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Проблема руху частинок у циклонних розпилювальних апаратах залишається актуальною, що підтверджується численними дослідженнями, присвяченими аналізу динаміки частинок у турбулентному потоці та оцінці основних сил, які впливають на їхній рух [1, 2]. Сучасні наукові роботи зосереджуються на вивченні впливу аеродинамічного опору, відцентрової сили та турбулентного масопереносу, які визначають траєкторію частинок у потоках, що обертаються [3].

Окремі дослідження показують, що сила Магнуса, яка виникає внаслідок обертання частинок, може суттєво змінювати їхні траєкторії залежно від параметрів повітряного потоку [4]. Аналіз взаємодії частинок із потоком у рівнозмінних умовах підтверджує необхідність врахування в'язкісного опору та інерційних сил для підвищення точності математичного моделювання процесу пиловловлення [5].

Попри значний прогрес у дослідженнях, сучасні моделі все ще недостатньо враховують вплив міжчастинкових взаємодій, таких як молекулярне тяжіння та електростатичні сили, що може знижувати точність прогнозування ефективності очищення газового потоку [6]. Подальші дослідження мають бути спрямовані на вдосконалення моделей шляхом урахування комплексного впливу фізичних факторів, що дозволить підвищити ефективність роботи циклонних апаратів.

Актуальність дослідження. Циклонні розпилювальні апарати широко застосовуються в різних галузях промисловості, де ефективність пиловловлення безпосередньо впливає на продуктивність технологічних процесів. Оптимізація конструкцій таких апаратів дозволяє зменшити енергетичні витрати, підвищити ефективність очищення газових потоків і мінімізувати шкідливі викиди в довкілля.

Вивчення впливу аеродинамічних і інерційних сил на рух частинок у циклонних потоках сприяє вдосконаленню існуючих математичних моделей, що забезпечує точніше прогнозування ефективності пиловловлення. Розробка нових методів оптимізації роботи апаратів є важливою складовою підвищення їх надійності та адаптації до сучасних екологічних і виробничих вимог.

Мета даного дослідження. Метою даного дослідження є аналіз руху частинок у циклонних розпилювальних апаратах з урахуванням їхньої взаємодії з потоком повітря та впливу ключових аеродинамічних і інерційних сил на ефективність пиловловлення.

У межах дослідження здійснено порівняльний аналіз існуючих підходів до математичного моделювання руху частинок, визначено вплив конструктивних параметрів апаратів на ефективність осадження частинок, а також розглянуто методи оптимізації потоків повітря і частинок для підвищення ефективності промислових процесів.

Основною метою є вдосконалення технологій пиловловлення шляхом детального вивчення кінематики частинок у циклонному потоці та розробки моделей, що дозволяють підвищити ефективність процесу та зменшити енергетичні витрати.

Виклад основного матеріалу. Рух частинок у циклонних розпилювальних апаратах, наприклад у дискових розпилювачах є складним криволінійним процесом у просторовому полі швидкостей. На нього впливає значна кількість зовнішніх сил, серед яких гравітаційні, реактивного випаровування, молекулярного тяжіння, електростатичні сили, сили взаємодії частинок між собою та сили, що виникають унаслідок контакту з несучим потоком. До останніх належать сила аеродинамічного опору, протитиску, сили турбулентного масопереносу та сила Магнуса, що з'являється при обертанні частинок навколо власної осі [7].

Оскільки повний урахування усіх чинників у диференціальних рівняннях руху частинок є неможливим, прийнято ряд припущень. Потік повітря в камері розглядається як стаціонарний, з усередненою швидкістю та без інтенсивного турбулентного обміну. Вплив радіального стоку та вторинних вихорів, що можуть захоплювати дрібні частинки до центру камери (рис. 1), не враховується [1].

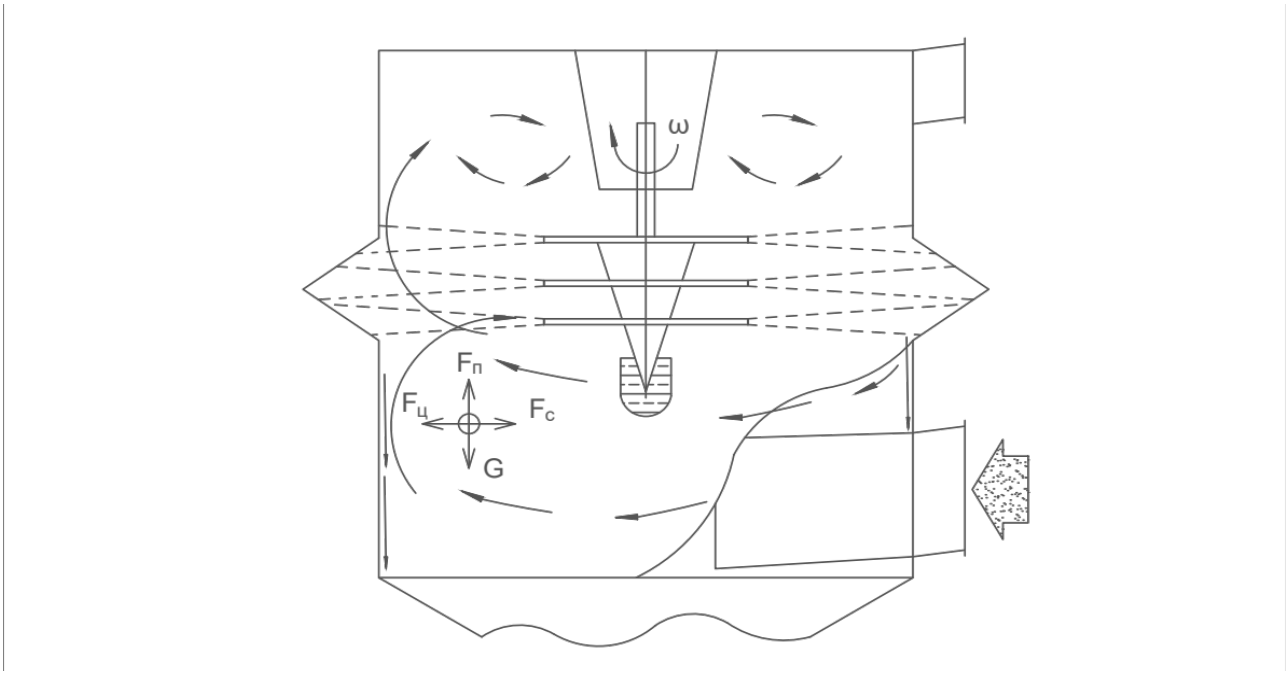


Рис. 1. Схема руху контактуючих фаз у дисковому розпилювачі

Передбачається, що відцентрова сила інерції діє в радіальному напрямку, а тангенціальні та осьові швидкості частинки та повітря в кожний момент часу є рівними між собою.

Величина відцентрової сили інерції визначається за формулою:

$$F_ц = \frac{mu^2}{r} \tag{1}$$

Для осадження частинок на корпусі пиловловлювального апарата необхідно, щоб ця сила дорівнювала або перевищувала силу опору середовища, яка відповідно до закону Ньютона визначається як [8]:

$$F_c = \frac{1}{2}\psi\rho u^2 A \tag{2}$$

де ψ – коефіцієнт аеродинамічного опору, що залежить від режиму течії.

Під дією відцентрової сили частинки набувають граничної відносної швидкості, що визначається умовою $F_ц \leq F_c$. При встановленні рівноваги, згідно із законом Стокса, рівняння руху частинок набуває вигляду рівняння І.В. Мещерського (рис. 2) [10]:

$$m\frac{du}{dt} = F_ц - F_c - F_i \tag{3}$$

де $F_ц$ - відцентрова сила інерції; F_c - в'язкий опір середовища; F_i - інерційна сила частинок у радіальному напрямку.

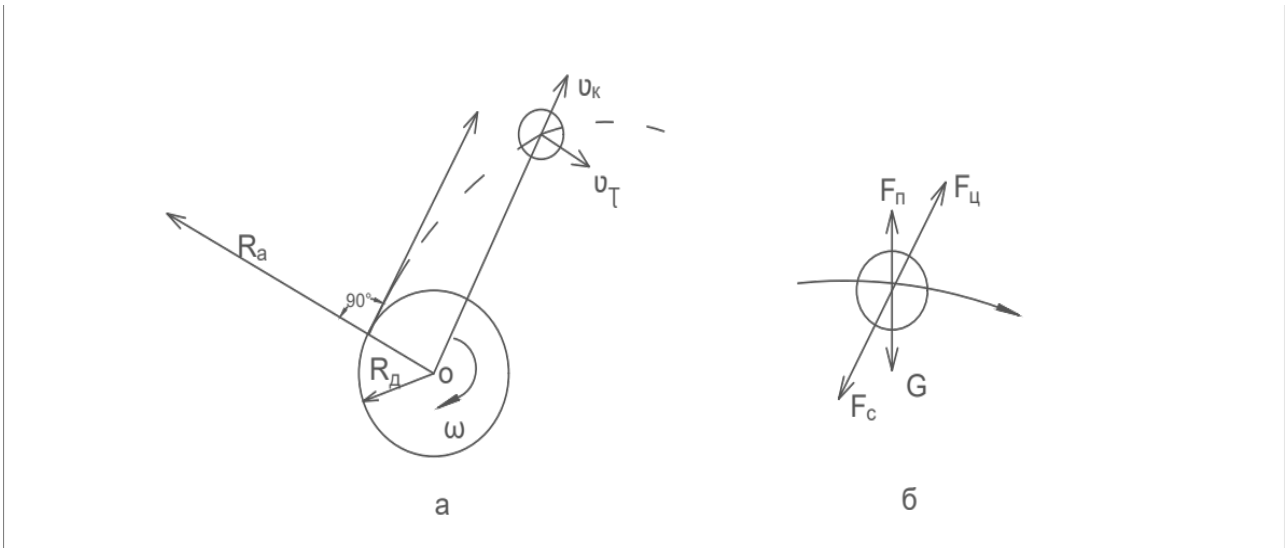


Рис. 2. Схема руху краплі в горизонтальній площині
а - траєкторія руху краплі в потоці, який зносить; б - дія сил на рухому краплю.

Одним із важливих факторів, що визначають поведінку аерозольних систем, є випаровування крапель [11]. Цей процес визначає тривалість існування водяного аерозолю та впливає на ефективність розпилення. Зміна маси краплі у часі описується рівнянням:

$$\frac{dm}{dt} = -\alpha\left(\rho_s - \rho\right) \tag{4}$$

де ρ_s – насичений паровий тиск; ρ – тиск навколишнього середовища; α – коефіцієнт масопереносу.

Для оцінки руху частинки разом із газовим потоком в осьовому напрямку визначається крок гвинтового руху [3]:

$$h = 2\pi r \cdot tg\theta \tag{5}$$

де θ – середній кут підйому спіралі.

Розпилені краплі, потрапляючи в газовий потік, створюють турбулентно-інерційний механізм уловлювання частинок [9]. В ідеалізованій моделі зваженого трифазного шару (рис. 3) приймаються такі припущення:

- краплі нерухомі;
- розташовані у шаховому порядку;
- поле течії встигає встановитися на кожній ділянці шару.

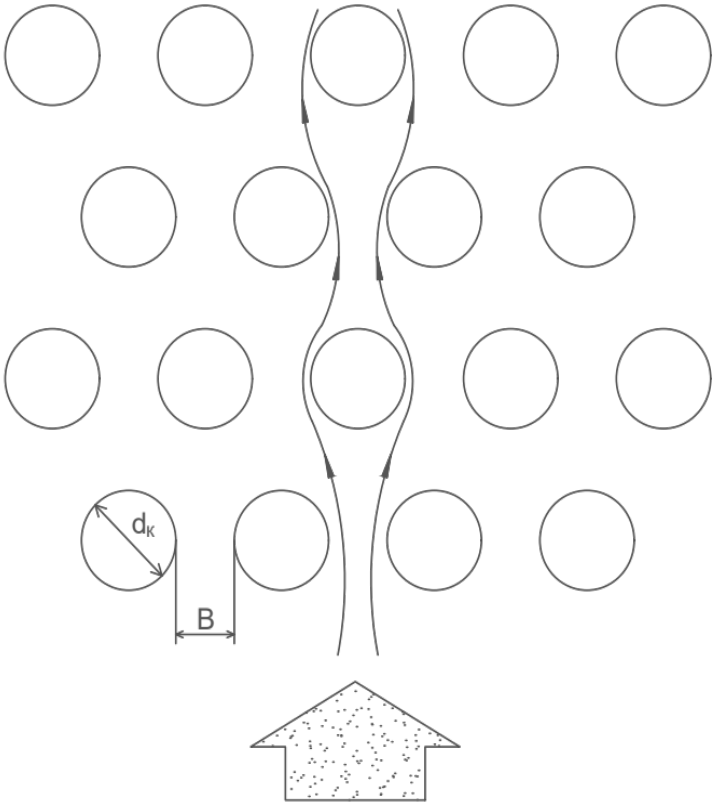


Рис. 3. Поле течії аерозолю в шарі диспергованої рідини дисковим розпилювачем (при ідеалізованій моделі)

Коефіцієнт осадження частинок на одиничній краплі визначається числом Стокса [3]:

$$Stk = \frac{\rho d^2 u}{18\mu} \tag{6}$$

Відповідно, ефективність уловлювання частинок шаром крапель описується виразом:

$$\eta = 1 - e^{-CStkH} \tag{7}$$

де С – коефіцієнт пропорційності; Н – висота шару.

Висота факела розпилу визначається за залежністю:

$$h_f = C_k \frac{u_k}{g} \tag{8}$$

де u_k – швидкість потоку крапельної суміші.

Таким чином, розпилення рідини на дрібні краплі впливає на ефективність пиловловлення та процеси тепломасообміну. Розуміння закономірностей руху частинок у циклонних апаратах дозволяє оптимізувати їх конструкцію, зменшити енергетичні витрати та підвищити ефективність виробничих процесів.

Висновки. У даній статті проаналізовано рух частинок у циклонних розпилювальних апаратах з урахуванням впливу основних сил: відцентрової сили інерції, аеродинамічного опору та турбулентного масопереносу. Запропоновано спрощену модель руху частинок у закрученому потоці, що враховує їхню взаємодію із середовищем та зміну маси при випаровуванні.

Встановлено, що відцентрова сила відіграє ключову роль у процесі осадження частинок на стінках апарата, а ефективність цього процесу визначається співвідношенням між силами інерції та опору середовища. Визначено основні параметри, що впливають на траєкторію частинок, та встановлено умови їхнього переміщення у радіальному й осьовому напрямках.

Отримані результати можуть бути використані для подальшого вдосконалення конструкцій розпилювальних апаратів та підвищення ефективності їх роботи в промислових умовах.

Список джерел

1. Пріємов, С.І. (1971). Дослідження роботи мокрого пиловловлювача з дисковим розпилювачем в очищенні вентиляційних викидів. Дисертація. Київський національний університет будівництва і архітектури.

2. Любарець, О.П., Микитенко, М.Р. (2023). Аналіз факторів, що впливають на стан знепилення аспіраційних викидів. *Вентиляція*, Київський національний університет будівництва і архітектури, випуск 46, 89. Джерело: http://vothp.knuba.edu.ua/article/download/298374/291122 (українською)

3. Ратушняк, Г.С., Лялюк, О.Г. (2009). Пристрої для очищення газових викидів. IV НВКП "Укргеліотех", 180.

4. White, P.A.F., Smith, S.E. (1964). High-efficiency air filtration. Butterworths, London, 245.

5. Gairola, R., Rao, D.V. (2013). Design of industrial ventilation systems for dust control. *Journal of Occupational and Environmental Hygiene*, 10(1), 43–50. http://doi.org/10.1080/15459624.2012.731131.

6. Семенов, В.С., Любарець, О.П. (1982). Використання вентиляційних систем в промислових умовах. Український науково-дослідний інститут санітарної техніки, Київ.

7. Гаджієв, Е.Н., Варламов, Є.М. (2017). Аналіз дисперсії пилу в аспіраційних системах при виробництві теплоізоляційних матеріалів. Український науково-дослідний інститут екологічних проблем, Харків, 192.

8. Зінич, П.Л., та ін. (2009). Дослідження мокрих скрубберів у промислових аспіраційних системах. *Журнал промислової вентиляції*, 18(2), 101–113.

9. Ma Yuanqinga, Li Anguia, Che Jiganga, Wang Tianqia, Yang Changqinga, Che Lunfeib, Liu Junb (2023). Investigation of heavy gas dispersion characteristics in a static environment: Spatial distribution and volume flux prediction. School of Building Services Science and Engineering, Xi'an University of Architecture and Technology, Xi'an, 710055, China, https://www.scopus.com/record/display.uri?eid=2-s2.0-85162124943&origin=recordpage.

10. Зіняк, В.В., Ткачук, А.Я. (2001). Технологія очищення пилу в мокрих скрубберах. *Технологічний розвиток вентиляційних систем*, 13, 145–151.

11. MacIntyre, N.R., Branson, R.D. (2008). Mechanical ventilation. Elsevier Canada, 352. http://doi.org/10.1016/j.vent.2008.02.009.

PhD student **Mykytenko Maksym,**
Kyiv National University of Construction and Architecture

MATHEMATICAL MODELLING AND ANALYSIS OF THE EFFICIENCY OF PARTICLE MOVEMENT IN CYCLONE SPRAYING DEVICES

The article presents a study of particle motion in cyclone spraying devices, taking into account the influence of the main forces, such as centrifugal inertia, aerodynamic drag and turbulent mass transfer. The mechanism of deposition of particles on the walls of the apparatus, as well as the interaction of particles with the gas flow, is considered. A mathematical model of particle motion in a swirling flow is proposed, which takes into account their evaporation and trajectory changes. Analytical dependences for determining the efficiency of the deposition process are obtained. The influence of the design parameters of the apparatus and flow characteristics on the overall process performance is investigated. The presented

results can be used to optimise the design of spray systems and improve the efficiency of industrial processes.

Keywords: dust collection; cyclone dust collector; mathematical modelling; spray efficiency; particle trajectory.

REFERENCE

1. Priemov, S.I. Doslidzhennia roboty mokroho pylovlovliuvacha z dyskovym rozpyliuvachem v ochyshchenni ventyliatsiinykh vykydiv: Dysertatsiia kandydata tekhnichnykh nauk. Kyiv, 1971. 196 p. {in Russian}

2. Mykytenko, M.R., Lyubarets, O.P. Analiz skladovykh chynnykiv, shcho vplyvayut′ na stan znepylenya aspiratsiynykh vykydiv. *Ventylyatsiya, osvitlennya ta teplohazopostachannya.* № 46. Kyiv: KNUBA, 2023 p. 89–100. URL: https://doi.org/10.32347/2409-2606.2023.46. {in Ukrainian}

3. Ratushniak, H.S., Lialiuk, O.H. Prystroi dlia ochyshchennia hazovykh vykydiv. Kyiv : NVKP "Ukrheliotekh", 2009. 180 p. {in Ukrainian}

4. White P.A.F. High-efficiency air filtration. / ред. Smith, Sydney Ernest, 1918- joint ed. London : Butterworths, 1964. 314 p. {in English}

5. Industrial Ventilation News Digest. Applied Industrial Hygiene. 1986. Т. 1, № 1. С. F–40–F–43. URL: https://doi.org/10.1080/08828032.1986.10390454. {in English}

6. Kouzov P.A. Ochyshchennia vid pylu haziv ta povitria v khimichnii promyslovosti. L., 1982. 255 p. {in Russian}

7. Hadzhiev E., Varlamov E. Dispersion analysis of dust in aspiration systems in the production of thermal insulation materials using advanced experimental equipment. Ecological Sciences. 2019. Т. 1, № 2. С. 27–31. URL: https://doi.org/10.32846/2306-9716-2019-1-24-2-6. {in English}

8. Balternas P.B. Obezpyliuvannia povitria na pidpryiemstvakh budmaterialiv. M.: «Budvydat», 1991. 184 p. {in Russian}

9. Investigation of heavy gas dispersion characteristics in a static environment: Spatial distribution and volume flux prediction / Y. Ma and other. Building and Environment. 2023. p. 110501. URL: https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2023.110501. {in English}

10. Ziniak V.V., Tkachuk A.Ia. Tekhnolohiia ochyshchennia pylu v mokrykh skruberakh. *Tekhnolohichnyi rozvytok ventyliatsiinykh system.* № 13. 2001. p. 145–151. {in Ukrainian}

11. MacIntyre, N.R., Branson, R.D. Mechanical Ventilation. Elsevier, 2008. URL: https://doi.org/10.1016/b978-0-7216-0186-1.x5001-7. {in English}

DOI: 10.32347/2786-7269.2025.11.464-473
УДК 625.7

к.т.н., професор **Осетрін М.М.,**
n.osetrin@gmail.com, ORDIC: 0000-0001-7015-4679,
Карбан С.В.,
karbansvitlana07@gmail.com, ORDIC: 0009-0003-0800-994X,
Київський національний університет будівництва і архітектури

BRT ЯК СТРУКТУРНИЙ ЕЛЕМЕНТ ТРАНСПОРТНОЇ СИСТЕМИ МІСТА

Діяльність інженерів з планування громадського транспорту, незважаючи на її важливість, часто залишається поза увагою з боку водіїв, пасажирів та широкого загалу, проте вона є ключовою для забезпечення високої якості життя у міських агломераціях. Їхня діяльність охоплює проєктування дорожньо-транспортних вузлів та магістральних маршрутів, створення інфраструктури, що об'єднує транспортні засоби, мережі та ресурси. У відповідь на зростаючі темпи урбанізації та збільшення попиту на мобільність, інженери-планувальники застосовують інноваційні технології для розробки інтегрованих транспортних рішень, що відповідають потребам міст і підвищують якість життя їхніх мешканців.

У контексті сучасних викликів урбанізації та змін у структурі попиту на транспорт, роль планувальників громадського транспорту має бути переглянута та розширена. Використання новітніх технологій та інноваційних інструментів у плануванні дозволяє забезпечити гнучкі, адаптивні та ефективні рішення для мобільності, що відповідають потребам динамічно змінюваних міських середовищ. Тому інтеграція цифрових технологій, аналітичних методів та принципів стійкого розвитку у процес планування стає необхідною умовою для підвищення ефективності громадського транспорту і рівня комфорту життя в містах.

Використання сценаріїв «що-якщо» є потужним інструментом для моделювання різних варіантів розвитку мережі громадського транспорту. Це дає змогу прогнозувати зміни в потребах населення, реагувати на демографічні коливання та оптимізувати рішення з урахуванням просторових обмежень і потенційних обсягів пасажиропотоків. Таким чином, впровадження інноваційних підходів забезпечує прозорість і злагодженість у процесі планування, підвищує зручність користування транспортом та сприяє сталому розвитку міського середовища.

Ключові слова: Bus Rapid Transit (BRT); транспортне планування; автобусна мережа; зупинки; зелені хвилі.

Постановка проблеми. Розвиток міської транспортної інфраструктури є пріоритетом для забезпечення мобільності населення. Планування автобусної мережі має враховувати транспортні потоки, частоту обслуговування, зручність пересадок і розташування зупинок. Мета дослідження полягає у вивченні перспектив впровадження системи Bus Rapid Transit (BRT) у міських агломераціях України, для підвищення пропускної здатності та швидкості перевезень. Така система сприяє зниженню заторів і розвантаженню автомобільного трафіку, а також забезпечує стійкий розвиток транспортної інфраструктури в умовах зростання кількості міського населення та якості забезпечення перевезень.

Для оптимального функціонування громадського транспорту застосовуються кілька рівнів планування — стратегічний, тактичний і операційний. Це забезпечує інтеграцію новітніх технологій та науково обґрунтованих рішень для розв’язання сучасних транспортних проблем і підвищення якості обслуговування пасажирів.

Ефективне планування автобусної мережі включає оптимізацію маршрутів, кількості зупинок і їх розташування для забезпечення швидкого та комфортного пересування. Інженери-планувальники повинні враховувати змінні фактори, зокрема час поїздки, частоту пасажиропотоку та вплив транспортних потоків на навколишнє середовище.

Одним із ключових аспектів, що впливає на швидкість і зручність пересування пасажирів, є розташування зупинок, які мають відповідати критеріям доступності та ефективного покриття міських районів. Розміщення зупинок є делікатним завданням.

Відстані між автобусними зупинками впливають на час у дорозі. Оператор TransLink, автобусні перевезення Ванкуверу (Канада) у 2020 року збалансував автобусні зупинки на п'яти маршрутах. Це заощадило пасажирам до десяти хвилин на поїздку туди й назад у найбільш завантажений час доби. Це також дозволило знизити пікові навантаження на автопарк та заощадити 700 000 канадських доларів на щорічних експлуатаційних витратах.

Мета дослідження. Використання інноваційних підходів для планування міської мобільності.

Основний зміст дослідження.

1. Досвід Дакару у створенні BRT системи.

Ефективне планування автобусної мережі включає оптимізацію маршрутів, кількості зупинок і їх розташування для забезпечення швидкого та комфортного пересування. Інженери-планувальники повинні враховувати змінні фактори, зокрема час поїздки, частоту пасажиропотоку та вплив транспортних потоків на навколишнє середовище. Одним із ключових аспектів,

що впливає на швидкість і зручність пересування пасажирів, є розташування зупинок, які мають відповідати критеріям доступності та ефективного покриття міських районів.

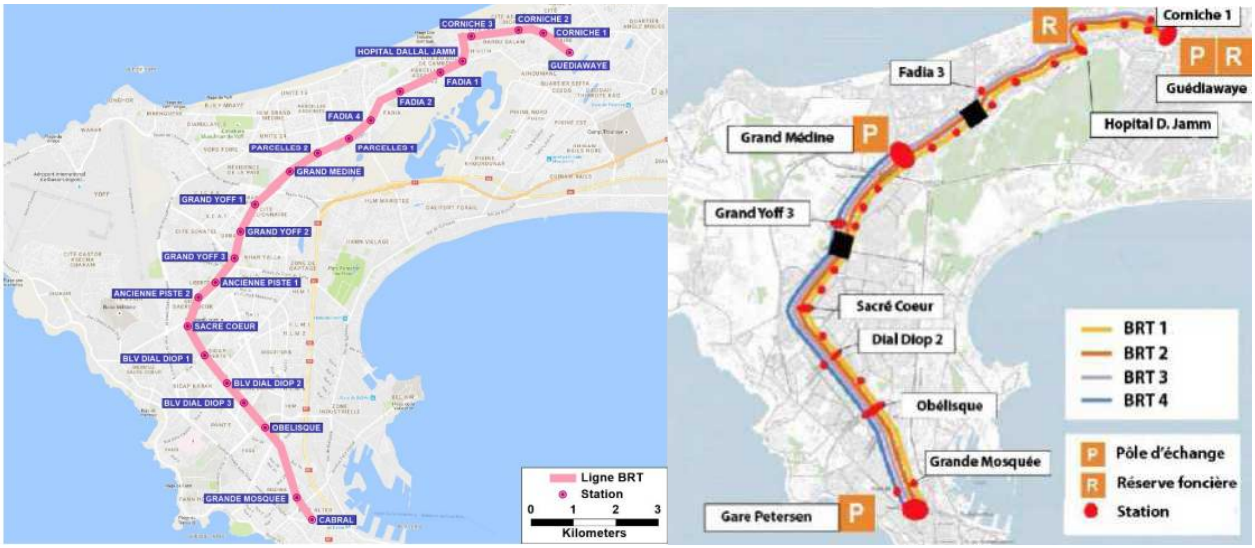


Рис.1. Схема реалізації BRT коридору в Дакарі

Проектне рішення Дакару (Сенегал, західна Африка) було відмічено у звіті проекту eBRT2030 (European Bus Rapid Transit of 2030). Агломерація Дакар становить 0,3% національної площі, в ній зосереджено 24% населення Сенегалу, 50% міського населення і 66% економічної активності країни. 70% зареєстрованого автопарку, а це близько 324 000 транспортних засобів, циркулює в Дакарі. Крім того, спостерігається контекст сильного зростання населення: 2,6 млн жителів у 2005 році, 3,6 млн жителів у 2018 році та +100 000 жителів щорічно. Особливістю даного проекту є використання одного виділеного коридору одразу чотирьма видами автобусного перевезення:

1) зупинка на усіх станціях; 2) зупинка на певних станціях; 3) зупинка на найважливіших станціях; 4) експрес-лінія без зупинок.

Метою напівекспресних та експрес-ліній є скорочення часу простою на станціях і, отже, оптимізація транспортного часу за рахунок збільшення комерційної швидкості. Час у дорозі за цим маршрутом скоротиться вдвічі, з 90 до 45 хвилин, запроектована потужність до 300 000 пасажирів на день.

В 2014 році уряд Сенегалу почав роботу над удосконалення транспортної системи Агломерації Дакар. В січні 2017 року був опублікований фінальний звіт. Початок робіт було заплановано на кінець 2019 року.

Фінансування даного проекту велося трьома інституціями: фінансовий внесок Європейського Інвестиційного Банку склав 80 мільйонів євро, що свідчить про плідну співпрацю між ЄІБ, Державою Сенегал та Світовим банком.

2. Планування автобусної мережі та використання зелених хвиль для приоритизації громадського транспорту.

Розробка інфраструктури для швидкісного автобусного транспорту (BRT) може істотно підвищити пропускну здатність та прискорити транспортні потоки, завдяки виділеним смугам та оптимізованому управлінню рухом. Проте така система часто стикається з викликом впровадження «зелених хвиль», які забезпечують послідовну роботу світлофорів для автомобільного руху, але можуть обмежувати пріоритет для громадського транспорту. Для покращення інтеграції BRT систем у міське середовище необхідно налаштувати світлофорні об'єкти так, щоб вони віддавали пріоритет громадському транспорту, зокрема автобусам, для зниження затримок на перехрестях. Ця технологія допомагає підтримувати безперервний рух автобусів і знижує час поїздки пасажирів, зменшуючи ризик заторів і затримок у години пік.

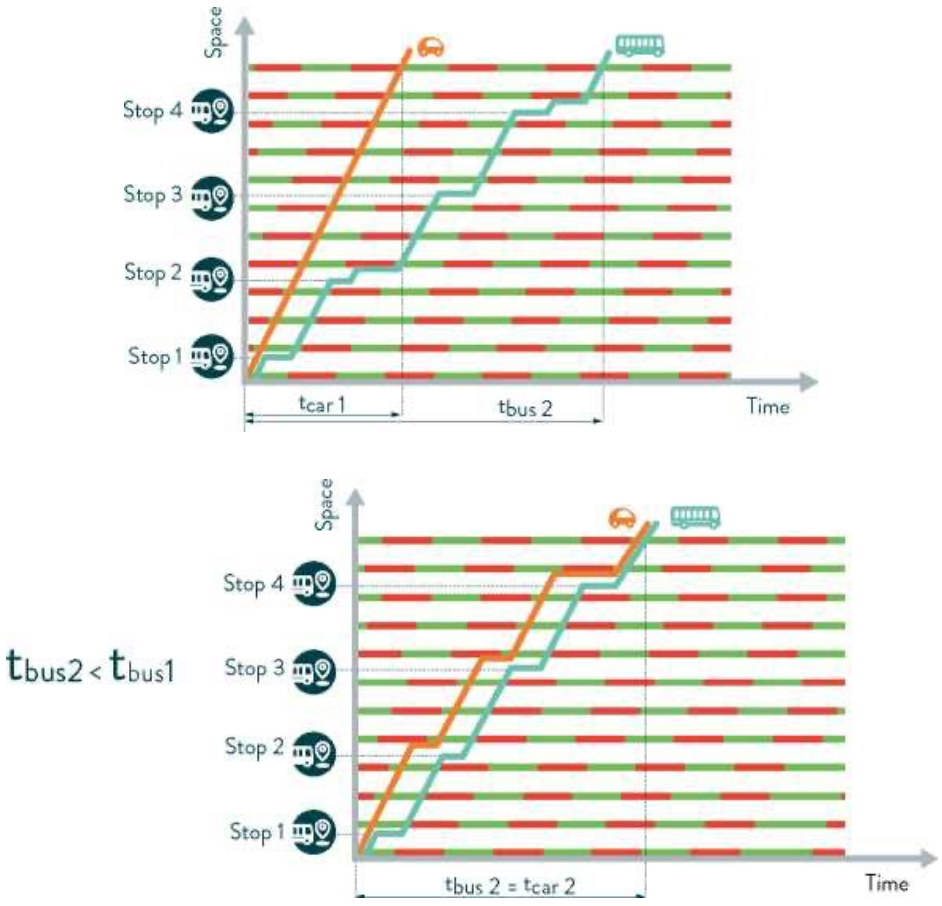


Рис.2. Інфографіка швидкості руху ІТ та ГТ з використанням зеленої гвилі с пріоритизацією для ІТ і ГТ

У сценарії 2 автобус витрачає менше часу на поїздку на ту саму відстань, оскільки йому не потрібно зупинятися на червоне світло світлофора.

Розвиток пріоритетних світлофорних сигналів і покращене управління маршрутами сприяють досягненню балансу між потребами громадського та приватного транспорту. Це не лише підвищує якість транспортного обслуговування, але й сприяє зменшенню шкідливих викидів завдяки стабільному руху транспорту, зниженню витрат на пальне та збільшенню пропускної здатності доріг.

Щоразу, коли автобуси зупиняються, щоб забрати та висадити пасажирів, транспортні засоби громадського транспорту втрачають темп зеленими хвилями, стикаючись із червоним світлом. Врахування швидкості комерційного автобуса в програмуванні та управлінні світлофорами автоматично збільшує швидкість автобуса при наявності автобусних смуг.

3. Іноваційні підходи та інструменти для планування транспорту.

Інноваційні підходи до планування автобусної мережі передбачають використання цифрових технологій, таких як системи моделювання пасажиропотоків і візуалізації транспортних рішень, які забезпечують інтеграцію аналізу реальних даних у процес планування. Інтерактивні аналітичні платформи, здатні прогнозувати попит на перевезення та оцінювати потенційний вплив нових маршрутів на загальну ефективність транспортної мережі, дають можливість оцінити вплив можливих змін у режимі реального часу. Використання ізохронних карт дозволяє детально проаналізувати вплив розташування зупинок та нових маршрутів на загальний доступ до транспортної мережі.

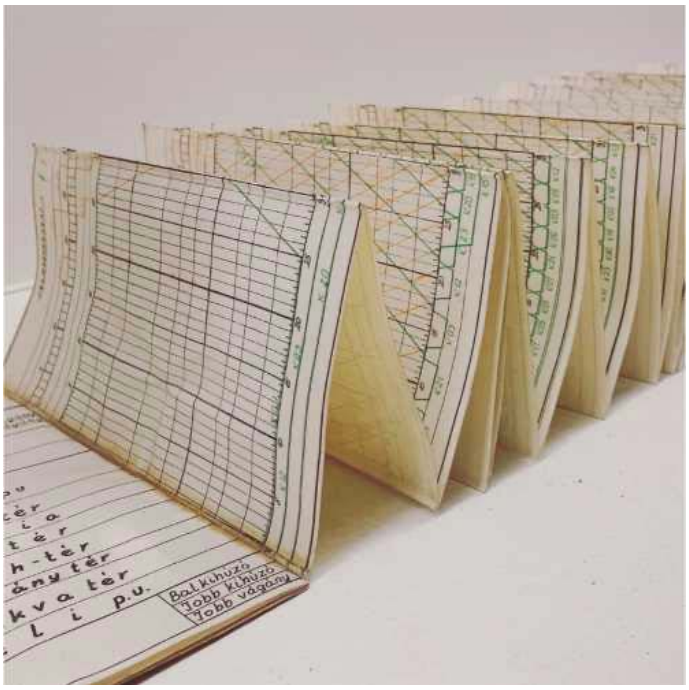


Рис. 3. Схема планування, представлена в Будапештському підземному музеї тисячоліття.
© Манель Рівера, 2019

Однак базові розрахунки від руки та електронні таблиці все ще використовувалися для швидких перевірок та приблизних оцінок планування автобусів.

4. Платформа збору даних системи BRT в різних країнах.

BRTData є проектом BRT+ CoE, Центру передового досвіду для BRT (Bus Rapid Transit). Побудова платформи та збір даних є результатом партнерства між членами BRT+ CoE та ITDP. Інститут політики транспорту та розвитку (ITDP) працює по всьому світу над розробкою та впровадженням високоякісних транспортних систем і політичних рішень, які роблять міста більш придатними для життя, справедливішими та стійкими.

Cervero пропонує наступне визначення: швидкісний автобусний транспорт – це «високоякісна система громадського транспорту на основі автобусів, яка забезпечує швидку, комфортну та економічно ефективну міську мобільність завдяки забезпеченню відокремленої інфраструктури смуги відведення, швидкій та частій роботі, а також відмінному маркетингу та обслуговуванню клієнтів» (Cervero 2013).

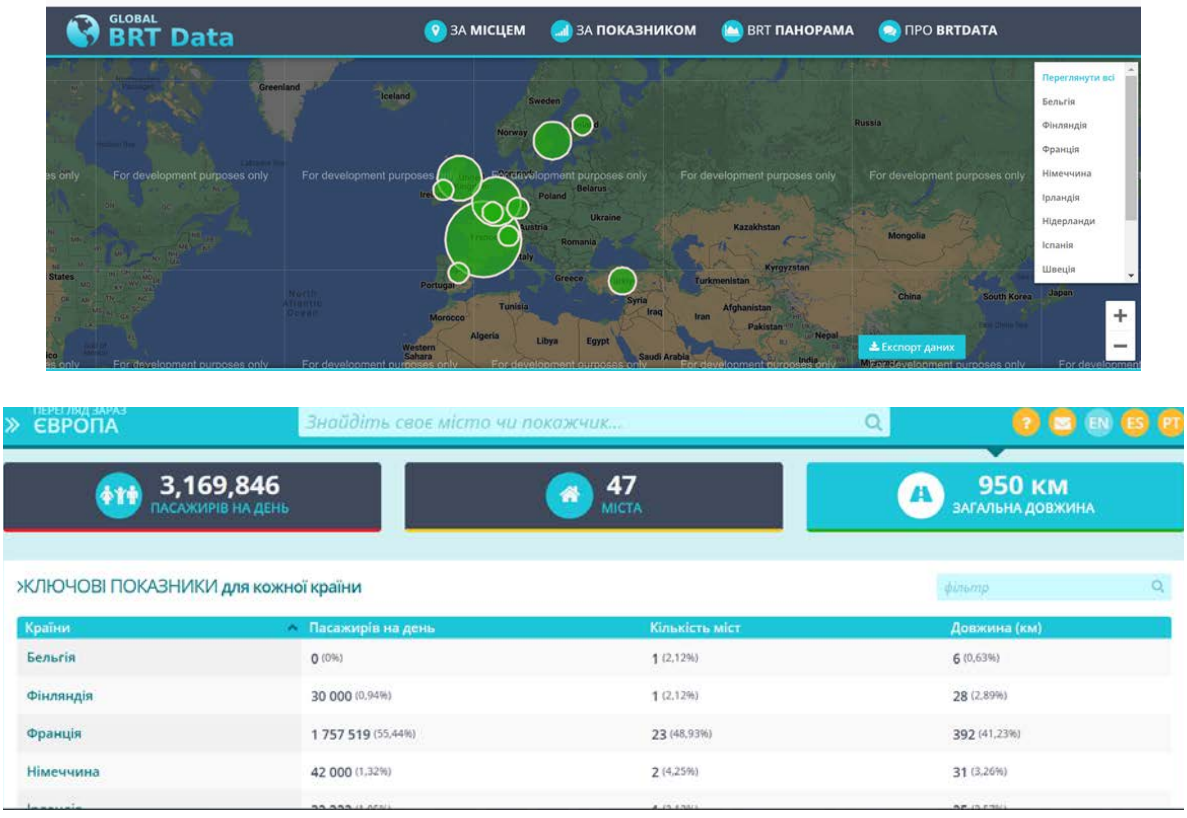


Рис. 4. Інтерфейс пратформи GLOBAL BRT Data

На сьогоднішній день системи типу BRT працюють в 191 містах по всьому світу, з яких 47 міст в Європі, щодня перевозячи 31,5 мільйона пасажирів, 58% з них розташовані в Латинській Америці або Азії і 25% в Європі.

Третина кілометрів маршрутів швидкісного автобусного транспорту та майже дві третини (63%) пасажирських перевезень припадають на Латинську Америку [4].

5. Загальні характеристики запровадження BRT коридорів в різних країнах світу.

При розгляді загальних особливостей систем швидкісного автобусного транспорту в різних географічних регіонах (Африка, Азія, Європа, Австралія, і ін.) можна помітити, що системи швидкісного автобусного транспорту в Африці та Австралії мають найшвидші системи швидкісного автобусного транспорту, але вони мають менше кілометрів смуг руху, менше станцій і більшу відстань між станціями. З іншого боку, азіатські та латиноамериканські системи широко розвинули свої транспортні системи з більшою кількістю станцій, кілометрами ексклюзивних смуг та пасажиропотоку на день. Європейські системи швидкісного автобусного транспорту, що стосується їх загальних особливостей, схоже, стоять між цими двома моделями. У наведеній таблиці відображені загальні характеристики систем швидкісного автобусного транспорту, розділених за континентами.

Таблиця 1

Загальні характеристики систем швидкісного автобусного транспорту на континентах

характеристика	**Африка**	**Латинська Америка**	**Азія**	**Північна Америка**	**Європа**	**Австралія**
Кількість міст	6	45	46	63	22	5
Довжина відокремлених смуг (км)	152	2,003	1,691	744	919	109
Загальна кількість станцій	143	3066	1934	867	1135	114
Середня кількість станцій на лінії	18	16	23	20	23	12.6
Середня відстань між станціями (м)	995	653	890	1005	656	1758
Поїздок на день	491,578	20,785,206	9,238,060	1,005,796	2,914,113	436,200
Середня вартість проїзду ($)	0,99	0,63	0.49	2.33	2.3	3.77
Робоча швидкість (км/год)	30	22	23	28	23	37
Вартість інфраструктури (млн.дол./____)	7.83	12.65	17.78	8.75	11.53	56.17

Одним із найбільш значущих впливів систем швидкісного автобусного транспорту є збільшення пасажиропотоку та скорочення часу в дорозі. Найбільше скорочення часу в дорозі та збільшення пасажиропотоку спостерігалося в містах, де лінія швидкісного автобусного транспорту була відокремлена від інших видів транспорту.

Таблиця 2

Кількісні показники у деяких BRT системах (до/після впровадження)

МІСТО: НАЗВА СИСТЕМИ BRT	**ЗБІЛЬШЕННЯ ПАСАЖИРОПОТОКУ ТА/АБО СКОРОЧЕННЯ ЧАСУ В ДОРОЗІ**
Париж: Транс-Валь-де-Марн	134% збільшення пасажиропотоку після відкриття з 16-хвилинним скороченням часу в дорозі по 20-кілометровому коридору
Дублін: Якісні автобусні коридори	125% збільшення пасажиропотоку для північно-східного коридору Малахайд і 63% для південного коридору Стіллорган
Мадрид: система Bus-VAO	Скорочення часу в дорозі на 33%, збільшення пасажиропотоку на 85%.
Брісбен, Австралія	Кількість пасажирів збільшилася на 56% завдяки повністю відокремленій системі з пріоритетом сигналів світлофору, що призвело до скорочення часу в дорозі на 70%.
Транзитна лінія Ліверпуль-Парраматта в Сіднеї	51% скорочення часу в дорозі та 56% збільшення пасажиропотоку
Клівлендський коридор Евкліда BRT, США	Збільшення пасажиропотоку на 60% після двох років експлуатації завдяки значній сегрегації системи, що забезпечило збільшення швидкості на 34%.
Гонолулу, Гаваї	Скорочення часу в дорозі на 49% призвело до збільшення пасажиропотоку на 59% після одного року роботи
Майамі: Автобусна магістраль Південний Майамі-Дейд	50% збільшення пасажиропотоку при скороченні часу в дорозі менш ніж на 10%

ВИСНОВКИ

Ефективне планування автобусної мережі у міському середовищі є ключовим елементом забезпечення надійної мобільності. Використання системи BRT, у поєднанні з інноваційними підходами до планування та управління рухом, дозволяє створити більш стійкі та швидкісні маршрути для пасажирів, що сприяє зниженню заторів та підвищенню якості транспортного обслуговування. Інженери-планувальники, застосовуючи новітні інструменти для аналізу та прогнозування, можуть розробляти рішення, що відповідають реальним потребам міст, підвищують зручність і скорочують час поїздок. Інтеграція цифрових технологій у процес планування є важливим кроком для підвищення якості життя у великих містах та сприяє сталому розвитку міської інфраструктури.

Ключові характеристики BRT системи які забезпечують підвищення ефективності роботи транспортної системи міста:

1. **Підвищення транспортної ефективності:** Впровадження системи BRT у міську інфраструктуру дозволяє значно збільшити пропускну здатність транспортних мереж та оптимізувати транспортні потоки. Виділені смуги та пріоритетні світлофори скорочують час у дорозі, що особливо важливо для густонаселених міських агломерацій.

3. **Покращення якості обслуговування пасажирів:** Завдяки швидкості та зручності пересування, BRT підвищує привабливість громадського транспорту для населення. Різні рівні маршрутів (із усіма зупинками, частковими зупинками та експрес-лініями) забезпечують широкий вибір для пасажирів, що відповідає їхнім потребам у швидкості й доступності.

4. **Іноваційні підходи до планування:** використання новітніх технологій в аналізі попиту та плануванні маршрутів забезпечує стабільність в перевезеннях, максимальний мікро- та макро-економчний ефекти.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. BUS NETWORK PLANNING FROM THE OPERATORS' PERSPECTIVE OCTOBER | 2022. URL: https://cms.uitp.org/wp/wp-content/uploads/2022/10/Report-Bus-Network-planing-Oct22-web-2.pdf .

2. План дій ЄС щодо нульового забруднення. URL: https://environment.ec.europa.eu/strategy/zero-pollution-action-plan_en.

3. Швидкий транзитний автобус для покращення міської мобільності між Дакаром і Гедіавай. URL: https://www.cetud.sn/index.php/projets/brt-dakar.

4. Сайт моніторингу BRT систем у світі. URL: https://brtdata.org/.

5. Трансформація міст з швидкісною автобусною системою. URL: https://cms.uitp.org/wp/wp-content/uploads/2020/07/BRT_ENG_Web.pdf.

Candidate of Technical Sciences, Professor **Mykola Osetrin,**
Postgraduate student **Svitlana Karban,**
Kyiv National University of Construction and Architecture

BRT AS A STRUCTURAL ELEMENT OF THE CITY'S TRANSPORTATION SYSTEM

Despite its importance, the work of public transportation planners is often overlooked by drivers, passengers, and the general public, yet it is key to ensuring a high quality of life in urban agglomerations. Their activities include designing hubs and trunk routes, creating infrastructure that connects vehicles, networks, and

resources. In response to the growing pace of urbanization and the increasing demand for mobility, planners use innovative technologies to develop integrated transportation solutions that meet the needs of cities and improve the quality of life of their residents.

In the context of the current challenges of urbanization and changes in the structure of transport demand, the role of public transport planners should be revised and expanded. The use of the latest technologies and innovative tools in planning allows for flexible, adaptive, and efficient mobility solutions that meet the needs of dynamically changing urban environments. Therefore, the integration of digital technologies, analytical methods, and sustainable development principles into the planning process is becoming a prerequisite for improving the efficiency of public transport and the overall level of comfort in cities.

The development of “what-if” scenarios is a powerful tool for modeling various options for the development of a public transport network. This allows us to predict changes in the needs of the population, respond to demographic fluctuations, and optimize solutions based on spatial constraints and potential passenger volumes. Thus, the introduction of innovative approaches ensures transparency and coherence in the planning process, increases the convenience of using transport and contributes to the sustainable development of the urban environment.

Keywords: Bus Rapid Transit (BRT); transport planning; bus network; bus stops; green waves.

REFERENCES

1. BUS NETWORK PLANNING FROM THE OPERATORS' PERSPECTIVE OCTOBER | 2022. URL: https://cms.uitp.org/wp/wp-content/uploads/2022/10/Report-Bus-Network-planing-Oct22-web-2.pdf. {in English}

2. EU Zero Pollution Action Plan. URL: https://environment.ec.europa.eu/strategy/zero-pollution-action-plan_en. {in English}

3. Rapid transit bus to improve urban mobility between Dakar and Gediawai. URL: https://www.cetud.sn/index.php/projets/brt-dakar. {in English}

4. Website for monitoring BRT systems in the world. URL: https://brtdata.org/.

5. Transformation of cities with a bus rapid transit system. URL: https://cms.uitp.org/wp/wp-content/uploads/2020/07/BRT_ENG_Web.pdf. {in English}

DOI: 10.32347/2786-7269.2025.11.474-488
УДК 69.059.7:624.05:658:330

д.ек.н., професор **Отенко І.П**.,
kafecan@hneu.edu.ua, ORCID: 0000-0001-7849-2381,
Харківський національний економічний університет імені Семена Кузнеця,
Кирик Я.Я., kirik. yy-2022@knuba.edu.ua, ORCID: 0009-0004-5784-1115,
Петренко О.В., katsiuba. ir-2022@knuba.edu.ua, ORCID: 0009-0002-1849-1103,
Гулієв Дж., cemil@ukr.net, ORCID: 0000-0002-3442-0906,
Демчук А.І., demchuk. ai-2022@knuba.edu.ua, ORCID: 0009-0006-5209-3044,
Кацюба І.Р., katsiuba. ir-2022@knuba.edu.ua, ORCID: 0009-0001-1005-8068,
Київський національний університет будівництва і архітектури

НАУКОВО-ПРИКЛАДНІ КОМПОНЕНТИ ПОЛІКРИТЕРІАЛЬНОЇ СИСТЕМИ ДІАГНОСТИКИ ОРГАНІЗАЦІЙНО-ТЕХНОЛОГІЧНИХ ТА ЕКОНОМІКО-УПРАВЛІНСЬКИХ РІШЕНЬ У БУДІВЕЛЬНОМУ ДЕВЕЛОПМЕНТІ

Досліджується система діагностики організаційно-технологічних рішень у будівельному девелопменті як ключовий інструмент оцінки ефективності управлінських стратегій, технологічних процесів та інноваційних підходів у реалізації будівельних проєктів. Проаналізовано сучасні методи багатокритеріального прийняття рішень (AHP, ANP, VIKOR, ELECTRE, TOPSIS, UTA тощо) та їхню адаптацію до оцінювання діяльності девелоперських підприємств. Розглянуто систему бізнес-індикаторів, що формують комплексну модель оцінки девелоперських проєктів, включаючи фінансові, технологічні, організаційні та ринкові показники. Обґрунтовано необхідність застосування полікритеріальних підходів для діагностики ефективності будівельного девелопменту, що дозволяють одночасно враховувати економічні, технологічні та управлінські аспекти. Виокремлено 15 ключових індикаторів, серед яких рентабельність, фінансова стійкість, окупність інвестицій, рівень інноваційної активності, швидкість реалізації проєктів, кредитне навантаження, екологічна стійкість забудови тощо. Оцінено їхню роль у прогнозуванні ризиків та стратегічному управлінні підприємствами будівельного сектора. Досліджено підходи до діагностики організаційно-технологічних рішень у будівництві, що базуються на цифрових платформах, BIM-моделюванні, аналітичних системах штучного інтелекту та прогнозних методах аналізу. Визначено, що використання інтелектуальних систем діагностики забезпечує підвищену точність оцінки стану підприємства, дозволяє оперативно реагувати на зміну ринкових умов і оптимізувати процеси управління будівельними ресурсами. Запропоновано

концептуальний підхід до комплексної оцінки девелоперських проєктів, що включає багатокритеріальний аналіз ефективності технологій, фінансово-економічних показників та ризик-менеджменту. Встановлено, що інтеграція аналітичних моделей у будівельний девелопмент сприяє мінімізації витрат, прискоренню термінів реалізації та підвищенню конкурентоспроможності девелоперських компаній. Результати дослідження можуть бути використані для вдосконалення управління будівельними проєктами, розробки інвестиційних стратегій та оптимізації бізнес-моделей у сфері нерухомості.

Ключові слова: діагностика; будівельний девелопмент; організація будівництва; багатокритеріальний аналіз; організаційно-технологічні рішення; управління; фінансова стійкість; окупність інвестицій; ризик-менеджмент; інноваційна активність; стратегічне управління; бізнес-індикатори; ефективність будівельних проєктів; конкурентоспроможність; цифрові технології.

Постановка проблеми. Полікритеріальна система економіко-управлінської діагностики є результатом тривалої еволюції наукових підходів до оцінки та аналізу економічної діяльності підприємств і організацій. Формування концептуальних основ цієї системи пов'язане з розвитком економічної науки, управлінських теорій та математичних методів прийняття рішень, що в сукупності створили передумови для інтеграції багатокритеріального аналізу в діагностику процесів управління. На початкових етапах розвитку економічної діагностики основним завданням було визначення фінансового стану підприємств, що реалізовувалося через аналіз традиційних фінансових коефіцієнтів та бухгалтерської звітності. Проте ці підходи мали обмежену аналітичну потужність, оскільки зосереджували увагу переважно на ретроспективних оцінках і не враховували складних багатофакторних взаємозв'язків між економічними, управлінськими та зовнішніми параметрами функціонування підприємства. Подальший розвиток управлінських і економічних наук привів до необхідності формування більш гнучких моделей аналізу, здатних одночасно враховувати різноманітні критерії оцінки ефективності діяльності компаній. Важливим етапом стало поширення методів багатокритеріального прийняття рішень, серед яких аналіз ієрархій (AHP), метод електреком (ELECTRE), метод аналізу граничних корисностей (UTA) та інші. Ці підходи дозволили здійснювати комплексну оцінку підприємств, беручи до уваги не лише фінансові показники, але й стратегічні, операційні та соціально-економічні аспекти їхньої діяльності. Загострення конкуренції на ринках та зростання рівня турбулентності зовнішнього

середовища зумовили потребу у створенні діагностичних систем, що могли б забезпечити більш точні прогностичні оцінки, визначати критичні точки ризиків та формувати рекомендації для оптимізації управлінських рішень. У цьому контексті особливої актуальності набули методи моделювання сценаріїв, штучного інтелекту, машинного навчання та інтегрованих інформаційних систем бізнес-аналітики.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. У статтях [1-4] автори досліджують методологічні аспекти та аналітико-інформаційне забезпечення менеджменту в будівельному девелопменті, акцентують увагу на необхідності впровадження сучасних інформаційних технологій для підвищення ефективності управлінських рішень та організаційно-технологічних процесів у будівництві. Наукові праці [5-8] присвячені розробці науково-методичних підходів до створення полікритеріальної системи адміністрування діяльності підприємств, залучених у будівельні проєкти. Автори пропонують інтеграцію різних критеріїв оцінки для підвищення ефективності управління та прийняття рішень у будівельному девелопменті. У статтях [6-9] автори аналізують інструменти для вибору альтернативних шляхів реалізації будівельних проєктів, враховуючи функціонально-технічну надійність виконавчих організацій. Вони підкреслюють важливість полікритеріального підходу для забезпечення успішного виконання будівельних проєктів. Автори [10-12] досліджують моделі вибору ключових індикаторів для оцінки діяльності будівельних підприємств. Вони аналізують етимологію та типологію систем діагностики, що дозволяє розробити більш точні та ефективні методи оцінки управлінських та організаційно-технологічних рішень у будівельному девелопменті. Дослідження [13-18] розглядають методологічні аспекти та інформаційне забезпечення менеджменту організацій у будівельному девелопменті. Автори підкреслюють важливість системного підходу та використання сучасних інформаційних технологій для підвищення ефективності управлінських рішень.

Метою статті є розробка та оновлення науково-методичних підходів до побудови полікритеріальної системи діагностики операційної діяльності підприємств-стейкхолдерів будівельних проєктів. Дослідження спрямоване на удосконалення механізмів оцінювання ефективності операційних процесів у будівництві, визначення ключових критеріїв діагностики та впровадження інтегрованих методик аналізу функціональної та економічної стійкості компаній, залучених до девелоперських проєктів.

Виклад основного матеріалу дослідження. Діагностика як науковий та практичний інструмент оцінки стану системи повинна розглядатися саме з системних позицій, оскільки вона охоплює взаємопов’язані компоненти, що

впливають один на одного в процесі аналізу. Системний підхід до діагностики дозволяє враховувати комплексний характер економічних, управлінських, фінансових, технологічних та соціальних процесів, які визначають ефективність функціонування підприємств. Основним аргументом на користь системного розгляду діагностики є тісна взаємодія між її ключовими елементами: діагностичними індикаторами, інструментарієм, методиками та методами діагностики. Ці компоненти не є автономними, а формують цілісну структуру, в якій зміни одного елемента впливають на ефективність інших. Наприклад, вибір діагностичних індикаторів напряму залежить від використовуваних методів аналізу, адже різні підходи потребують різних наборів показників. Водночас інструментарій діагностики має бути адаптованим до конкретних методик та критеріїв оцінки, що забезпечує максимальну точність та обґрунтованість висновків. В таблиці 1 зокрема, розглянуто такі популярні методи, як: метод аналізу ієрархій (AHP – Analytic Hierarchy Process), метод аналізу мережевих процесів (ANP – Analytic Network Process), метод PROMETHEE (Preference Ranking Organization Method for Enrichment Evaluations), метод ELECTRE (ELimination Et Choix Traduisant la REalité), метод VIKOR (VIsekriterijumska Optimizacija i Kompromisno Resenje), метод TOPSIS (Technique for Order Preference by Similarity to Ideal Solution), метод MOORA (Multi-Objective Optimization on the Basis of Ratio Analysis), метод SAW (Simple Additive Weighting), метод WSM (Weighted Sum Model), метод MAUT (Multi-Attribute Utility Theory), метод аналізу граничних корисностей (UTA – Utilité Additive, Additive Utility Analysis), які дозволяють аналізувати та обирати оптимальні варіанти рішень на основі різних критеріїв, що можуть бути використані для вибору підрядників, оцінки інвестиційної привабливості, оптимізації місця будівництва та інших задач, що потребують комплексного аналізу альтернатив.

Таблиця 1.

Сучасні методи багатокритеріального прийняття рішень

Метод	**Розробник**	**Галузі застосування**	**Переваги**	**Недоліки**	**Приклад у будівництві**
Метод аналізу ієрархій (AHP)	Томас Сааті 1970-ті	Стратегічне планування, управління проєктами	Гнучкий, враховує якісні та кількісні критерії	Суб’єктивність у визначенні ваг	Вибір оптимального підрядника
Метод аналізу мережевих процесів (ANP)	Томас Сааті 1996	Економіка, управління ризиками, будівництво	Враховує взаємозалежність між критеріями	Складний математичний апарат	Оптимальна концепція забудови

Метод	Розробник	Галузі застосування	Переваги	Недоліки	Приклад у будівництві
Метод PROME-THEE	Жан-П'єр Бранзі, Бернард Маер 1982	Логістика, стратегічне планування, будівництво	Гнучкість у виборі функцій переваги	Потребує великих обсягів даних	Ранжування варіантів забудови
Метод ELECTRE	Бернар Руа 1960-ті	Енергетика, транспорт, будівництво	Дозволяє враховувати конфліктні критерії	Складність у розрахунках	Оцінка альтернативних матеріалів
Метод VIKOR	С. Опрічович, 1998	Будівництво, управління проєктами, економіка	Знаходить компромісне рішення	Чутливість до ваг критеріїв	Вибір місця для забудови
Метод TOPSIS	Хванг і Яо 1981	Управління ризиками, будівництво	Знаходить рішення, найближче до ідеального	Не враховує взаємозв'язки між критеріями	Вибір технології будівництва
Метод MOORA	Браун 1995	Економіка, будівництво, екологія	Простий у використанні, гнучкий	Не враховує якісні фактори	Оптимізація вибору постачальника
Метод SAW	—	Логістика, будівництво	Простий, зручний	Не враховує взаємозв'язки між критеріями	Оцінка інвестиційної привабливості
Метод WSM	—	Економіка, будівництво	Інтуїтивний, простий у розрахунках	Вимагає нормалізації даних	Оптимізація місця будівництва
Метод MAUT	Фон Нейман, Моргенштерн 1940-ві	Фінанси, будівництво	Враховує суб'єктивні переваги	Високі вимоги до вхідних даних	Вибір фінансової моделі проєкту
Метод аналізу граничних корисностей (UTA)	Жак С. Дуарте 1970-ті	Економіка, маркетинг, фінанси	Гнучкість у врахуванні переваг споживачів	Висока складність розрахунків	Оцінка ринкової привабливості забудови

Системність діагностики також проявляється в необхідності комплексного оцінювання підприємства або об'єкта дослідження. Використання лише одного підходу або вузької групи показників може призвести до спотворення реальної картини або часткових висновків. Наприклад, фінансова діагностика може показати позитивний стан підприємства з точки зору ліквідності та прибутковості, але якщо не враховувати інноваційний потенціал, рівень конкурентоспроможності та

ефективність стратегічного управління, можна пропустити важливі ризики довгострокового розвитку компанії. Тому ефективна діагностика передбачає врахування множини параметрів, що дозволяє будувати інтегровану модель оцінки. Крім того, методи діагностики є взаємопов'язаними і можуть бути інтегровані для підвищення точності результатів. Наприклад, економетричне моделювання може поєднуватися з експертними методами оцінки, а SWOT-аналіз — з методом аналізу ієрархій (AHP) для визначення найбільш критичних чинників. Відсутність системного підходу призводить до фрагментарного аналізу, що не дозволяє врахувати всі аспекти управлінської діяльності та ухвалювати обґрунтовані стратегічні рішення. Ще одним важливим аспектом системного підходу є адаптивність діагностики до динамічних змін зовнішнього та внутрішнього середовища. Економічні, політичні та соціальні фактори постійно змінюються, тому діагностичні методики також повинні коригуватися відповідно до нових викликів. Наприклад, із розвитком цифрових технологій з'явилися нові підходи до аналізу, такі як машинне навчання, великі дані та блокчейн, які значно змінюють традиційні методи оцінки. Якщо не враховувати ці зміни комплексно, діагностичні системи можуть втратити свою актуальність та ефективність. Аналіз наведених методів багатокритеріального прийняття рішень (МКПР) показує, що кожен із них має свої переваги та недоліки у вирішенні управлінських задач. Наприклад, метод аналізу ієрархій (AHP) та метод аналізу мережевих процесів (ANP) ефективно використовуються для стратегічного планування та оцінки інвестиційної привабливості, тоді як методи VIKOR та TOPSIS добре підходять для порівняння альтернативних варіантів реалізації будівельних проєктів. Методи ELECTRE та PROMETHEE дають змогу аналізувати конкурентні середовища та вибирати оптимальні бізнес-рішення у випадках з високою невизначеністю. Метод аналізу граничних корисностей (UTA) допомагає визначати переваги споживачів та адаптувати девелоперські стратегії під запити ринку. Однак для повноцінної оцінки діяльності підприємства-девелопера необхідно використовувати систему бізнес-індикаторів, що охоплюють фінансові, економічні, інноваційні, управлінські, організаційно-технологічні та соціальні аспекти (табл. 2).

Таблиця 2

Ключові бізнес-індикатори діагностики ефективності підприємства-девелопера в будівництві

№	Бізнес-індикатор	Сутність	Методи аналізу	Приклад застосування у будівництві
1	Рентабельність девелоперського проєкту	Показує співвідношення отриманого прибутку до витрат на реалізацію	AHP, VIKOR, TOPSIS	Вибір оптимального проєкту для інвестицій

№	Бізнес-індикатор	Сутність	Методи аналізу	Приклад застосування у будівництві
		проєкту		
2	Ступінь фінансової стійкості	Відображає здатність компанії підтримувати фінансову рівновагу	ELECTRE, PROMETHEE, ANP	Аналіз частки власного капіталу у загальній структурі активів
3	Коефіцієнт ліквідності	Оцінює здатність покривати короткострокові зобов'язання	AHP, WSM, MAUT	Визначення фінансового стану підприємства
4	Окупність інвестицій (ROI)	Оцінює ефективність вкладених коштів у девелоперський проєкт	PROMETHEE, TOPSIS	ROI = (Чистий прибуток / Інвестиції) × 100%
5	Динаміка зміни вартості активів	Показує зміну ринкової вартості активів протягом періоду	AHP, ELECTRE, VIKOR	Аналіз вартості землі та нерухомості
6	Ступінь ризикованості будівельних проєктів	Аналіз рівня фінансових, операційних і ринкових ризиків	UTA, ANP, SAW	Визначення рівня ризиків для нового проєкту
7	Термін реалізації девелоперських проєктів	Порівнює запланований та фактичний термін будівництва	ELECTRE, PROMETHEE	Виявлення відхилень у графіку будівництва
8	Кредитне навантаження	Оцінює частку позикових коштів у загальному капіталі компанії	VIKOR, AHP	Визначення допустимого рівня боргових зобов'язань
9	Рівень інноваційної активності	Оцінює використання новітніх технологій у проєктах	ANP, UTA	Використання «розумних» будинків, енергоефективних рішень
10	Кількість реалізованих проєктів	Відображає ефективність компанії за кількістю зданих об'єктів	SAW, TOPSIS	Порівняння успішних кейсів забудовника
11	Маркетингова привабливість об'єктів	Оцінює рівень попиту на забудовані об'єкти	MAUT, UTA	Визначення обсягів попередніх продажів
12	Репутаційний рейтинг компанії	Оцінює рівень довіри до бренду девелопера	ANP, ELECTRE	Рейтинг у професійних колах та серед інвесторів
13	Екологічна стійкість забудови	Оцінює рівень дотримання екологічних стандартів	VIKOR, PROMETHEE	Використання екологічно чистих матеріалів
14	Коефіцієнт окупності вартості	Показує швидкість продажу об'єктів після	SAW, AHP	Визначення термінів реалізації квартир та

№	Бізнес-індикатор	Сутність	Методи аналізу	Приклад застосування у будівництві
	продажу (CRR)	завершення будівництва		комерційних приміщень
15	Доля повторних покупців	Відображає рівень задоволеності клієнтів	UTA, MAUT	Аналіз кількості повторних інвестицій клієнтів у проєкти компанії

Система діагностики організаційно-технологічних рішень у будівельному девелопменті є комплексним інструментом аналізу, що дозволяє оцінити ефективність прийнятих управлінських та технологічних стратегій, визначити потенційні ризики та оптимізувати процеси реалізації девелоперських проєктів. Даний підхід базується на системному розгляді будівельного процесу, інтегруючи фінансові, технічні, організаційні та інноваційні параметри в єдину діагностичну модель. Основою цієї системи є багатокритеріальний аналіз, який дозволяє одночасно враховувати декілька факторів, що впливають на якість та ефективність реалізації проєкту. До ключових параметрів відносяться відповідність обраної організаційної структури девелоперського підприємства стратегічним цілям проєкту, ефективність управління ресурсами, рівень технологічної готовності будівельних підрозділів, а також дотримання встановлених графіків та бюджетних рамок. Для цього використовуються методи експертного оцінювання, математичного моделювання та цифрової аналітики.

Важливим елементом діагностики є оцінка раціональності застосованих будівельних технологій та їхнього впливу на загальну рентабельність проєкту. До уваги беруться такі показники, як продуктивність вибраних методів будівництва, рівень автоматизації процесів, можливості інтеграції інноваційних матеріалів і конструктивних рішень. Ефективність цих аспектів оцінюється на основі аналізу витрат, термінів та екологічної стійкості проєкту, що дозволяє виявити найбільш оптимальні технологічні сценарії. Система також включає оцінку організаційних рішень, що стосуються координації роботи підрядників, логістичних схем постачання матеріалів, використання інформаційних технологій у процесі керування проєктом. Особлива увага приділяється питанням ризик-менеджменту, включаючи ймовірність відхилень у термінах виконання робіт, зміну вартості матеріалів, вплив регуляторних обмежень та можливі фінансові загрози. У цьому контексті використовується прогнозне моделювання, що дозволяє передбачити негативні сценарії та розробити стратегії їхньої мінімізації.

Діагностичний процес передбачає інтеграцію цифрових рішень, таких як BIM-моделювання, системи штучного інтелекту для прогнозування

ефективності організаційно-технологічних рішень, а також хмарні платформи для управління процесами будівництва. Впровадження таких технологій сприяє підвищенню точності оцінки організаційних і технологічних параметрів проєкту, забезпечує гнучкість управління та дозволяє оперативно адаптуватися до змін зовнішнього середовища. Оцінка ефективності організаційно-технологічних рішень здійснюється на основі порівняння фактичних показників з еталонними значеннями або найкращими практиками в галузі. Це дозволяє визначити рівень відповідності ухвалених рішень сучасним стандартам і тенденціям девелопменту. Важливу роль у цьому відіграє аналіз показників продуктивності, таких як швидкість зведення об'єктів, рівень використання ресурсів, рівень залучення кваліфікованої робочої сили, ефективність внутрішньої комунікації та організації будівельного майданчика. Результати діагностики використовуються для коригування організаційної структури девелоперського підприємства, вдосконалення технологічних процесів, оптимізації управлінських стратегій. Отримані дані також допомагають сформувати рекомендації щодо покращення процесів проєктування, вибору підрядників, підвищення інвестиційної привабливості будівельних проєктів. Завдяки цьому девелоперські компанії отримують змогу приймати більш обґрунтовані управлінські рішення, підвищувати ефективність роботи та зменшувати витрати. На сучасному етапі полікритеріальна система економіко-управлінської діагностики набуває все більшої динамічності та адаптивності. Вона включає широкий спектр інструментів аналізу, що дозволяють оцінювати підприємство з точки зору його стійкості, конкурентоспроможності, інноваційного потенціалу, соціальної відповідальності та ефективності використання ресурсів. Однією з ключових тенденцій є інтеграція діагностичних процесів у цифрові платформи управління підприємством, що сприяє підвищенню оперативності прийняття рішень і мінімізації суб'єктивних оцінок.

Висновки. Система діагностики організаційно-технологічних рішень у будівельному девелопменті виступає як інструмент комплексного аналізу, що дозволяє контролювати якість і ефективність процесів, мінімізувати ризики та підвищувати конкурентоспроможність компанії на ринку. Її застосування сприяє підвищенню ефективності використання ресурсів, скороченню термінів реалізації будівельних проєктів і забезпеченню стабільного розвитку девелоперських підприємств. Таким чином, системний підхід до діагностики забезпечує її комплексність, точність, взаємозв'язок компонентів та адаптивність до змін. Він дозволяє отримати об'єктивні та обґрунтовані результати, що є критично важливим для стратегічного управління підприємствами в умовах сучасної економіки. Подальший розвиток даної

системи буде пов’язаний з удосконаленням алгоритмів штучного інтелекту для автоматизації процесів аналізу великих масивів даних, а також із впровадженням технологій розширеної та віртуальної реальності для візуалізації комплексних економічних процесів. Важливою складовою майбутніх підходів до полікритеріальної діагностики стане глибша персоналізація оцінок на основі адаптивних моделей, що будуть враховувати індивідуальні особливості кожного підприємства, його стратегічні цілі та динаміку змін середовища сучасного будівельного девелопменту.

Список використаних джерел

1. Рижакова, Г.М., Орленко, І.М., & Малихіна, О.М. (2021). Методологічна регламентація та аналітико-інформаційне забезпечення менеджменту організацій в сучасній системі будівельного девелопменту. *Формування ринкових відносин в Україні*, (7-8), 59-65.

2. Рижакова, Г., Приходько, Д., Поколенко, В., Петруха, Н., Чуприна, Ю., & Хоменко, О. (2022). Оновлення науково-методичних підходів до побудови полікритеріальної системи адміністрування діяльністю підприємств-стейкхолдерів проєктів будівництва. *Просторовий розвиток*, (1), 218-233.

3. Поколенко, В.О., Рижакова, Г.М., & Приходько, Д.О. (2014). Запровадження інструментарію вибору альтернатив реалізації будівельних проектів за функціонально-технічною надійністю організацій-виконавців. *Управління розвитком складних систем*, (19 (2)), 108-114.

4. Рижакова, Г.М., Приходько, Д.О., Предун, К.М., Лугіна, Т.С., & Коваль, Т. С. (2017). Моделі цільового вибору репрезентативних індикаторів діяльності будівельних підприємств: етимологія та типологія систем діагностики. Управління розвитком складних систем. – 2019. – № 39. – С. 154 – 163; dx.doi.org\10.6084/m9.figshare.11340710.

5. Трач Р.В., Рижакова Г.М., Крижановський В.І. Інформаційне моделювання та концепція інтегрованої реалізації будівельних проектів як основа інноваційного розвитку будівельного підприємства. *Управління розвитком складних систем*. – 2017. – № 31. – С. 173 – 178.

6. O. Bielienkova, T. Kishchenko, A. Aryn, G. Ryzhakova and O. Mostovenko. Institutional measurement of structural characteristics of residential real estate markets using the method of cluster analysis,*2024 IEEE 4th International Conference on Smart Information Systems and Technologies (SIST),* Astana, Kazakhstan, 2024, pp. 612-617, doi: 10.1109/SIST61555.2024.10629395

7. Bielienkova, O., Ryzhakova, G., Kulikov, O., Akselrod, R., Loktionova, Y.Formation of Organizational Change Management Strategies Based on Fuzzy Set

Methods. *Lecture Notes on Data Engineering and Communications Technologies*, 2024, 195, pp. 251–275.

8. G. Ryzhakova, T. Honcharenko, K. Predun, N. Petrukha, O. Malykhina and O. Khomenko, "Using of Fuzzy Logic for Risk Assessment of Construction Enterprise Management System," *2023 IEEE International Conference on Smart Information Systems and Technologies (SIST)*, Astana, Kazakhstan, 2023, pp. 208-213, doi: 10.1109/SIST58284.2023.10223560.

9. Berezutskyi, T. Honcharenko, G. Ryzhakova, O. Tykhonova, V. Pokolenko and I. Sachenko. Methodological Approach for Choosing Type of IT Projects Management. *2024 IEEE 4th International Conference on Smart Information Systems and Technologies (SIST)*, Astana, Kazakhstan, 2024, pp. 14-19, doi: 10.1109/SIST61555.2024.10629587.

10. Ryzhakova, G. (2023). Modeling the Cause-and-Effect Relationships between the Causes of Damage and External Indicators of RC Elements Using ML Tools. *Sustainability, 15, 5250*.

11. Trach, R., Khomenko, O., Trach, Y., Kulikov, O., Druzhynin, M., Kishchak, N., Ryzhakova, G., Petrenko, H., Prykhodko, D., &Obodianska, O. (2023). Application of Fuzzy Logic and SNA Tools to Assessment of Communication Quality between Construction Project Participants. *Sustainability*, 15(7), 5653.https://doi.org/10.3390/su15075653

12. Онікієнко Н.В., Петруха Н.М., Рижакова Г.М. Науково-прикладні компоненти полікритеріальної системи оцінки інноваційного розвитку підприємств: імперативи взаємодії інтегрованих структур. *Шляхи підвищення ефективності будівництва в умовах формування ринкових відносин.* 2023. No 52(1). С. 261-273.

13. Дружинін М.А., Хоменко О.М., Рижакова Г.М. Методологічний концепт і прикладні засади адаптогенної організації будівництва з урахуванням сучасних інноваційно-інвестиційних трендів. *Управління розвитком складних систем.* Київ, 2024. № 59. С. 182 – 190, dx.doi.org\10.32347/2412-9933.2024.59.182-190.

14. Хоменко О.М., Петренко Г.С., Рижакова Г.М., Петруха Н.М., Чуприна Ю.А., Малихіна О.М., Кушнір О.К. Сучасні інструменти та програмні продукти адміністрування будівельними організаціями в умовах трансформації операційних систем менеджменту. *Управління розвитком складних систем.* Київ, 2022. № 52. С. 113 – 125, dx.doi.org\10.32347/2412-9933.2022.52.113-125.

15. Хоменко О.М., Рижакова Г.М., Малихіна О.М., Петренко Г.С., Степанюк Р. Б. Цільові пріоритети та формалізовані індикатори трансформації операційних систем стейкхолдерів будівництва. *Управління розвитком*

складних систем. Київ, 2023. № 56. С. 173 – 180, dx.doi.org\10.32347/2412-9933.2023.56.173-180.

16. Кричевська Ю.В., Рижакова Г.М., Шпаков А.В., Поколенко В.О., Приходько Д.О. Цифрова екосистема в будівельному девелопменті: концептуально-теоретичні аспекти трансформації та управлінські імперативи. *Управління розвитком складних систем.* Київ, 2024. № 60. С. 174 – 182, dx.doi.org\10.32347/2412-9933.2024.60.174-182.

17. Кричевська Ю.В., Шпаков А.В., Рижакова Г.М. Процесно-орієнтоване адміністрування життєвого циклу девелоперських проєктів у контексті цифрової трансформації будівельних підприємств.*Просторовий розвиток,*(10), 626-640.

18. Фесун А.С., Кончаківський О.І., Степанюк Р.Б., Рижакова Г.М., Федорова Я.Ю. (2024). Концептуально-аналітичні особливості забезпечення бізнес-стійкості підприємств у мультипроєктному середовищі будівельного девелопменту. *Будівельне виробництво*, (77), 58-66.

Doctor of Economics, Professor **Otenko Iryna,**
Simon Kuznets Kharkiv National University of Economics,
Postgraduate students: **Yaroslav Kirik, Alexandr Petrenko,**
Jamil Guliyev, Andrii Demchuk, Igor Katsiuba,
Kyiv National University of Construction and Architecture

SCIENTIFIC AND APPLIED COMPONENTS OF THE MULTICRITERIA DIAGNOSTIC SYSTEM FOR ORGANIZATIONAL-TECHNOLOGICAL AND ECONOMIC-MANAGERIAL DECISIONS IN CONSTRUCTION DEVELOPMENT

The article explores the diagnostic system of organizational-technological decisions in construction development as a key tool for assessing the effectiveness of management strategies, technological processes, and innovative approaches in the implementation of construction projects. Modern multicriteria decision-making methods (AHP, ANP, VIKOR, ELECTRE, TOPSIS, UTA, etc.) and their adaptation for evaluating the activities of development enterprises are analyzed. A system of business indicators forming a comprehensive evaluation model for development projects is considered, including financial, technological, organizational, and market indicators. The necessity of applying multicriteria approaches for diagnosing the efficiency of construction development is substantiated, allowing for the simultaneous consideration of economic, technological, and managerial aspects. Fifteen key indicators have been identified, including profitability, financial stability,

return on investment, level of innovation activity, project implementation speed, credit load, and environmental sustainability of development. Their role in risk forecasting and strategic management of construction sector enterprises has been assessed. Approaches to diagnosing organizational-technological decisions in construction based on digital platforms, BIM modeling, artificial intelligence analytical systems, and predictive analysis methods have been examined. It has been determined that the use of intelligent diagnostic systems ensures increased accuracy in assessing the enterprise's condition, enables rapid adaptation to changing market conditions, and optimizes construction resource management processes. A conceptual approach to the comprehensive assessment of development projects has been proposed, incorporating multicriteria analysis of technological efficiency, financial-economic indicators, and risk management. The integration of analytical models into construction development has been found to contribute to cost minimization, acceleration of project implementation timelines, and increased competitiveness of development companies. The research findings can be used to improve construction project management, develop investment strategies, and optimize business models in the real estate sector.

Keywords: diagnostics; construction development; construction organization; multicriteria analysis; organizational-technological decisions; management; financial stability; return on investment; risk management; innovation activity; strategic management; business indicators; construction project efficiency; competitiveness; digital technologies.

REFERENCES

1. Ryzhakova, G.M., Orlenko, I.M., & Malykhina, O.M. (2021). Methodological Regulation and Analytical-Information Support of Organization Management in the Modern System of Construction Development. *Formation of Market Relations in Ukraine*, (7-8), 59-65. {in Ukrainian}

2. Ryzhakova, G., Prykhodko, D., Pokolenko, V., Petrukha, N., Chupryna, Yu., & Khomenko, O. (2022). Updating Scientific and Methodological Approaches to the Development of a Multicriteria Administration System for Stakeholder Enterprises in Construction Projects. *Spatial Development*, (1), 218-233. {in Ukrainian}

3. Pokolenko, V.O., Ryzhakova, H.M., & Prykhodko, D.O. (2014). Implementation of a Toolkit for Selecting Alternatives for Construction Project Execution Based on the Functional and Technical Reliability of Contractor Organizations. *Management of Complex Systems Development*, (19 (2)), 108-114. {in Ukrainian}

4. Ryzhakova, G.M., Prykhodko, D.O., Predun, K.M., Luhina, T.S., & Koval, T. S. (2017). Models for the Targeted Selection of Representative Indicators of Construction Enterprises' Activities: Etymology and Typology of Diagnostic Systems. *Management of Complex Systems Development*, (39), 154-163; dx.doi.org\10.6084/m9.figshare.11340710. {in Ukrainian}

5. Trach, R.V., Ryzhakova, G.M., Kryzhanovskyi, V.I. Information Modeling and the Concept of Integrated Construction Project Implementation as the Basis for Innovative Development of a Construction Enterprise. *Management of Complex Systems Development*, (31), 173-178. {in Ukrainian}

6. O. Bielienkova, T. Kishchenko, A. Aryn, G. Ryzhakova, and O. Mostovenko. Institutional Measurement of Structural Characteristics of Residential Real Estate Markets Using the Method of Cluster Analysis. *2024 IEEE 4th International Conference on Smart Information Systems and Technologies (SIST),* Astana, Kazakhstan, 2024, pp. 612-617, doi: 10.1109/SIST61555.2024.10629395.

7. Bielienkova, O., Ryzhakova, G., Kulikov, O., Akselrod, R., Loktionova, Y. Formation of Organizational Change Management Strategies Based on Fuzzy Set Methods. *Lecture Notes on Data Engineering and Communications Technologies*, 2024, 195, pp. 251–275. {in English}

8. G. Ryzhakova, T. Honcharenko, K. Predun, N. Petrukha, O. Malykhina, and O. Khomenko. Using of Fuzzy Logic for Risk Assessment of Construction Enterprise Management System. *2023 IEEE International Conference on Smart Information Systems and Technologies (SIST), Astana, Kazakhstan, 2023, pp. 208-213, doi: 10.1109/SIST58284.2023.10223560.* {in English}

9. Berezutskyi, T. Honcharenko, G. Ryzhakova, O. Tykhonova, V. Pokolenko, and I. Sachenko. Methodological Approach for Choosing the Type of IT Project Management. *2024 IEEE 4th International Conference on Smart Information Systems and Technologies (SIST),* Astana, Kazakhstan, 2024, pp. 14-19, doi: 10.1109/SIST61555.2024.10629587. {in English}

10. Ryzhakova, G. (2023). Modeling the Cause-and-Effect Relationships Between the Causes of Damage and External Indicators of RC Elements Using ML Tools. *Sustainability,* 15, 5250. {in English}

11. Trach, R., Khomenko, O., Trach, Y., Kulikov, O., Druzhynin, M., Kishchak, N., Ryzhakova, G., Petrenko, H., Prykhodko, D., & Obodianska, O. (2023). Application of Fuzzy Logic and SNA Tools to Assessment of Communication Quality between Construction Project Participants. *Sustainability*, 15(7), 5653. https://doi.org/10.3390/su15075653 {in English}

12. Onikiienko, N.V., Petrukha, N.M., & Ryzhakova, G.M. (2023). Scientific and Applied Components of a Multicriteria System for Assessing the Innovative Development of Enterprises: Imperatives for Interaction of Integrated

Structures. *Ways to Improve Construction Efficiency in the Context of Market Relations Formation*, No. 52(1), pp. 261–273. {in Ukrainian}

13. Druzhynin, Maksym, Khomenko, Oleksandr & Ryzhakova, Galyna. (2024). Methodological concept and applied principles of adaptogenic construction organization considering modern innovative and investment trends. *Management of Development of Complex Systems*, 59, 182–190. dx.doi.org\10.32347/2412-9933.2024.59.182-190. {in Ukrainian}

14. Homenko, Oleksandr, Petrenko, Hanna, Ryzhakova, Galyna, Chupryna, Yurii, Malykhina, Oksana, Petrukha, Nina & Kushnir, Olesii. (2022). Modern tools and software products for the administration of construction organizations in the conditions of transformation of operational management systems. *Management of Development of Complex Systems*, 52, 113–125, dx.doi.org\10.32347/2412-9933.2022.52.113-125. {in Ukrainian}

15. Khomenko, O., Ryzhakova, G., Malykhina, O., Petrenko, H. & Stepaniuk, R. (2023). Target priorities and transformation formalized indicators of operational systems for construction stakeholders. *Management of Development of Complex Systems*, 56, 173–180, dx.doi.org\10.32347/2412-9933.2023.56.173-180. {in Ukrainian}

16. Krychevs'ka, Y., Ryzhakova, G., Shpakov, A., Pokolenko, V. & Prykhodko, D. (2024). Digital ecosystem in construction development: conceptual-theoretical aspects of transformation and management imperatives. *Management of Development of Complex Systems*, (60), 174–182, dx.doi.org\10.32347/2412-9933.2024.60.174-182. {in Ukrainian}

17. Krychevska, Y.V., Shpakov, A.V., & Ryzhakova, H.M. (2024). Process-oriented administration of the life cycle of development projects in the context of digital transformation of construction enterprises**.** *Spatial Development*, *10*, 626–640. {in Ukrainian}

18. Fesun, A.S., Konchakivskyi, O.I., Stepaniuk, R.B., Ryzhakova, H.M., & Fedorova, Ya.Yu. (2024). Conceptual and analytical features of ensuring business resilience of enterprises in a multi-project construction development environment**.** *Construction Production*, *77*, 58–66. {in Ukrainian}

DOI: 10.32347/2786-7269.2025.11.489-509
УДК : 69.05:697.922:620.9
к.т.н. **Перегінець І.І.**,
ivan.pereginets@gmail.com, ORCID: 0000-0003-3812-6509,
НТЦ Академії будівництва України, м. Київ

ОСНОВИ ОРГАНІЗАЦІЇ БУДІВНИЦТВА БУДІВЕЛЬ З ПОЗИТИВНИМ ЕНЕРГОБАЛАНСОМ ЗА КРИТЕРІЯМИ ТОВАРНИХ ОДИНИЦЬ

Представлено результати дослідження принципів організації будівництва та управління життєвим циклом житлових будинків з позитивним енергетичним балансом (ПЕБ) за критеріями товарних одиниць. Розглянуто інноваційні архітектурно-конструктивні рішення, інтеграцію відновлюваних джерел енергії та автоматизованих кліматичних систем при спорудженні таких будівель. Особлива увага приділяється використанню інформаційного моделювання будівель BIM (Building Information Modeling) для оптимізації процесів проектування та експлуатації житлових будинків. Створено класифікацію будівель з позитивним енергобалансом, що заснована на різниці в кількості виробленої та спожитої енергії. Розроблено формулу для оцінки вартості життєвого циклу будівель з позитивним енергобалансом. Проведено розрахунки вартості життєвого циклу будівель з різними класами енергетичної ефективності. Доведено, що концепція енергозберігаючих будинків з позитивним енергобалансом стає необхідною складовою сучасного житлового будівництва в світі. Надано визначення понять будівель з позитивним енергетичним балансом та позитивного енергетичного балансу. Визначено критерії експлуатаційних та споживчих характеристик об'єктів нерухомості. Розроблено концептуальний організаційний план спорудження будинків за критеріями товарних одиниць. Розроблено товарну лінійку індивідуальних будинків за критеріями товарних одиниць. Запропонований авторами статті комплексний підхід в організації будівництва енергоефективних будинків відповідає Директивам ЄС в створенні будівель з нульовими викидами до 2050 р та принципам здорового житла.

Ключові слова: організація; технологія; енергоефективність; позитивний енергобаланс; товарна одиниця; BIM-технології; мікроклімат; вартість життєвого циклу; відновлювані джерела енергії; принципи здорового житла.

Вступ. Енергоефективність житла є важливою складовою сталого розвитку. Сучасні будівлі повинні не тільки задовольняти потреби мешканців, але й мінімізувати їх вплив на навколишнє середовище. У цьому контексті

ключову роль відіграють організаційні процеси та технології, які сприяють зменшенню споживання енергії, використовують відновлювані джерела енергії та підтримують загальну декарбонізацію економіки.

У відповідності до Директив ЄС:

- 2010/31/ЄС (Energy Performance of Buildings Directive, EPBD);
- 2012/27/ЄС (Energy Efficiency Directive, EED);
- 2018/844/ЄС (Recast EPBD);
- регламенту (ЄС) 2020/852;

«Зеленого курсу» ЄС (European Green Deal), та інших документів встановлюються принципи енергетичної ефективності ЄС, що в свою чергу, імплементуються в національні нормативні документи.

Країни співтовариства зобов'язані затвердити технічні критерії сталого будівництва, впроваджувати вимоги до проектування та будівництва нових об'єктів нерухомості з майже нульовим споживанням енергії та мінімальних викидів CO_2. Таким чином, до 2050 року весь будівельний сектор ЄС має бути декарбонізований.

Директивою ЄС: 2010/31/ЄС надане визначення поняття (Nearly Zero-Energy Buildings, NZEB) - будівлі з майже нульовим споживанням енергії як: «будівля з дуже високими енергетичними характеристиками…майже нульова або дуже мала кількість необхідної енергії покривається в значній мірі за рахунок відновлюваних джерел, включаючи енергію з відновлюваних джерел, вироблену на місці або поблизу» [1].

Натомість у переглянутій Директиві 2024/1275 від 24 квітня 2024 року зазначено про будівлі з нульовими викидами (Zero-Emission Buildings): «покращена кліматична та енергетична амбіція Союзу вимагає нової візії для будівель: будівля з нульовими викидами, з дуже низьким енергоспоживанням, нульовими викидами вуглецю на місці від викопного палива та нульовими або дуже низькими експлуатаційними викидами парникових газів» [2].

Стандарт EN 15978 регулює оцінку екологічних характеристик будівель і ключові аспекти для розрахунку викидів CO_2протягом всіх етапів життєвого циклу:

а) A1-A5: виробництво та транспортування матеріалів, процес зведення споруди розраховується:

$$CO_2^{total} = \sum_{i=1}^{n}(Q_1 \cdot EF_i) + \sum_{i=1}^{n}(Q_1 \cdot D_1 \cdot EF_{fuel}) + E_{construction} \cdot EF_{energy}$$

де Q_1 – кількість кожного матеріалу;

EF_i – емісійний фактор матеріалу (кг CO_2/кг, кгCO_2/м. куб);

D_1 - відстань транспортування матеріалів (кг);

EF_{fuel} - емісійний фактор пального (кг CO_2/л);

$E_{construction}$ - енергія спожита під час будівельних робіт(кВт-год, літри пального)
EF_{energy} - емісійний фактор будівельних робіт (кг CO_2/ кВт-год, кгCO_2/л);

б) B1-B7: експлуатаційний період;

в) C1-C4: демонтаж та утилізація;

г) D: переробка матеріалів [3].

В Україні питання організації будівельного виробництва та енергоефективності будівель регулюються Законами України (ЗУ) та державними будівельними нормами (ДБН). Зокрема:

1. ЗУ«Про регулювання містобудівної діяльності»;«Про технічні регламенти та оцінку відповідності»; «Про надання будівельної продукції на ринку»; «Про енергетичну ефективність будівель»; «Про енергетичну ефективність»; «Про надання будівельної продукції на ринку»; «Про будівельні норми» [4].

2. ДБН А.3.1-5:2016 «Організація будівельного виробництва»; ДБН В.2.6-31:2021 «Теплова ізоляція та енергоефективність будівель»; ДБН В.1.2-11:2021 «Основні вимоги до будівель і споруд. Енергозбереження та енергоефективність»,

іншими законодавчими та нормативними актами.

В статті 21 Директиви 2018 /2001/ЄС зазначено право розпорядження енергією з відновлюваних джерел: «Держави - члени забезпечують, щоб споживачі енергії власного виробництва, розташовані в одній будівлі, в тому числі у багатоквартирному будинку, мали право брати участь у схемах спільного використання відновлюваної енергії, зберігаючи при цьому свої права та обов'язки як кінцеві споживачі.» [5].

Однак, прямого визначення поняття будівлі з позитивним енергетичним балансом (ПЕБ) з відновлюваних джерел в європейських і українських законодавчих чи нормативних документах не надається.

XXI століття характеризується переходом від промислової до цифрової економіки. Ключовими характеристиками постіндустріальної економіки є застосування інформаційних технології, автоматизації процесів, штучного інтелекту та інтернету речей (IoT). Наслідком цього переходу є різке зростання енергоспоживання для підтримки роботизації промислового виробництва, роботи дата-центрів, обчислювальних платформ та глобальної цифрової інфраструктури.

За даними Міжнародного енергетичного агентства (IEA), станом на 2024 рік, дата-центри використовують близько 1% світової електроенергії. Вдаючись до аналогії з роботою людського мозку, який споживає понад 20% енергії для забезпечення когнітивних процесів, пам'яті та підтримки основних життєвих функцій, можливо передбачити експонентний ріст енергетичних потреб для

управління глобальними соціально-економічними процесами вже найближчим часом. Для підтримки своїх «когнітивних» функцій, зберігання даних, квантових обчислень і переходу на електромобільний транспорт цифровій економіці необхідно збільшувати енергогенерацію з відновлюваних джерел енергії.

Будинки з позитивним енергобалансом, як засіб задоволення основоположних потреб людини в житлі, одночасно можуть стати частиною вирішення даної проблеми.

2. Огляд існуючих досліджень. Теоретичні і прикладні наукові дослідження з питань організації будівництва, енергозбереження, товарознавства, впровадження новітніх технологій та економічних показників енергетичної ефективності, приведені в роботах українських та зарубіжних вчених. Автори акцентують увагу на глобальних тенденціях у сфері енергоефективного будівництва, що є актуальним для України і світу. В роботі [6] зазначається, що впровадження енергоефективних технологій у комерційну нерухомість стикається з низкою проблем, зокрема відсутністю ефективних державних стимулів та підвищеною вартістю будівництва. Разом з тим не приводяться конкретні рекомендації щодо подолання цих перешкод та приклади успішних проектів, які могли б служити моделлю для інших забудовників. В роботі [7] наведено огляд енергозберігаючих технологій, які можна впроваджувати на етапі проектування житлових будівель. Однак автор не розглянув сучасні технології та матеріали, доступні на ринку з аналізом їх ефективності у контексті українських кліматичних та економічних умов. Сучасні тенденції світового будівництва зазначені в роботі [8], спрямовані на створення будівель, в яких комфортні планувальні рішення поєднуються з екологічністю і енергоефективністю. Проте, в роботі відсутній порівняльний аналіз впровадження цих тенденцій у різних країнах та рекомендації щодо адаптації найкращих практик у вітчизняному будівництві.

Стаття [9] присвячена аналізу політики, технології та практики, необхідні для переходу до будівель з нульовим споживанням енергії. Однак в статті відсутні конкретні приклади успішних проектів у різних регіонах, що продемонстрували б практичну реалізацію запропонованих стратегій.

В роботі [10] зазначається важливість урбаністичного планування для підвищення енергоефективності. Проте автори не аналізують потенційні соціальні та екологічні виклики, пов’язані з підвищенням щільності забудови, такі як зменшення зелених зон, вплив на якість життя та мешканців, зокрема на комплексне поняття комфорту.

Автори дослідження [11] аналізують глобальні тенденції та фактори, що впливають на енергоспоживання для опалення та охолодження будівель. Разом з цим, в статті не приводиться аналіз ефективності різних технологій кондиціонування та рекомендації щодо їх впровадження в різних кліматичних умовах.

В [12] вказано, що «Завданням, яке найчастіше доводиться вирішувати в процесі проектування організації ремонтно-будівельного виробництва, є формування і розрахунок нерівномірних потоків з неоднаковими розмірами приватних фронтів робіт.» Автори акцентують увагу на впровадженні lean-концепції в будівельних підприємствах, що є актуальним напрямом підвищення ефективності. Втім, для реалізації цієї концепції необхідно перебудовувати організаційний процес та адаптуватися до постійних змін в специфіці будівельної галузі.

В колективній роботі [13] приведено теоретичні основи та зміст товарознавства: виробництво, класифікацію, характеристику асортименту і споживних властивостей та якості товарів господарського та культурно-побутового призначення.

Дана праця надає відомості щодо асортименту та якості непродовольчих товарів. Втім, необхідно враховувати стрімкий розвиток IT-технологій щоб забезпечити актуальність даних для товарних лінійок довготривалого використання.

Аналіз представлених наукових праць показує, що для подальшого розвитку будівельного сектору необхідно проводити дослідження, які враховують організаційні, технічні, технологічні, демографічні, соціально-економічні, екологічні особливості функціонування об’єктів. До таких напрямків розвитку галузі відноситься застосування уніфікованих підходів до спорудження енергоефективних будівель, притаманних розробці товарних одиниць з заданими споживчими та експлуатаційними характеристиками. Організація будівництва будівель з високою енергетичною ефективністю (NZEB) та будівель з позитивним енергобалансом вимагає додаткового вивчення. Теоретичні основи та практичні алгоритми вирішення пов’язаних із цим проблем, визначають мету та завдання цієї наукової роботи.

3. Мета роботи та задачі досліджень. Дослідити особливості організації будівництва та управління життєвим циклом будівель з позитивним енергобалансом за критеріями товарних одиниць.

Для досягнення означеної мети в роботі сформульовані та вирішені наступні задачі:

- визначення понять будівель з позитивним енергобалансом, їх основні характеристики та способи використання надлишкової енергії;

- класифікація будівель з надлишковою енергогенерацією за ступенем зростання позитивного енергобалансу;

- оцінка економічної ефективності будівництва енергоефективних будівель з позитивним енергобалансом на основі вартості життєвого циклу;

- розробка плану заходів по організації будівництва будівель з позитивним енергетичним балансом за проектами повторного використання.

4. Виклад основного матеріалу.

Визначення понять. Автор визначає об'єкти нерухомості з позитивним енергобалансом як: ***«Будівлі і споруди, які здатні генерувати більший об'єм енергії ніж споживають при дотриманні нормативних параметрів експлуатації, мають високі показники енергетичної ефективності, оснащені відновлюваними джерелами енергії та інтелектуальними системами накопичення і розподілу енергетичних ресурсів».*** Стандарт будівель з позитивним енергобалансом доцільно назвати - «Energy+».

Позитивний енергетичний баланс визначенням як : ***«Стан будівлі чи іншої енергетичної системи, при якому обсяг енергії, яка згенерована відновлюваними джерелами енергії, перевищує обсяг спожитої енергії для функціонування будівлі чи іншої енергетичної системи за певний період часу».***

Основи проектування та зведення будівель з позитивним енергобалансом відповідають теоретичним основам товарознавства, які базується на принципах:

безпеки; ефективності; сумісності; взаємозамінюваності; систематизації.

Базовою особливістю організації будівництва будівель як товарних одиниць є застосування проектів повторного використання та BIM-технологій (Building Information Modeling), включно з регламентацією споживчих та експлуатаційних характеристик будинку. Складовою частиною проектної документації є розробка регламентів та моніторинг усіх технічних характеристик споруди на протязі життєвого циклу будівлі (Рис.1).

Сучасна енергоефективна споруда є складною інженерно-інтелектуальною системою, яку доцільно розробити, протестувати і вдосконалити для серійного виробництва за теорією товарного виробництва. Такий підхід надає значні економічні і технологічні переваги перед індивідуальним методом будівництва.

В (таблиця 1) приведені характеристики життєвого циклу індивідуальних будинків з позитивним енергобалансом в порівнянні зі звичайними будинками.

Факторами доцільності застосування товарного підходу до комплектування та зведення енергоефективних будівель є забезпечення їх уніфікованим інженерним обладнанням, енергоефективними конструктивними

елементами, можливість спільної роботи в загальних енергомережах, ремонтнопригодність та єдині центри обслуговування будинку.

Продуктом діяльності такої товарної одиниці є висока якість житла, надлишкова теплова і електрична енергія. Завдяки такому підходу підвищується інвестиційна привабливість об'єкту нерухомості як активу домогосподарства, комунального чи комерційного підприємства.

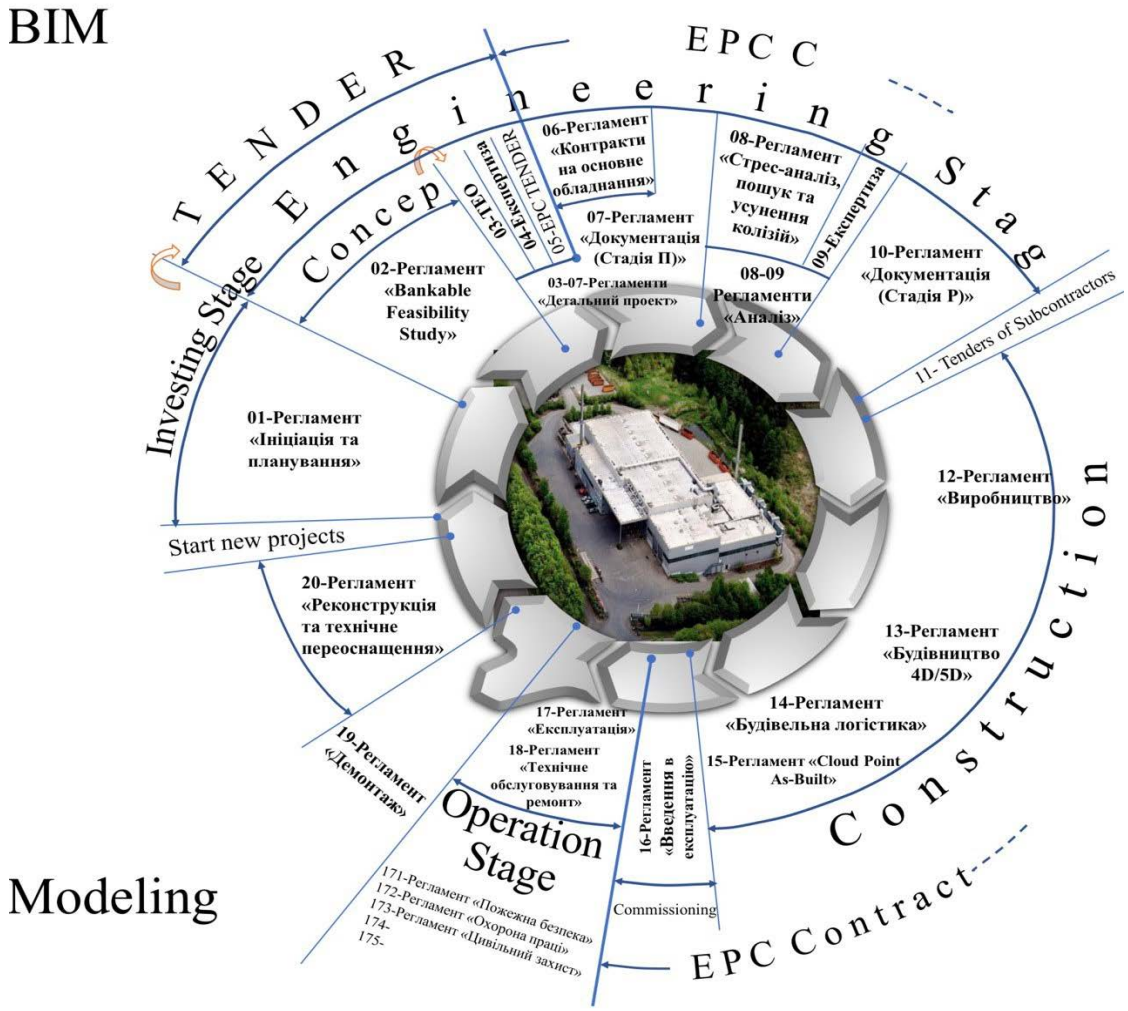


Рис. 1. Регламенти життєвого циклу будинків BIM як товарних одиниць.

Регламенти створення BIM-моделі:

1. Ініціація та планування.
2. Техніко-економічне обґрунтування для фінансування будівництва.
3. ТЕО (1 стадія проектування).
4. Експертиза ТЕО.
5. Тендери на комплектацію.
6. Контракти на основне обладнання.
7. Документація (Стадія П).
8. Пошук та усунення колізій.
9. Експертиза.
10. Документація (Стадія Р).
11. Тендери субпідрядників.
12. Виробництво.
13. Будівництво: графіки та кошторисні показники 4D/5D.
14. Будівельна логістика.

15. Створення хмарної моделі збудованого об’єкту.
16. Введення в експлуатацію.

Регламенти використання BIM-моделі:

17. Експлуатація
18. Технічне обслуговування та ремонт
19. Демонтаж
20. Реконструкція та технічне переоснащення

Таблиця 1.

Характеристики будівництва будинків «Energy+» та звичайних будинків.

Характеристика будівництва	**Будинки Energy+**	**Звичайні будинки**
1	**2**	**3**
Енергоспоживання	< 40 кВт·год/м² на рік	> 100 кВт·год/м² на рік
Джерела енергії	Відновлювані джерела енергії (сонце, вітер, геотермальна енергія, рекуперація енергії повітря і стоків)	Викопне паливо, електроенергія з централізованої мережі
Енергетичний баланс	Позитивний (генерація перевищує споживання)	Негативний (постійне споживання енергії без генерації)
Автономність	100% автономії за рахунок СЕС (сонячна електростанція)	Залежність від зовнішніх джерел енергії або генераторів на світлих нафтопродуктах.
Рівень комфорту	Високий (інтегровані розумні системи управління кліматом, освітленням тощо)	Середній (мінімальні автоматизовані системи)
Ремонтопридатність	Модульна структура серійності товарних одиниць, легкість заміни елементів при різних технологіях будівництва	Складність ремонту через неуніфіковані компоненти
Інтеграція в Smart Grid	Повна інтеграція в інтелектуальні енергетичні мережі	Відсутня інтеграція
Вуглецевий слід	Низький (мінімальні або відсутні викиди CO_2)	Високий (значні викиди CO_2 через використання викопного палива)
Експлуатаційні витрати	Мінімальні (покриття витрат за рахунок продажу надлишкової енергії)	Високі (комунальні платежі за енергоресурси)
Утилізація	Екологічно чисті матеріали, придатні для переробки	Використання матеріалів з обмеженою можливістю переробки
Інвестиційна привабливість	Висока (короткий термін окупності, дохід від продажу енергії). Мінімізація ризиків кредиторів по іпотеці.	Середня (залежить від місця розташування та стану будівлі). Низька можливість отримання іпотечного кредитування

Продовження таблиці 1

1	2	3
Життєвий цикл	> 100 років (за рахунок високої якості конструкцій, енергоефективних систем та постійного відрахування коштів до фонду відновлення з проведенням капітального ремонту за рахунок додаткових надходжень від продажу надлишкової енергії). Період будівництва до 180 днів.	50–70 років (без суттєвих реконструкцій та модернізацій), мінімальні відрахування для проведення поточних ремонтів, враховуючі значні витрати на енергоносії. Значні періоди будівництва.
Екологічність матеріалів	Використання відновлюваних і нетоксичних матеріалів та обладнання, визначених товарною лінійкою будинків	Здебільшого традиційні будівельні матеріали, які підбираються в роздріб без належної екологічної експертизи
Початкова вартість будівництва	Вища (~15–30% дорожче у порівнянні зі звичайними будинками). Оптимізація собівартості за рахунок проектів повторного використання та уніфікації комплектуючих.	Низька. Збільшується в ході виконання робіт.
Система управління мікрокліматом. Превентивні заходи охорони здоров'я в приміщеннях	Енергоефективна вентиляція, іонізація, аромотерапевтичне обладнання, системи світло та аудіотерапії, зволожувачі/осушувачі повітря, система автоматичної підтримка оптимального мікроклімату та комфорту- «Розумний будинок».	Обмежені заходи, не передбачені спеціальні системи для здоров'я.

Основні напрямки використання профіциту енергії:

- споживання для живлення локальних пристроїв, зарядки електромобілів, теплових насосів, систем «Розумного будинку» (Smart Home);
- зберігання енергії;
- продаж енергії в загальну мережу (Smart Grid);
- передача енергії місцевим об'єктам інфраструктури.

Використання профіциту енергії з будинків із позитивним енергобалансом є важливим напрямом розвитку зеленої економіки. Такий підхід забезпечує: економічну вигоду для власників будинків; зменшення екологічного навантаження; стабілізацію енергосистеми на локальному та глобальному рівнях. Це дозволяє інтегрувати будинки з позитивним енергобалансом у глобальну енергетичну інфраструктуру, забезпечуючи їхню ефективну роль у сталому розвитку громад і територій.

Застосування методу товарних одиниць дозволяє поряд з експлуатаційними, визначити параметри системи управління споживчими характеристиками будівлі: рівень споживання енергії; раціональність планувальних рішень; естетику інтер'єрів і фасадів; комфортні параметри температурного режиму, вологості (45-55%), освітленості (200-500 лк., природне і штучне), рівню іонізації (до1500 іонів/см. куб.), контролю CO_2(до 800 PPM), газу радону (до 100 Бк/м.куб.), оптимальне балансування циркадних ритмів і відчуття природного денного світла (4000-5000 К (кельвін); та інші, що створюються превентивними технологіями охорони здоров'я людей та системою «Розумний будинок». Чому важливо розділяти поняття споживчих та експлуатаційних характеристик будинку? Для власників будинку: важливим є розуміння споживчих характеристик, що визначають ергономіку, комфорт, зручність проживання, додержання принципів здорового житла. Для постачальників будинків пріоритет мають експлуатаційні характеристики стійкості, надійності, довговічності, пожежної та санітарної безпеки, відповідності ДБН.

Класифікація будівель з позитивним енергобалансом. Впровадження категорій будівель стандарту Energy+ здійснюється на основі різниці між об'ємами виробленої та використаної енергії з кроком у 10 кВт·год/м² на рік (таблиця 2). Енергетичну категорію будівлі Energy + позначимо символом En, а позитивний баланс енергії цифрою:10; 20; 30…

Формула класифікації будівель Energy +:

$$En = S - C$$

де: En - різниця між згенерованою та спожитою енергією, що визначає категорію будинку Energy+.

S - згенерована енергія за рік (кВт·год/м²).

C - спожита енергія за рік (кВт·год/м²).

Таблиця 2.

Категорії будинків будинків Energy+

Категорія будинку Energy+	C - спожита енергія за рік (кВт·год/м²).	S - згенерована енергія за рік (кВт·год/м²).	Баланс енрегії En = S – C (кВт·год/м²).
En10	n	n + 10	10
En20	n	n + 20	20
En30	n	n + 30	30
En40	n	n + 40	40
En…	n	n + ---	---
En90	n	n + 90	90
En100	n	n + 100	100

Розрахунок вартості життєвого циклу. Ключовим аспектом впровадження будинків з позитивним енергобалансом є його економічна доцільність. Відмінністю будинків від інших товарних одиниць є тривалий термін експлуатації. Обґрунтованим періодом розрахунку вартості життєвого циклу будівель - Life Cycle Costing (LCC) є показник -100 років, включаючи вартість проведення поточних та одного капітального ремонту. Розрахунок вартості життєвого циклу будинку враховує всі витрати та доходи за період експлуатації з урахуванням коефіцієнтів інфляції.

Згідно з даними Trading Economist, середньорічний рівень інфляції долара США з 1914 по 2024 р. р. становив 3,30 %. [14].

Для індивідуального будинку Energy + формула розрахунку вартості життєвого циклу включає наступні складові: початкові витати на будівництво; суми усіх витрат за період; суми доходів за період від продажу надлишкової електроенергії; суми залишкової (відновленої) вартості будинку (або вартості утилізації),

$$LCC = C_{inv} + \sum_{t=1}^{T}(C_{maint} \cdot (1+q)^t + C_{utilities}(1+q)^t + \sum_{t\,(25.50.75}^{1}(C_{update} \cdot (1+q)^t - \sum_{t=1}^{T}(C_{revenue} \cdot (1+q)^t - C_{residual}(1+q)^T$$

де : C_{inv} - витрати на будівництво;

C_{maint}- витрати на утримання (поточні та кап. ремонт), з розрахунку n% в рік від C_{inv};

$C_{utilities}$- страхування та додаткові комунальні послуги;

C_{update}- витрати на оновлення сонячних електростанцій через *25;50;75 р.;*

$C_{revenue}$ - дохід від продажу надлишкової електроенергії*;*

$C_{residual}$ – залишкова вартість будинку з урахуванням C_{maint};

q - річна інфляційна ставка .

ІС – коефіцієнт інфляції: $IC_{100}=(1+q)^{100}$.

Виконаємо дослідження вартості життєвого циклу будинків на прикладах.

Приклад 1. Розрахунок вартості життєвого циклу індивідуального будинку з позитивним енергобалансом, класу енергоефективності А та наступними техніко-економічними показниками :

- площа 130 м. кв.;
- вартість будівництва 165000 $;
- питомі енерговитрати 30 кВт·м. кв./рік;
- вартість енергії для продажу- 0,15 $/ кВт·год;
- страхування, додаткові комунальні платежі -1200 $/рік;

- витрати на поточні та капітальний ремонти – 1 % вартості будівництва;
- СЕС -12 кВт.
- (15000кВт$\frac{\text{год}}{\text{рік}}$, власне спож.3900кВт$\frac{\text{год}}{\text{рік}}$, профіцит 11100кВт$\frac{\text{год}}{\text{рік}}$)
- q -річна інфляційна ставка - 2,5%.
- ІС – коефіцієнт інфляції- $IC_{100}=(1+0{,}025)^{100}$=11,81

C_{inv}:165000,0 US $.

$\sum_{t=1}^{100} C_{maint}(t)$: 1650 $\cdot (1+0.025)^t$ =731547,91

$\sum_{t=1}^{100} C_{utilites}(t)$: 1200 $\cdot (1+0.025)^t$ =532034,84

$\sum_{t(25.50.75)}^{1}(C_{update})$: 15000 $\cdot (1+0.025)^t$=174948,9

$\sum_{t=1}^{100} C_{revenues}(t)$: 11100 · 0,15· 444,76 = 738198,35

$C_{residual}$:165000 $(1+0{,}025)^{100}$ = 1949263,2

LCC = 165000 + 731548 +532035 + 174949 - 738198 -1949263= -1083930 $.

Вартість життєвого циклу будинку від'ємна, тобто за період життєвого циклу прибуток склав: 1 083 930 US $.

Коефіцієнт зростання вартості житлового активу: **К=** $\frac{1083930}{165000}$ **= 6,57**

Приклад 2. Вартість життєвого циклу для звичайного індивідуального будинку класу енергоефективності С та наступними техніко-економічними показниками:

- Площа - 130 м.кв.;
- вартість будівництва - 130000 $;
- питомі енерговитрати - 100 кВт·м.кв./рік;
- вартість енергії- 0,1 $/ кВт·год;
- страхування, додаткові комунальні платежі -1200 $/рік;
- витрати на поточні ремонти – 0,5 % в рік від вартості будівництва;
- витрати на утилізацію – 15% вартості будівництва;
- q - річна інфляційна ставка - 2,5%.
- ІС – коефіцієнт інфляції *($IC_{100}=(1+0{,}025)^{100}$=11,81)*

становить,

C_{inv}=130000 $;

C_{energy}= 13000·0,1·$(1{,}025)^{100}$=576371

$C_{utilites}$= 1200·$(1{,}025)^{100}$=532035

C_{repair}= 130000·0,005 ·$(1{,}025)^{100}$=288185

$C_{utilization}$= 130000·0,15 ·$(1{,}025)^{100}$=230367

LCC=130000+576371+532035+288185+230367=1756958 $

Коефіцієнт зростання загальних витрат будинку: **К=** $\frac{1756958}{130000}$ **= 13,51**

Розрахунки вартості життєвих циклів будинків показують значний економічний ефект (таблиця 3.) від експлуатації будинків класу енергоефективності «А», стандарту Energy + в порівнянні зі звичайними будинками класу енергоефективності «С».

Таблиця 3.

Порівняльна таблиця вартості життєвого циклу будинків

Показник	Будинок класу А (позитивний енергобаланс)	Будинок класу С (звичайний)
Площа будинку, м²	**130,0**	**130,0**
Вартість будівництва, тис. $	**165,000**	**130,000**
Питомі енерговитрати, кВт·м²/рік	**30**	**100**
СЕС, потужність (кВт)	**12**	**-**
Генерація енергії тис. (кВт·год/рік)	**15,000**	**-**
Власне споживання енергії, тис. кВт·год/рік	**3,900**	**-**
Профіцит енергії, тис. кВт·год/рік	**11,100**	**-**
Додаткові комунальні платежі, тис. $/рік	**1,200**	**1,200**
Ремонтні витрати, % від вартості	**1%**	**0.5%**
Витрати на утилізацію, %	**-**	**15%**
Інфляційна ставка (q), %/рік	**2.5**	**2.5**
Коефіцієнт інфляції за 100 років	**11.81**	**11.81**
Витрати на ремонти, тис. $	**731,548**	**288,185**
Витрати на енергоспоживання, тис. $	**-**	**576,371**
Витрати на комунальні платежі, тис. $	**532,035**	**532,035**
Витрати на утилізацію, тис. $	**-**	**230,367**
Оновлення обладнання, тис. $	**174,949**	**-**
Доходи від продажу енергії, тис. $	**-738,198**	**-**
Залишкова вартість будинку, тис. $	**1949,263**	**-**
Загальна вартість життєвого циклу (LCC), $	**-1,083,930**	**1,756,958**
Коефіцієнт зростання витрат	**-**	**13.51**
Коефіцієнт зростання вартості активів	**6.57**	**13.51**

Інтегральна різниця вартості столітнього життєвого циклу будинків з урахуванням інфляції, приведених в прикладах 1;2, складає 2840,888 тис. $.

Таким чином, врахування вартості життєвого циклу будівлі в складі техніко-економічного обґрунтування впливає на вибір архітектурно-конструктивних варіантів та систем енергозабезпечення будівель і споруд при проектуванні та будівництві.

Організація будівництва будівель з позитивним енергобалансом. Основою виконання робіт є відповідність вимогам ДБН А.3.1-5:2016 «Організація будівельного виробництва», що передбачає розробку системи організаційно технічних засобів і підготовчих робіт для забезпечення будівництва об’єкта у відповідності з проектним рішенням, вимогами

законодавства та нормативних документів, а також з узгодженою діяльністю учасників будівництва [15].

Проекти повторного використання є стандартизованими рішеннями, які дозволяють зменшити витрати часу, матеріальних та фінансових ресурсів, забезпечуючи високу якість будівництва. Плани реалізації заходів по спорудженню будинків з позитивним енергетичним балансом (таблиця 4), як основа організаційного етапу будівництва, розробляються за наступними принципами:

- універсальність (адаптації проекту до різних гідро-геологічних умов будівництва).
- стандартизація (уніфікація розмірів, матеріалів, обладнання та технологій).
- серійність (мультиплікативний ефект, зручність масштабування проекту з незначними змінами).

Таблиця 4.

План заходів по організації будівництва будинків з ПЕБ.

Етап виконання плану	**Опис заходів реалізації плану**
Розробка товарної лінійки будинків	Розробка проектів будинків повторного використання, що враховують демографічні та економічні показники і можуть споруджуватися за різними технологіями робіт. Розробка технологічних карт виконання робіт.
Підготовчий етап	Аналіз земельної ділянки, отримання дозволів. Сертифікація виконавців робіт по спорудженню будинків товарної лінійки. Підготовка будівельного майданчика.
Комплектація	Виготовлення конструктивних елементів, комплектування інженерними мережами , обладнанням та оздоблювальними матеріалами. Інтеграція СЕС, рекуператорів, теплових насосів, системи управління до архітектурно-конструктивного рішення товарної одиниці.
Логістика	Розробка схеми загрузки комплекту в автотранспорт. Оптимізація маршруту доставки модулів до будівельного майданчика, використання стандартних розмірів для транспортування.
Будівельно-монтажні роботи	Виконання БМР. Монтаж обладнання. Рекомендований період будівництва- до 120 календарних днів.
Введення в експлуатацію	Отримання право установчих документів. Проведення 8-ми годинного навчального курсу з власником будинку.
Моніторинг та обслуговування будинку	Розробка системи моніторингу енергоспоживання та генерації, регулярне технічне обслуговування та підтримка замовника. Контроль генерації електроенергії і розрахунків енергоринку з власником будинку.

Обґрунтування та практичне застосування вищезазначених критеріїв впроваджено при розробці лінійки індивідуальних житлових будинків Business House науково-технічним центром Академії будівництва України та ТМ Peregrinets Group (рис.2). Ця серія односімейних будинків розроблена з урахуванням діапазону демографічних складових українських домогосподарств та економічного обґрунтування вартості життєвого циклу[16].

В лінійку входять наступні моделі будинків:

1. Business House Start Up: невеликий будинок площею 46,4 м², орієнтований на молоді сім'ї.
2. Business House S: компактний будинок площею 64 м² із базовим набором енергоефективних рішень.
3. Business House M: середній за розмірами будинок площею 80 м², оптимальний для сімей із дітьми.
4. Business House L: просторий будинок площею 130 м² із повним набором інноваційних технологій.

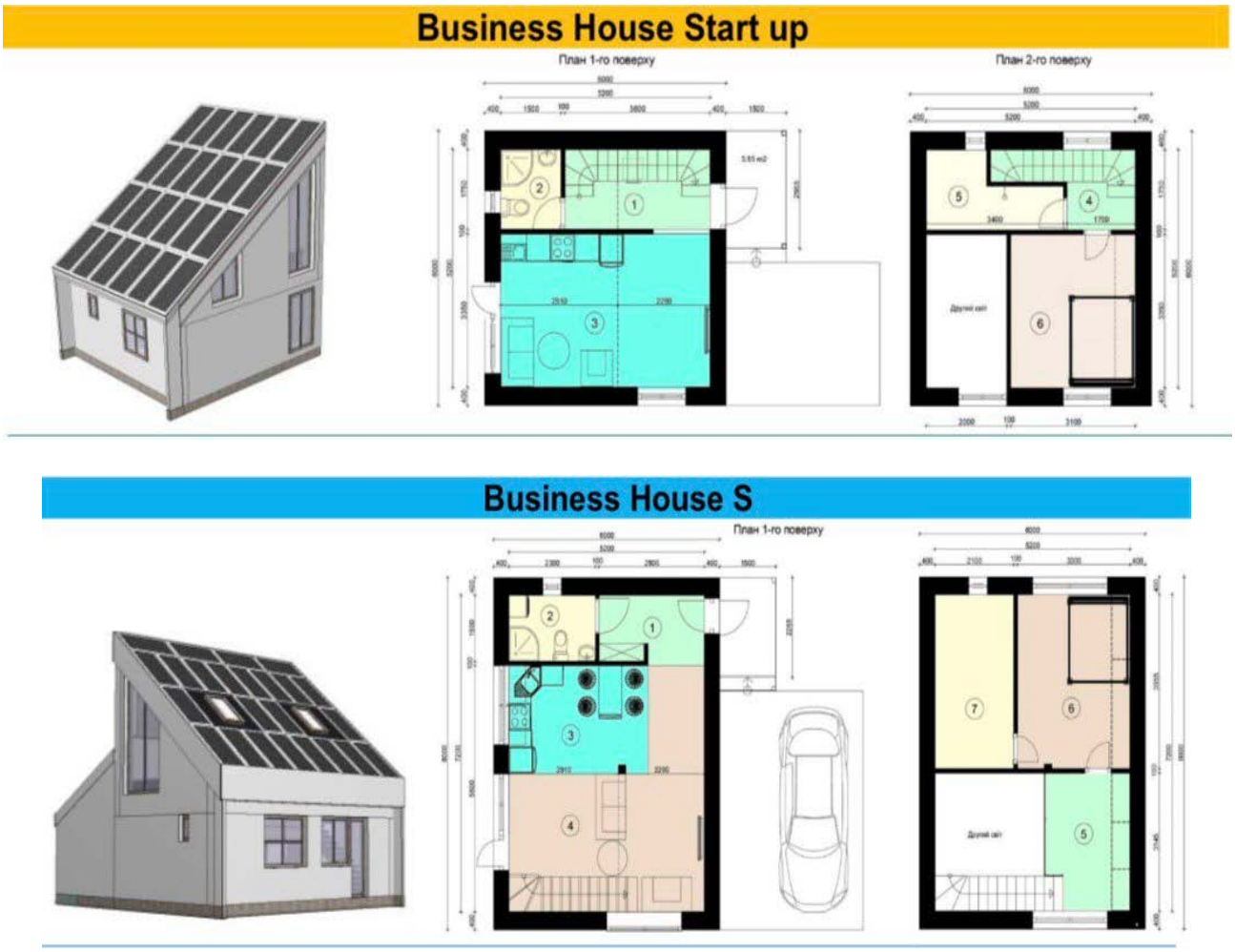


Рис. 2. Товарна лінійка індивідуальних будинків Business House**.**

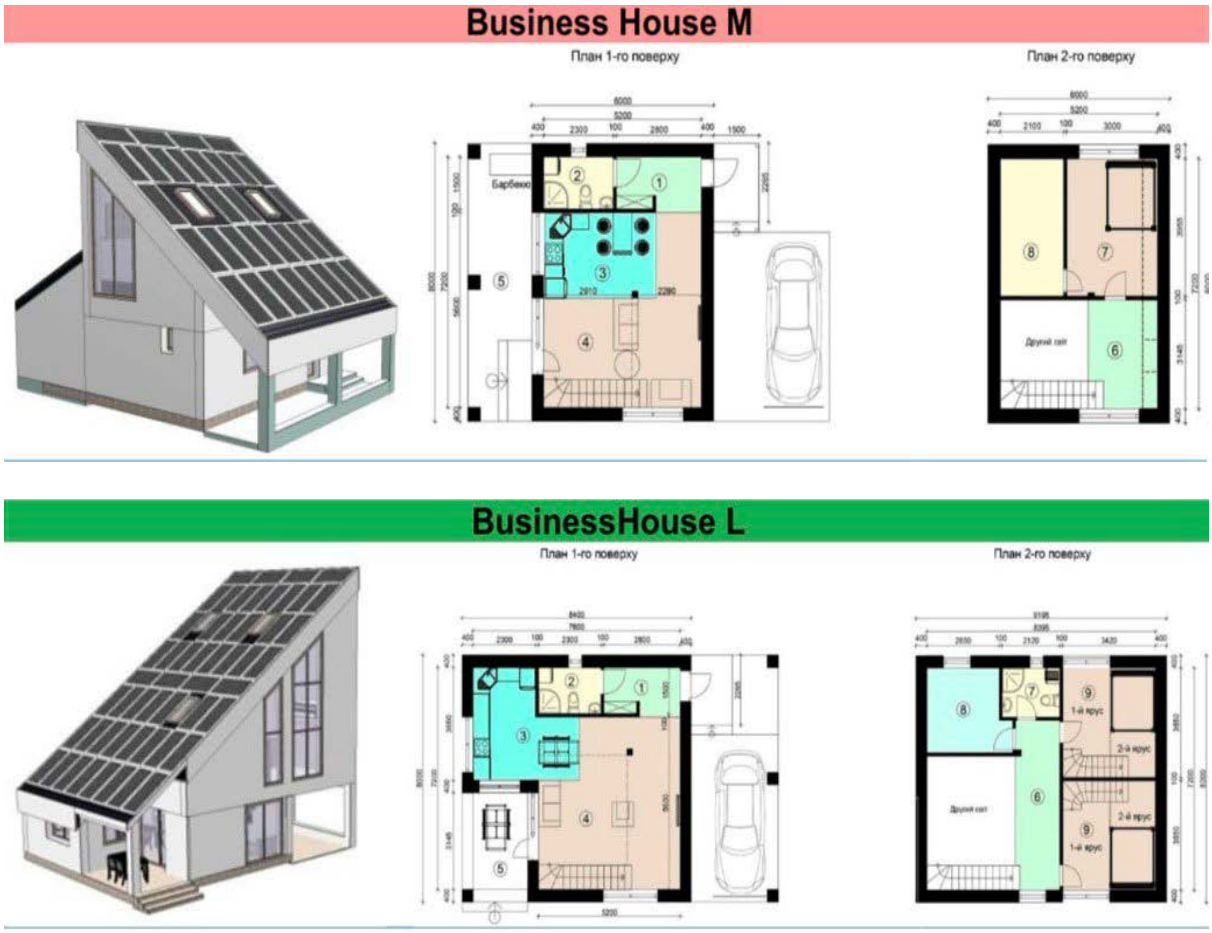


Рис. 2. Товарна лінійка індивідуальних будинків Business House (продовження).

При розробці даної товарної лінійки будинків були враховані моніторингові дані споживання енергії за період 2015-2024 р.р. науково-освітньої лабораторії Академії будівництва України – Optima House (Головний архітектор проекту М.В. Савицький, архітектурна концепція розроблена архітектором О.Кучерявим. Науковий керівник діяльності лабораторії – І.І. Назаренко).

Optima House – перший український енергоефективний будинок, який включений до проектів Міжнародного Альянсу Активного Будинку (м. Брюссель) [17]. (Рис.3.)

Рис. 3. Optima House

Висновки

Ефективність будівель з позитивним енергетичним балансом.

Дослідження підтвердило, що об'єкти нерухомості з позитивним енергетичним балансом є важливим фактором сталого розвитку, відповідає директивам ЄС з декарбонізації будівель і споруд до 2050 року. Сформульовані визначення понять, розрахунок вартості життєвого циклу та концептуальний план організації будівництва такої категорії нерухомості можуть бути використаними в подальших дослідженнях.

Інноваційні технології та інформаційне моделювання.

Поєднання інноваційних архітектурних та конструктивних рішень, відновлюваних джерел енергії та автоматизованих кліматичних систем дозволяє істотно підвищити ефективність проектування, будівництва та експлуатації будівель. Використання BIM-технологій забезпечує оптимізацію всіх етапів життєвого циклу будівлі та підвищує її економічну ефективність.

Критерії та класифікація будинків позитивного енергетичного балансу.

Розроблені критерії оцінки функціональних та споживчих характеристик, класифікація за рівнем надлишкової енергогенерації сприяють стандартизації підходів до проектування та будівництва енергоефективних споруд, а також дотримання принципів «здорових будівель». Це дозволяє враховувати енергетичні, економічні і людино центричні підходи при комплексній оцінці ефективності будівель різного функціонального призначення.

Практичне значення результатів.

Розвинений асортимент будинків, як товарних одиниць, забезпечує масштабованість і адаптацію до різних умов будівництва.

Стаття демонструє інноваційний підхід до організації будівництва енергоефективних будівель. Отримані результати корисні будівельникам, розробникам, дослідникам, освітянам, студентам, забудовникам, інвесторам, державним та комунальним установам.

Список літератури

1. Директива 2010/31/ЄС Європейського парламенту та Ради від 19 травня 2010 року про енергетичні характеристики будівель (EPBD). DOI: 10.3000/17252555.L_2010.153.eng.

2. Директива 2024/1275 ЄС від 24 квітня 2024 року про будівлі з нульовими викидами. DOI: 10.3000/20241275.

3. Стандарт EN 15978: Оцінка екологічних характеристик будівель. DOI: 10.3403/30366660.

4. Фаренюк Є., Фаренюк Г. Методичні основи нового покоління будівельних норм з енергоефективності будівель // Наука та будівництво. 2023. №33-34. https://doi.org/10.33644/2313-6679-34-2022-2.

5. Директива 2018/2001/ЄС про використання енергії з відновлюваних джерел. DOI: 10.3000/20182001.

6. Бахтін Д. Впровадження енергоефективних технологій при будівництві нової комерційної нерухомості в Україні // Вісник Національного університету «Львівська політехніка». Серія: «Архітектура». 2020. №2 (4). С. 12–18. URL: https://science.lpnu.ua/sites/default/files/journal-paper/2020/dec/22823/02-bakhtin.pdf (дата звернення: 03.01.2025).

7. Черепаха, Д.В. Енергозберігаючі заходи на етапі проєктування об'єктів житлового комплексу. *Вісник Вінницького національного технічного університету*. 2020. №3. С. 54–60.
URL: https://ir.lib.vntu.edu.ua/bitstream/handle/2020.pdf. (дата звернення: 03.01.2025).

8. Деревіцький, В.В., Риндюк, С.В. Світові тенденції в сфері енергоефективних будівель. *Проблеми енергоефективності будівель*. 2021. №1. С. 23–30. URL: https://pems.kpi.ua/proc/article/view/274538. (дата звернення: 03.01.2025).

9. Ürge-Vorsatz, D., Khosla, R., Bernhardt, R., Chan, Y.C., Vérez, D., Hu, S., Cabeza, L.F. (2020). Advances Toward a Net-Zero Global Building Sector. Annual Review of Environment and Resources, 45, P. 227–269.
DOI: https://doi.org/10.1146/annurev-environ-012420-045843.

10. Güneralp, B., Zhou, Y., Ürge-Vorsatz, D., Gupta, M., Yu, S., Patel, P. L., Fragkias, M., Li, X., Seto, K. C. (2017). Global scenarios of urban density and its impacts on building energy use through 2050. Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America, 114, 34, 8945–8950. DOI: https://doi.org/10.1073/pnas.1606035114.

11. Ürge-Vorsatz, D., Cabeza, L.F., Serrano, S., Barreneche, C., Petrichenko, K. (2015). Heating and cooling energy trends and drivers in buildings. Renewable and Sustainable Energy Reviews, 41, 85–98. DOI: https://doi.org/10.1016/j.rser.2014.08.039.

12. Бутенко О.П., Єрмакова А.О., Бондаренко Ю.С. Використання концепції lean-construction в управлінні будівельними підприємствами // Вісник економіки транспорту і промисловості. – 2016. – № 55. – С. 85–90. Режим доступу:https://www.researchgate.net/publication/312248327_VIKORISTANNA_KONCEPCII_LEAN
CONSTRUCTION_V_UPRAVLINNI_BUDIVELNIMI_PIDPRIEMSTVAMI.

13. Войнаш Л.Г., Дудла І.О., Козьмич Д.І., Павловська Н.В., Приходько М.В. Товарознавство непродовольчих товарів. Частина 1. – К.: НМЦ 'Укоопосвіта', 2004. – 596 с. Режим доступу: https://kipt.com.ua/wp-content/uploads/2019/10.

14. Trading Economics. United States Inflation Rate. Available at: https://tradingeconomics.com/united-states/inflation-cpi.

15. Державні будівельні норми України (2016). ДБН А.3.1-5:2016 Організація будівельного виробництва;. Доступно за посиланням: https://e-construction.gov.ua/laws_detail/3113373519350597353?doc_type=2.

16. Державна служба статистики України. (2022). Соціально-демографічні характеристики домогосподарств України. Київ. Доступно за посиланням: https://www.ukrstat.gov.ua/druk/publicat/kat_u/2022/zb/07/sdhd_22.pdf.

17. Active House. OptimaHouse in Ukraine [Електронний ресурс]. – Режим доступу: https://www.activehouse.info/cases/optimahouse-in-ukraine/.

Pereginets Ivan,
"Scientific and Technical Center of the Academy of Construction of Ukraine", Kyiv

FUNDAMENTALS OF ORGANIZATION OF CONSTRUCTION OF BUILDINGS WITH A POSITIVE ENERGY BALANCE BY THE CRITERIA OF COMMODITY UNITS

This article presents the results of a study of the principles of organizing construction and life cycle management of residential buildings with a positive energy balance (PEB) based on the criteria of commodity units. Innovative architectural and structural solutions, integration of renewable energy sources and automated climate systems in the construction of such buildings are considered. Special attention is paid to the use of building information modeling BIM (Building Information Modeling) to optimize the design and operation processes of residential buildings. A classification of buildings with a positive energy balance is created, based on the difference in the amount of energy produced and consumed. A formula is developed for estimating the life cycle cost of buildings with a positive energy balance. Calculations of the life cycle cost of buildings with different energy efficiency classes are carried out. It is proved that the concept of energy-saving buildings with a positive energy balance is becoming a necessary component of modern housing construction in the world. Definitions of the concepts of buildings with a positive energy balance and positive energy balance are provided. The criteria for operational and consumer characteristics of real estate objects have been

determined. A conceptual organizational plan for the construction of houses has been developed according to the criteria of commodity units. A product line of individual houses has been developed according to the criteria of commodity units. The comprehensive approach to organizing the construction of energy-efficient houses proposed by the authors of the article complies with the EU Directives on the creation of buildings with zero emissions by 2050 and the principles of healthy housing.

Keywords: organization; technology; energy efficiency; positive energy balance; commodity unit; BIM technologies; microclimate; life cycle cost; renewable energy sources; principles of healthy housing.

REFERENCES

1. Directive 2010/31/EU of the European Parliament and of the Council of 19 May 2010 on the energy performance of buildings (EPBD). DOI: 10.3000/17252555.L_2010.153.eng. {in English}.

2. Directive 2024/1275 EU of 24 April 2024 on zero-emission buildings. DOI: 10.3000/20241275. {in English}.

3. Standard EN 15978: Assessment of the environmental performance of buildings. DOI: 10.3403/30366660. {in English}.

4. Fareniuk E., Fareniuk G. Methodological foundations of a new generation of building codes on the energy efficiency of buildings // Science and Construction. 2023. No. 33-34. https://doi.org/10.33644/2313-6679-34-2022-2. {In Ukrainian}.

5. Directive 2018/2001/EU on the use of energy from renewable sources. DOI: 10.3000/20182001. {in English}.

6. Bakhtin D. Implementation of energy-efficient technologies in the construction of new commercial real estate in Ukraine // Bulletin of the National University "Lviv Polytechnic". Series: "Architecture". 2020. No. 2 (4). P. 12–18. URL: https://science.lpnu.ua/sites/default/files/journal-paper/2020/dec/22823/02-bakhtin.pdf (access date: 03.01.2025). {In Ukrainian}.

7. Cherepakha, D.V. Energy-saving measures at the design stage of residential complex facilities. *Bulletin of Vinnytsia National Technical University*. 2020. No. 3. P. 54–60. URL: https://ir.lib.vntu.edu.ua/bitstream/handle/ 2020.pdf (access date: 03.01.2025). {In Ukrainian}.

8. Derevitskyi, V.V., Ryndyuk, S.V. World trends in the field of energy-efficient buildings. *Problems of energy efficiency of buildings*. 2021. No. 1. P. 23–30. URL: https://pems.kpi.ua/proc/article/view/274538 (access date: 03.01.2025). {In Ukrainian}.

9. Ürge-Vorsatz, D., Khosla, R., Bernhardt, R., Chan, Y.C., Vérez, D., Hu, S., Cabeza, L.F. (2020). Advances Toward a Net-Zero Global Building Sector. Annual Review of Environment and Resources, 45, P. 227–269.

DOI: https://doi.org/10.1146/annurev-environ-012420-045843. {in English}.

10. Güneralp, B., Zhou, Y., Ürge-Vorsatz, D., Gupta, M., Yu, S., Patel, P.L., Fragkias, M., Li, X., Seto, K.C. (2017). Global scenarios of urban density and its impacts on building energy use through 2050. Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America, 114, 34, 8945–8950. DOI: https://doi.org/10.1073/pnas.1606035114. {in English}.

11. Ürge-Vorsatz, D., Cabeza, L.F., Serrano, S., Barreneche, C., Petrichenko, K. (2015). Heating and cooling energy trends and drivers in buildings. Renewable and Sustainable Energy Reviews, 41, , 85–98. DOI: https://doi.org/10.1016/j.rser.2014.08.039. {in English}.

12. Butenko O.P., Ermakova A.O., Bondarenko Yu.S. Using the lean-construction concept in the management of construction enterprises // Bulletin of the Economy of Transport and Industry. – 2016. – No. 55. – P. 85–90. Access mode: https://www.researchgate.net/publication/312248327_VIKORISTANNA_KONCEPCII_LEAN CONSTRUCTION_V_UPRAVLINNI_BUDIVELNIMI_PIDPRIEMSTVAMI. {In Ukrainian}.

13. Voynash L.G., Dudla I.O., Koz'mich D.I., Pavlovska N.V., Prykhodko M. V. Commodity science of non-food products. Part 1. – K.: NMC 'Ukooposvita', 2004. – 596 p. Access mode: https://kipt.com.ua/wp-content/uploads/2019/10. {in English}.

14. Trading Economics. United States Inflation Rate. Available at: https://tradingeconomics.com/united-states/inflation-cpi. {in English}.

15. State Building Standards of Ukraine (2016). DBN A.3.1-5:2016 Organization of construction production;. Available at: https://e-construction.gov.ua/laws_detail/3113373519350597353?doc_type=2. {In Ukrainian}.

16. State Statistics Service of Ukraine. (2022). Socio-demographic characteristics of households in Ukraine. Kyiv. Available at: https://www.ukrstat.gov.ua/druk/publicat/kat_u/2022/zb/07/sdhd_22.pdf/.{In Ukrainian}.

17. Active House. OptimaHouse in Ukraine [Electronic resource]. – Access mode: https://www.activehouse.info/cases/optimahouse-in-ukraine/.{in English}.

DOI: 10.32347/2786-7269.2025.11.510-521
УДК 69.059:711.058:004.9

Степанюк Р.Б.,
stepaniuk.rb@knuba.edu.ua, ORCID: 0009-0001-5945-8468,
Київський національний університет будівництва і архітектури,
д.т.н., професор **Антипенко Є.Ю.,**
antypenko @zn.edu.ua, ORCID: 0000-0001-8048-0144,
Національний університет «Запорізька політехніка»,
д.е.н., професор **Валінкевич Н.В.,**
natali1573@ukr.net, ORCID: 0000-0001-8804-868X,
Поліський національний університет,
Лавриненко О.М.,
lavrinenko_OM -2023@knuba.edu.ua, ORCID: 0009-0002-2956-1840,
Герасименко О.М.,
herasymenko_om-2023@knuba.edu.ua ORCID: 0009-0003-2722-1153,
Київський національний університет будівництва і архітектури

СТРУКТУРНО-ДИНАМІЧНА ТРАНСФОРМАЦІЯ ОПЕРАЦІЙНОЇ СИСТЕМИ ПІДПРИЄМСТВ БУДІВЕЛЬНОГО ДЕВЕЛОПМЕНТУ: АНАЛІТИКО-ПРИКЛАДНІ АСПЕКТИ

Досліджуються SMART-інновації та сучасні технології, що *визначають тенденції розвитку будівельної галузі. Аналізується історична еволюція будівельних норм, починаючи від законодавчих положень Стародавнього Вавилона, середньовічної Європи та індустріальної революції до сучасних регламентів, що базуються на цифрових технологіях та екологічних стандартах. Розглядається вплив інформаційних технологій, цифрового моделювання (BIM), автоматизації процесів та використання Інтернету речей (IoT) на ефективність і безпеку будівельних об'єктів. Особлива увага приділяється концепції SMART-технологій, що інтегрують штучний інтелект, автоматизовані системи контролю та аналізу в управління будівельними процесами. Досліджено основні напрями їх застосування, зокрема, впровадження "розумних" будівель та міст, використання роботизованих систем для автоматизації будівництва, а також розвиток енергоефективних технологій. Досліджено ключові напрямки застосування SMART-технологій у будівництві, проведено аналіз та обгрунтовано техніко-технологічні показники рівня застосування SMART-технологій. У статті представлено аналіз міжнародних методик оцінки рівня впровадження SMART-інновацій у будівництві, таких як LEED, BREEAM, WELL Building Standard, Smar tReadiness*

Indicator (SRI) та інші, що використовуються для визначення рівня екологічної ефективності та цифрової інтеграції будівельних проектів.
Ключовими перспективними напрямами розвитку SMART-технологій визначено інтеграцію штучного інтелекту для прогнозування стану будівель, подальше поширення 3D-друку в будівництві, розвиток екологічно чистих матеріалів та адаптацію будівельних процесів до мережі 5G. Стаття узагальнює сучасний стан розвитку SMART-технологій у будівельній сфері та пропонує перспективні напрями їх подальшого впровадження для підвищення ефективності, безпеки та екологічності будівництва.

Ключові слова: девелопмент; інновації; трансформація операційної системи підприємств будівельного девелопменту; SMART-технології; цифрове моделювання; енергоефективність; будівельний проект; інтелектуальні системи управління; інженерні конструкції; міська інфраструктура; сталий розвиток; BIM-технології; розумні міста; адитивні технології.

Постановка проблеми. Динамічна трансформація операційної системи будівельного девелопменту — це структурно-функціональна модель, що описує спосіб організації, управління та трансформації бізнес-процесів у будівельних девелоперських компаніях відповідно до змін ринкового середовища, нормативного регулювання, інноваційних технологій та цифрових платформ.

Еволюція будівельних норм розпочалася ще в давнину, коли перші цивілізації усвідомили необхідність регулювання будівництва задля безпеки мешканців. Одним із найдавніших прикладів є Вавилонський кодекс Хаммурапі, де встановлювалися суворі покарання для будівельників за неякісну роботу. Якщо будинок завалювався і вбивав власника, будівельник міг бути страчений, що свідчить про те, що навіть у ті часи існувало усвідомлення відповідальності за якість будівництва. У Стародавньому Римі розвинулася система міського планування, яка включала жорсткі обмеження щодо висоти будівель, вимоги до водопостачання, каналізації та використання негорючих матеріалів. Римські закони стали основою для майбутніх норм у Європі. Після падіння Риму централізовані норми зникли, однак у середньовічних містах почали діяти локальні правила, які регулювали ширину вулиць, висоту будівель та використання матеріалів, особливо у зв'язку з частими пожежами.

З початком епохи Відродження зросла увага до містобудування, особливо у Франції та Англії. Після Великої пожежі Лондона 1666 року були впроваджені перші комплексні норми пожежної безпеки, які вимагали будівництва з негорючих матеріалів та забезпечення достатньої ширини вулиць. У цей же час у Європі почали розроблятися стандарти планування міст, які заклали основи майбутнього урбаністичного розвитку. З розвитком

промислової революції в XIX столітті будівельні норми стали більш структурованими та враховували нові технології. З'явилися перші санітарні норми, які регламентували наявність каналізації, вентиляції та освітлення. У цей же період виникли перші стандарти безпеки, які стосувалися використання металевих конструкцій та бетонних фундаментів. Активний розвиток міст, особливо у США та Європі, вимагав введення чітких будівельних кодексів.

У XX столітті розвиток інженерної справи, впровадження залізобетону та сталі сприяли ще більшій уніфікації будівельних норм. Почали діяти сейсмічні норми, які згодом стали обов'язковими для будівництва в зонах підвищеної сейсмічної активності, особливо в Японії та США. Будівельні кодекси почали регулювати не тільки саму конструкцію будівлі, але й такі аспекти, як електропостачання, водопостачання, теплоізоляція, безпека ліфтів та пожежозахист. Друга половина XX століття та початок XXI століття характеризуються впровадженням енергоефективних стандартів, екологічних норм та технологічних інновацій. Важливими стали стандарти енергозбереження, такі як LEED та BREEAM, які регламентують використання ресурсів у будівництві. Норми доступності стали ключовими в багатьох країнах, передбачаючи зручність для людей з обмеженими можливостями. Окремо впроваджено цифрові технології у сфері будівництва, зокрема BIM (Building Information Modeling), що дозволяє створювати цифрові моделі будівель ще на етапі проєктування.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Сучасні тенденції розвитку будівельної галузі тісно пов'язані з інноваційними технологіями, які сприяють підвищенню ефективності, якості та економічної доцільності будівництва. Інформаційні технології, цифровізація процесів, новітні методи управління проектами, а також використання адитивних технологій та автоматизації є ключовими аспектами трансформації будівельної сфери.

У статтях[1-4] аналізується український та міжнародний досвід інновацій у житловому будівництві, визначаються існуючі бар'єри та специфіка розвитку галузі. Автори [5-8] обґрунтовують основні можливості та перспективні напрями програмно-цільової підтримки організаційно-технологічних та управлінських інновацій з метою підвищення доступності та якості новозбудованого житла для громадян, мінімізації комунальних витрат населення та переходу до нових технологій будівництва житла з низькими витратами на його експлуатацію. У працях[9-13] розкрито основні переваги застосування інформаційних технологій у будівельній сфері як перспективного напряму її інноваційного розвитку. Автори [14-16] акцентують увагу на важливості впровадження сучасних інформаційних технологій для підвищення ефективності будівельних процесів та конкурентоспроможності підприємств

галузі. Наукові роботи [17-19] розглядають аналітико-прикладні основи інновацій у будівництві, аналізує стан будівельної галузі за останні роки та досліджує перспективи впровадження інноваційних технологій. Особлива увага приділяється таким напрямкам, як 3D-друк та адитивні технології, які можуть суттєво вплинути на розвиток будівельної галузі в Україні, та розглянуто сучасні матеріали та технології для друку будівель та об'єктів інфраструктури в різних країнах світу.

Мета статті – дослідити концепцію SMART-технологій у будівельній галузі, проаналізувати їх еволюцію, ключові напрями застосування та техніко-технологічні показники рівня впровадження.. На основі аналізу міжнародних методик сертифікації (LEED, BREEAM, WELL, SRI) визначити перспективні напрями розвитку SMART-інновацій, зокрема 3D-друк, екологічні матеріали та адаптацію будівництва до технологій 5G.

Виклад основного матеріалу. Концепція SMART (англ. Self-Monitoring, Analysis, and Reporting Technology) виникла як відповідь на потребу підвищення ефективності, безпеки та екологічності будівельних об'єктів. Її розвиток пов'язаний із глобальним поширенням Інтернету речей (IoT), штучного інтелекту (AI), автоматизації та цифрових технологій, що дозволили перетворити звичайні будівлі на «розумні» системи, здатні самостійно адаптуватися до змін навколишнього середовища та потреб користувачів.

Одним із перших розробників ідеї «розумних будівель» вважається IBM, яка ще у 1990-х роках представила концепцію "SmartPlanet", що передбачала використання датчиків, аналітичних систем і автоматизації для покращення якості життя в містах. Далі концепцію розвивали технологічні гіганти, такі як Siemens, Schneider Electric, Cisco, Honeywell, а також архітектурні та інженерні компанії.

SMART-технології в будівництві базуються на використанні цифрових систем моніторингу, автоматизації та штучного інтелекту, що дозволяє будівлям не лише функціонувати більш ефективно, а й забезпечувати сталий розвиток, оптимальне енергоспоживання та безпеку мешканців (табл. 1).Сучасні SMART-інновації охоплюють різні аспекти будівництва: від розумного управління інфраструктурою до інтеграції екологічно чистих технологій. Основні напрями застосування включають:

- *SMART-будинки та "розумні" міста:* інтелектуальні системи управління енергією, що автоматично регулюють освітлення, опалення та кондиціонування; автоматизовані системи безпеки (відеоспостереження, біометричний доступ, датчики руху); мережеві IoT-пристрої для контролю за споживанням ресурсів (вода, електрика, газ).

- *Building Information Modeling (BIM);* використання цифрового моделювання для проектування та будівництва; аналіз будівельної документації в режимі реального часу; мінімізація витрат за рахунок прогнозування потенційних ризиків.
- *Автоматизація будівельних процесів:* використання роботизованих систем для зведення споруд (3D-друк будівель, дрони для моніторингу будівельних майданчиків); інтелектуальні будівельні матеріали (самовідновлюваний бетон, матеріали з пам'яттю форми).
- *Енергозбереження та екологічна ефективність:* використання «зелених» енергетичних рішень (сонячні панелі, вітрові генератори, системи повторного використання води); технології регенерації тепла та автоматизоване регулювання температури.
- *SMART-безпека:* системи пожежної безпеки з автоматичним реагуванням; інтелектуальне керування евакуацією під час надзвичайних ситуацій; датчики забруднення повітря та системи контролю якості повітря.

Таблиця 1

Методики оцінки рівня впровадження SMART-інновацій у будівництві

Методика	Розробник	Характеристики	Приклад застосування
1	**2**	**3**	**4**
LEED (Leadership in Energy and Environmental Design)	U.S. Green Building Council (USGBC) 1998	Оцінює ефективність енергоспожи-вання, використання матеріалів, якість внутрішнього середовища, управління водними ресурсами та інновації у проєктуванні.	One Bryant Park (Нью-Йорк, США)
BREEAM (Building Research Establishment Environmental Assessment Method)	Building Rese-arch Establish-ment (BRE), Велика Британія 1990	Оцінює будівлі за екологічною ефективністю, рівнем впливу на довкілля, якістю проєктування та управління ресурсами.	The Edge (Амстердам, Нідерланди)
1	**2**	**3**	**4**
WELL Building Standard	International WELL Building Institute (IWBI), США 2014	Оцінює будівлі за впливом на здоров'я та комфорт людей, враховуючи параметри якості повітря, води, освітлення, ергономіки, психофізіологічного комфорту.	Salesforce Tower (Сан-Франциско, США)
Smart Readiness Indicator (SRI)	Європейська Комісія 2020	Оцінює здатність будівель адапту-ватися до технологічних інновацій та інтеграції розумних систем управління (енергозбереження, автоматизації, IoT).	Розумні офісні центри в ЄС
DGNB (Deutsche Gesellschaft für Nachhaltiges	Німецька рада зі сталого будівництва	Систематизує оцінку сталого будівництва, включаючи ефективне використання	Siemens Headquarters (Мюнхен,

Bauen)	(DGNB) 2007	енергетичних ресурсів, комфорт користувачів, екологічні матеріали.	Німеччина)
CASBEE (Comprehensive Assessment System for Built Environment Efficiency)	Міністерство будівництва Японії 2001	Вимірює екологічну ефективність будівель, аналізує баланс між якістю середовища та енергоспоживанням.	Tokyo Skytree
EDGE (Excellence in Design for Greater Efficiencies)	IFC (Міжнародна фінансова корпорація, Світовий банк) 2014	Фокусується на енергоефективності, економії води та матеріалів із низьким впливом на довкілля.	Екологічні житлові комплекси в Латинській Америці
Green Star	Green Building Council Australia (GBCA) 2003	Включає оцінку будівель за енергоефективністю, внутрішнім середовищем, управлінням ресурсами та інноваціями у проєктуванні.	Barangaroo South (Сідней, Австралія)
Living Building Challenge (LBC)	International Living Future Institute (ILFI) 2006	Найжорсткіша система сертифікації, яка вимагає нульового енергоспоживання та повної автономності будівель.	Bullitt Center (Сіетл, США)
NABERS (National Australian Built Environment Rating System)	Австралійське урядове агентство з екологічної оцінки 1998	Вимірює продуктивність будівель за споживанням води, енергії, викидами CO_2 та рівнем комфорту мешканців.	Grosvenor Place (Сідней, Австралія)

У сучасному будівництві інноваційні технології, такі як смарт-технології, 3D-друк, енергоефективність, використання відновлювальних джерел енергії та зелені будівлі, є ключовими компонентами. Вони допомагають створити стійкі, комфортні та екологічно чисті будівлі, що відповідають потребам сучасного суспільства. Оцінка рівня впровадження SMART-інновацій у будівництві базується на кількісних і якісних показниках. Основні з них:

1. Рівень автоматизації та інтеграції IoT

– Кількість датчиків та інтелектуальних систем на 1 м² будівлі.

– Відсоток автоматизованих процесів (управління енергією, безпекою, вентиляцією).

– Рівень зв’язку між підсистемами (BIM, Smart Grid, IoT).

2. Енергоефективність

– Клас енергоефективності будівлі (за міжнародними стандартами LEED, BREEAM, ISO 50001).

– Кількість збереженої енергії за рахунок SMART-рішень (% скорочення споживання).

– Відсоток використання відновлюваних джерел енергії.

– Екологічність та стійкість

– Відсоток матеріалів, що підлягають вторинному використанню.
– Вуглецевий слід будівлі (вимірюється в $CO_2/м^2$).
– Рівень утилізації відходів та їх повторного використання.

3. Рівень комфорту та безпеки

– Оцінка мікроклімату (температура, вологість, якість повітря).
– Час реакції систем безпеки на надзвичайні події.
– Відгуки користувачів про рівень комфорту в розумному будинку (опитування, індекси задоволеності).

4. Цифрова трансформація будівельної галузі

– Відсоток компаній, що використовують BIM-технології та цифрове моделювання.
– Час проєктування та будівництва завдяки SMART-інструментам.
– Інвестиції у SMART-рішення у відсотках від загального обсягу витрат.

У найближчі десятиліття очікується активний розвиток наступних напрямків: а) штучний інтелект та машинне навчання (прогнозування стану будівель на основі аналізу великих даних; автоматичний контроль витрат матеріалів та оптимізація постачання); б) повна інтеграція розумних будівель у "розумні" міста (з'єднання окремих об'єктів інфраструктури у єдину цифрову систему; використання блокчейн-технологій для захисту даних у будівельній галузі): в) розвиток 3D-друку в будівництві (друк житлових будинків із використанням екологічних матеріалів; автоматизоване створення будівель без втручання людини; г) використання нанотехнологій та розумних матеріалів (самовідновлювані будівельні матеріали (бетон, що регенерується), прозорі сонячні панелі для вікон); д) синхронізація з 5G та хмарними технологіями (швидкісний обмін даними між елементами розумного будинку, дистанційне керування будівлями через мобільні додатки).

Висновки. Будівельні норми пройшли довгий шлях від простих законів відповідальності у Вавилоні до складних міжнародних стандартів, що регулюють безпеку, екологічність та технологічну ефективність сучасних споруд. Вони постійно змінюються у відповідь на нові виклики часу, забезпечуючи зручність, безпеку та сталість розвитку міст та інфраструктури. Особливу увагу приділено оцінці впливу цифрового моделювання (BIM), автоматизації процесів, штучного інтелекту та Інтернету речей (IoT) на ефективність, безпеку та екологічну стійкість будівельних проектів. SMART-технології стають невід'ємною частиною будівельної галузі, забезпечуючи ефективність, безпеку та сталий розвиток. Вони змінюють підхід до архітектури та будівництва, дозволяючи створювати високотехнологічні будівлі з мінімальним впливом на навколишнє середовище.

Список використаних джерел

1. Trach, R., Khomenko, O., Trach, Y., Kulikov, O., Druzhynin, M., Kishchak, N., ... & Obodianska, O. (2023). Application of fuzzy logic and SNA tools to assessment of communication quality between construction project participants. *Sustainability*, *15*(7), 5653.

2. Trach, R., Ryzhakova, G., Trach, Y., Shpakov, A., & Tyvoniuk, V. (2023). Modeling the Cause-and-Effect Relationships between the Causes of Damage and External Indicators of RC Elements Using ML Tools. *Sustainability*, *15*(6), 5250

3. ChernyshevD., IvakhnenkoI., RyzhakovaG., &Predun, K., (2018). Implementation of principles of biospheric compatibility in the practice of ecological construction in Ukraine. *International Journal of Engineering & Technology* – UAE: Science Publishing Corporation. – Vol 10, No 3.2: Special Issue 2, 584 – 586.

4. Поколенко В.О., Рижакова Г.М., Приходько Д.О. Запровадження інструментарію вибору альтернатив реалізації будівельних проектів за функціонально-технічною надійністю організацій-виконавців. *Управління розвитком складних систем*. – 2014. – Вип. 19. – С.104 – 108.

5. Хоменко О.М., Петренко Г.С., Рижакова Г.М., Петруха Н.М., Чуприна Ю.А., Малихіна О.М., Кушнір О.К. Сучасні інструменти та програмні продукти адміністрування будівельними організаціями в умовах трансформації операційних систем менеджменту. *Управління розвитком складних систем*. Київ, 2022. № 52. С. 113 – 125, dx.doi.org\10.32347/2412-9933.2022.52.113-125.

6. Хоменко О.М., Рижакова Г.М., Малихіна О.М., Петренко Г.С., Степанюк Р.Б. Цільові пріоритети та формалізовані індикатори трансформації операційних систем стейкхолдерів будівництва. *Управління розвитком складних систем.* Київ, 2023. № 56. С. 173 – 180, dx.doi.org\10.32347/2412-9933.2023.56.173-180

7. Chupryna I., Ryzhakova G., Chupryna K., Tormosov R., Gonchar V. (2022) Designing a toolset for the formalized evaluation and selection of reengineering projects to be implemented at an enterprise *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, Vol.1 No.13 (115), p. 6–19. https://doi.org/10.15587/1729-4061.2022.251235

8. Tetyana Marchuk, Dmytro Ryzhakov, Galyna Ryzhakova and Sergiy Stetsenko (2017). Identification of the basic elements of the innovationanalytical platform for energy efficiency in project financing. *Investment Management and Financial Innovations* (open-access), 14(4), pp. 12-20. DOI: http://10.21511/imfi.14(4).2017.02

9. Akselrod R., Shpakov A., Ryzhakova G., Honcharenko T., Chupryna I., Shpakova H. (2022) Integration of data flows of the construction project life cycle to create a digital enterprise based on Building Information Modeling. *International Journal of Emerging Technology and Advanced Engineering*, Volume 12, Issue 01 (January 2022), pp. 40–50. ISSN 2250-2459. DOI: 10.46338/ijetae0122_05

10. Ryzhakova, G., Malykhina, O., Pokolenko, V., Nesterenko, I., Honcharenko, T. (2022) Construction Project Management with Digital Twin Information System International Journal of Emerging Technology and Advanced Engineering, 2022, 12(10), pp. 19–28.

11. Гончаренко Т.А. Кластерний метод формування метаданих багатовимірних інформаційних систем для розв'язання задач генерального планування. *Управління розвитком складних систем*. № 42. С. 93–101, 2020. DOI: 10.32347/2412-9933.2020.42.93-101.

12. Рижакова Г.М., Кіщак Н.Г., Хоменко О.М., Ротов О.О., Ніколаєва М.Ю., Веремєєва Т.І. Сучасний вектор оновлення будівельного девелопменту в контексті стратагем IntegratedProjectDelivery. *Управління розвитком складних систем.* Київ. 2022. № 49. С. 113 – 123, dx.doi.org\10.32347/2412-9933.2022.49.113–123.

13. Згалат-Лозинська, Л.О. (2020). Концепція інноваційного розвитку будівельної галузі в умовах пандемії та економічної кризи. *Економічний простір,* (157), 27–31.

14. Рижакова Г.М., Орленко І.М., Малихіна О.М. Методологічна регламентація та аналітико-інформаційне забезпечення менеджменту організацій в сучасній системі будівельного девелопменту. *Формування ринкових відносин в Україні.* - 2021. - № 7-8. - С. 59-65.

15. Рижакова Г.М., Приходько Д.О., Предун К.М. Моделі цільового вибору репрезентативних індикаторів діяльності будівельних підприємств: етимологія та типологія систем діагностики. *Управління розвитком складних систем.* – 2017. – № 32. – С. 159 – 165.

16. Kulikov P., Ryzhakova G., Honcharenko T., Ryzhakov D., Malykhina O. OLAP-Tools for the Formation of Connected and Diversified Production and Project Management Systems, *International Journal of Advanced Trends in Computer Science and Engineering*, 8(10), October 2020, pp. 7337-7343, https://doi.org/10.30534/ijeter/2020/1108102020 16.

17. Рижакова Г.М. Сучасні особливості та перспективи розвитку інфраструктури ринку інвестицій. *Будівельне виробництво*. 2015, (58), 96-101.

18. Трач Р.В. Рижакова Г.М. , Крижановський В.І. Інформаційне моделювання та концепція інтегрованої реалізації будівельних проектів, як основа інноваційного розвитку будівельного підприємства. *Управління розвитком складних систем.* - 2017. - Вип. 31. - С. 173-178.

19. Бєлєнкова, О.Ю. (2023). Імперативи маркетингової діяльності стейкхолдерів будівництва: реінжиніринг чи стагнація. *Просторовий розвиток*, (5), 326–338.

PhD Student **Stepaniuk Roman,**
Doctor of Technical Sciences, Professor **Antypenko Eugene,**
National University "Zaporizhzhia Polytechnic",
DrSc (Economics), Associate Professor **Valinkevych Nataliia,**
Polissya National University,
PhD Student **Oleksandr Lavrinenko,** PhD Student **Oleksii Herasymenko,**
Kyiv National University of Construction and Architecture

STRUCTURAL-DYNAMIC TRANSFORMATION OF THE OPERATIONAL SYSTEM OF CONSTRUCTION DEVELOPMENT ENTERPRISES: ANALYTICAL AND APPLIED ASPECTS

The article explores SMART innovations and modern technologies that define the trends in the development of the construction industry. The historical evolution of building regulations is analyzed, starting from the legislative provisions of Ancient Babylon, Medieval Europe, and the Industrial Revolution to modern regulations based on digital technologies and environmental standards. The impact of information technologies, digital modeling (BIM), process automation, and the Internet of Things (IoT) on the efficiency and safety of construction projects is examined.

Special attention is given to the concept of SMART technologies, which integrate artificial intelligence, automated control, and analytical systems into construction process management. The main areas of their application are studied, including the implementation of "smart" buildings and cities, the use of robotic systems for construction automation, and the development of energy-efficient technologies. The key directions of SMART technology application in construction are analyzed, and technical-technological indicators of their implementation levels are substantiated.

The article presents an analysis of international methodologies for assessing the level of SMART innovation implementation in construction, such as LEED, BREEAM, WELL Building Standard, Smart Readiness Indicator (SRI), and others used to determine the level of environmental efficiency and digital integration of construction projects. The key prospective directions for SMART technology development include the integration of artificial intelligence for predicting building conditions, the further expansion of 3D printing in construction, the advancement of environmentally friendly materials, and the adaptation of construction processes to 5G networks. The article summarizes the current state of SMART technology development in the construction sector and proposes promising directions for their

further implementation to enhance efficiency, safety, and environmental sustainability in construction.

Keywords: development; innovations; transformation of the operational system of construction development enterprises; SMART technologies; digital modeling; energy efficiency; construction project; intelligent management systems; engineering structures; urban infrastructure; sustainable development; BIM technologies; smart cities; additive technologies.

REFERENCES

1. Trach, R., Khomenko, O., Trach, Y., Kulikov, O., Druzhynin, M., Kishchak, N., ... & Obodianska, O. (2023). Application of fuzzy logic and SNA tools to assessment of communication quality between construction project participants. *Sustainability*, *15*(7), 5653. {in English}

2. Trach, R., Ryzhakova, G., Trach, Y., Shpakov, A., & Tyvoniuk, V. (2023). Modeling the Cause-and-Effect Relationships between the Causes of Damage and External Indicators of RC Elements Using ML Tools. *Sustainability*, *15*(6), 5250. {in English}

3. Chernyshev, D., Ivakhnenko, I., Ryzhakova, G., & Predun, K. (2018). Implementation of principles of biospheric compatibility in the practice of ecological construction in Ukraine. *International Journal of Engineering & Technology*, Vol. 10, No. 3.2: Special Issue 2, 584–586. {in English}

4. Pokolenko, V.O., Ryzhakova, G.M., & Prykhodko, D.O. (2014). Introduction of tools for selecting alternatives for the implementation of construction projects based on the functional and technical reliability of contracting organizations. *Management of Development of Complex Systems*, (19), 104–108. {in Ukrainian}

5. Khomenko, O.M., Petrenko, G.S., Ryzhakova, G.M., Petrukha, N.M., Chupryna, Y.A., Malykhin, O.M., & Kushnir, O.K. (2022). Modern tools and software products for the administration of construction organizations under the transformation of management operating systems. *Management of Development of Complex Systems*, Kyiv, (52), 113–125. https://dx.doi.org/10.32347/2412-9933.2022.52.113-125. {in Ukrainian}

6. Khomenko, O.M., Ryzhakova, G.M., Malykhin, O.M., Petrenko, G.S., & Stepaniuk, R.B. (2023). Target priorities and formalized indicators of operational systems transformation for construction stakeholders. *Management of Development of Complex Systems*, Kyiv, (56), 173–180. https://dx.doi.org/10.32347/2412-9933.2023.56.173-180. {in Ukrainian}

7. Chupryna, I., Ryzhakova, G., Chupryna, K., Tormosov, R., & Gonchar, V. (2022). Designing a toolset for the formalized evaluation and selection of reengineering projects to be implemented at an enterprise. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, Vol. 1, No. 13 (115), 6–19. https://doi.org/10.15587/1729-4061.2022.251235. {in English}

8. Marchuk, T., Ryzhakov, D., Ryzhakova, G., & Stetsenko, S. (2017). Identification of the basic elements of the innovation-analytical platform for energy efficiency in project financing.

Investment Management and Financial Innovations, 14(4), 12–20. https://doi.org/10.21511/imfi.14(4).2017.02. {in English}

9. Akselrod, R., Shpakov, A., Ryzhakova, G., Honcharenko, T., Chupryna, I., & Shpakova, N. (2022). Integration of data flows of the construction project life cycle to create a digital enterprise based on Building Information Modeling. *International Journal of Emerging Technology and Advanced Engineering*, 12(1), 40–50. https://doi.org/10.46338/ijetae0122_05. {in English}

10. Ryzhakova, G., Malykhin, O., Pokolenko, V., Nesterenko, I., & Honcharenko, T. (2022). Construction Project Management with Digital Twin Information System. *International Journal of Emerging Technology and Advanced Engineering*, 12(10), 19–28. {in English}

11. Honcharenko, T.A. (2020). Cluster method of forming metadata for multidimensional information systems for solving general planning tasks. *Management of Development of Complex Systems*, (42), 93–101. https://doi.org/10.32347/2412-9933.2020.42.93-101. {in Ukrainian}

12. Ryzhakova, G.M., Kishchak, N.G., Khomenko, O.M., Rotov, O.O., Nikolaeva, M.Yu., & Veremeeva, T.I. (2022). Modern vector of renewal of construction development in the context of the Integrated Project Delivery stratagem. *Management of Development of Complex Systems*, Kyiv, (49), 113–123. https://dx.doi.org/10.32347/2412-9933.2022.49.113-123. {in Ukrainian}

13. Zhalat-Lozynska, L.O. (2020). The concept of innovative development of the construction industry in the conditions of a pandemic and economic crisis. *Economic Space*, (157), 27–31. {in Ukrainian}

14. Ryzhakova, G.M., Orlenko, I.M., & Malykhin, O.M. (2021). Methodological regulation and analytical and informational support of management in the modern system of construction development. *Formation of Market Relations in Ukraine*, (7–8), 59–65. {in Ukrainian}

15. Ryzhakova, G.M., Prykhodko, D.O., & Predun, K.M. (2017). Models for target selection of representative performance indicators of construction enterprises: etymology and typology of diagnostic systems. *Management of Development of Complex Systems*, (32), 159–165. {in Ukrainian}

16. Kulikov, P., Ryzhakova, G., Honcharenko, T., Ryzhakov, D., & Malykhin, O. (2020). OLAP-tools for the formation of connected and diversified production and project management systems. *International Journal of Advanced Trends in Computer Science and Engineering*, 8(10), 7337–7343. https://doi.org/10.30534/ijeter/2020/1108102020. {in English}

17. Ryzhakova, G.M. (2015). Modern features and prospects for the development of investment market infrastructure. *Construction Production*, (58), 96–101. {in Ukrainian}

18. Trach, R.V., Ryzhakova, G.M., & Kryzhanovsky, V.I. (2017). Information modeling and the concept of integrated implementation of construction projects as the basis for the innovative development of a construction enterprise. *Management of Development of Complex Systems*, (31), 173–178. {in Ukrainian}

19. Bielenkova, O.Y. (2023). Imperatives of marketing activities of construction stakeholders: reengineering or stagnation. *Spatial Development,* (5), 326–338. {in Ukrainian}

DOI: 10.32347/2786-7269.2025.11.522-533
УДК 624.04

д.т.н., професор **Сур'янінов М.Г.,**
sng@odaba.edu.ua, ORCID: 0000-0003-2592-5221,
к.т.н., доцент **Кіріченко Д.О.,**
dkirichenko@odaba.edu.ua, ORCID: 0000-0002-8484-0925,
асистент **Сур'янінов В.М.,**
citykboss@odaba.edu.ua, ORCID: 0009-0006-9620-4287,
Одеська державна академія будівництва та архітектури, м. Одеса

АНАЛОГІЯ РОЗРАХУНКОВОЇ СХЕМИ ЦИЛІНДРИЧНОГО КОЛОДЯЗЯ ЗІ СХЕМОЮ ВИГИНУ ПРИЗМАТИЧНОЇ БАЛКИ, ЩО ЛЕЖИТЬ НА СУЦІЛЬНІЙ ПРУЖНІЙ ОСНОВІ

Елементи круглої або кільцевої форми перерізу використовуються у багатьох інженерних спорудах. Конструктивні рішення таких елементів та діючі експлуатаційні навантаження дуже різноманітні, що зумовлює різноманітність методів їх розрахунку та необхідність удосконалення існуючих і розробку принципово нових методів розрахунку. Одним із таких методів є чисельно-аналітичний метод граничних елементів.

Особливе місце у ряді конструкцій кільцевої форми перерізу займають колодязі циліндричної форми. Проектування та розрахунок колодязів регламентується відповідними нормативними документами. З погляду будівельної механіки такий колодязь являє собою замкнуту кругову циліндричну оболонку постійної товщини, навантажену по всій поверхні рівномірним нормальним тиском. Основні аналітичні методи аналізу їх роботи розроблені у минулому столітті. Це безмоментна та моментна теорії оболонок, напівмоментна теорія. Аналіз літератури показує, що розробці нових методів розрахунку залізобетонних та сталефібробетонних циліндричних оболонок приділяється дуже мало уваги, тому цей напрямок є досить актуальним.

У роботі показано аналогію розрахункової схеми циліндричного колодязя зі схемою вигину призматичної балки, що лежить на суцільній пружній основі. Ця аналогія відкриває можливість для наступного застосування чисельно-аналітичного методу граничних елементів до розрахунку колодязя, оскільки розв'язок завдання про вигин призматичної балки, що лежить на суцільній пружній основі, був отриманий цим методом раніше.

Розглянута робота на вигин замкнутої кругової циліндричної рівномірно завантаженої оболонки, підкріпленої між поперечними діафрагмами рівновидаленими однаковими кільцевими ребрами однакової площі поперечного перерізу.

Ключові слова: залізобетон; колодязь; циліндрична оболонка; пружна основа; метод граничних елементів.

Вступ. Елементи круглої або кільцевої форми перерізу використовуються в багатьох інженерних спорудах, таких як напірні та безнапірні труби, опори ліній електропередач, водонапірні вежі тощо. буд. Конструктивні рішення таких елементів та діючі експлуатаційні навантаження дуже різноманітні, що зумовлює різноманітність методів їх розрахунку та зумовлює необхідність удосконалення існуючих та розробку принципово нових методів розрахунку.

Аналіз попередніх досліджень. Проектування та розрахунок колодязів регламентується відповідними нормативними документами. У нашій країні це ДСТУ Б В. 2.6-106: 2010 [1]. У кількох країнах колишнього СРСР - Вірменії, Казахстані, Киргизії, Росії - Міждержавний стандарт [2]. У європейських країнах ―EN1992-1-4 [3].

Методи розрахунку бетонних та фібробетонних колодязів є предметом багатьох досліджень [4-10]. Особливе місце займають колодязі циліндричної форми, які є довгими циліндричними оболонками.. Основні аналітичні методи аналізу их работы розроблені у минулому столітті. Це безмоментна та моментна теорії оболонок, напівмоментна теорія В.З. Власова [11]. Питання міцності та тріщиностійкості залізобетонних циліндричних оболонок давно привертають увагу вчених [12]. Цей інтерес не слабшає і зараз. Відмітимо роботи [13-16].

Аналіз літератури показує, що розробці нових методів розрахунку залізобетонних та сталефібробетонних циліндричних оболонок приділяється дуже мало уваги, тому цей напрямок є досить актуальним.

Мета. Метою роботи є відстеження аналогії розрахункової схеми циліндричного колодязя зі схемою вигину призматичної балки, що лежить на суцільній пружній основі, для наступного застосування чисельно-аналітичного методу граничних елементів до розрахунку колодязя.

Матеріали та методи дослідження. Матеріали досліджуваних конструкцій колодязів― звичайний залізобетон та залізобетон з додатковим дисперсним армуванням. Використовуються методи будівельної механіки, математичного аналізу теорії пружності, метод аналогій.

Результати та обговорення.

Розглянемо залізобетонний опускний колодязь циліндричної форми (рис. 1). З точки зору будівельної механіки такий колодязь являє собою замкнуту кругову циліндричну оболонку постійної товщини, навантажену по всій поверхні рівномірним нормальним тиском інтенсивністю F (рис. 2).

Рис. 1. Опускний колодязь

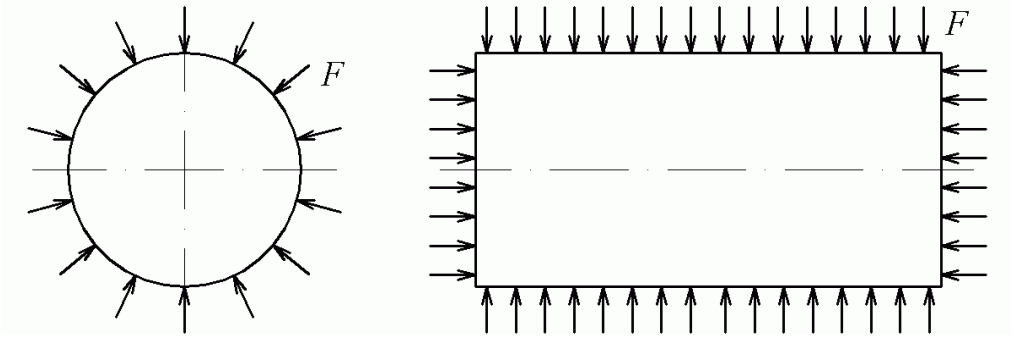
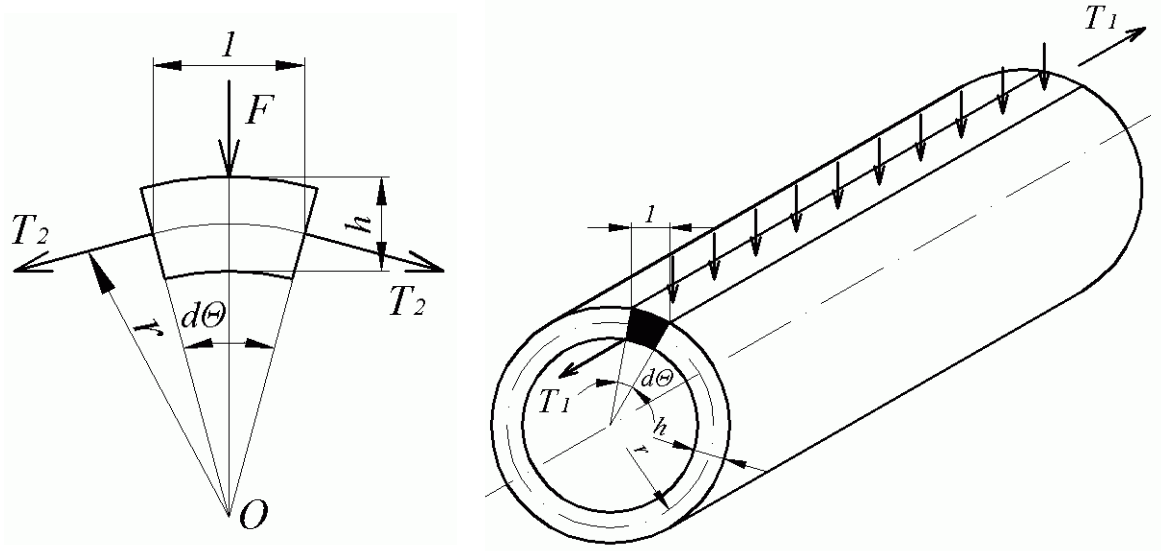


Рис. 2. Замкнена кругова циліндрична оболонка, завантажена всебічним зовнішнім рівномірно розподіленим тиском

Зважаючи на симетрію навантаження щодо осі оболонки, деформація останньої буде також симетричною. Вигин такої оболонки можна характеризувати вигином балки-смужки одиничної ширини, виділеної з оболонки, що розглядається, двома меридіональними площинами. (рис. 3).



а б

Рис. 3. До висновку диференціального рівняння осесиметричного вигину кругової циліндричної оболонки

На балку-смужку діятимуть:

а) рівномірно розподілене вздовж її довжини поперечне навантаження F;

б) зусилля T_2, прикладені до бокових граней балки-смужки і характеризують вплив відсіченої частини оболонки. Зусилля T_2 спрямовані щодо до кола поперечного перерізу оболонки;

в) поздовжні зусилля T_1, спричинені дією нормального тиску на торцеві перебирання оболонки.

Так як кут між меридіональними перерізами балки-смужки одиничної ширини (рис. 3, а) дорівнює

$$d\theta = \frac{1}{r},$$

то рівнодіюча зусиль T_2 дорівнює $\frac{T_2}{r}$ і сумарна інтенсивність поперечного навантаження балки-смужки

$$p_1 = p + \frac{T_2}{r}.$$

Оскільки балка-смужка, що розглядається, крім поперечного навантаження, схильна ще й до дії поздовжніх зусиль T_1, то диференціальне рівняння вигину такої балки-смужки запишеться в наступному вигляді

$$D\frac{d^4w}{dx^4} - T_1\frac{d^2w}{dx^2} = p_1,$$

або

$$D\frac{d^4w}{dx^4} - T_1\frac{d^2w}{dx^2} = p + \frac{T_2}{r}, \qquad (1)$$

де $D = \frac{Eh^3}{12(1-\mu^2)}$ — циліндрична жорсткість; μ — коефіцієнт Пуассона.

Зусилля T_1 може бути виражене через зовнішній тиск p, що діє на торцеві діафрагми оболонки і викликає стиск оболонки вздовж твірної. Очевидно, що

$$T_1 = -\frac{\pi r^2 p}{2\pi r} = -\frac{pr}{2}. \qquad (2)$$

Відповідно до закону Гука, для плоского напруженого стану можна записати, що

$$\varepsilon_2^0 = \frac{1}{Eh}(T_2 - \mu T_1), \qquad (3)$$

де ε_2^0 — лінійна деформація серединної поверхні оболонки в напрямку до її кола.

При симетричній деформації оболонка отримує деяке рівномірне обтискання, яке супроводжується зменшенням радіусу кривизни оболонки на величину w. Тоді лінійна деформація серединної поверхні оболонки визначиться із очевидної залежності

$$\varepsilon_2^0 = \frac{2\pi(r-w)-2\pi r}{2\pi r} = -\frac{w}{r}. \tag{4}$$

Виключаючи з (3) за допомогою (4) величину ε_2^0 і дозволяючи отримане при цьому рівняння щодо T_2, отримаємо

$$T_2 = \mu T_1 - Eh\frac{w}{r}. \tag{5}$$

За допомогою отриманих залежностей (2) та (5) виключимо зусилля T_1 та T_2 з рівняння (1).

Отримаємо:

$$D\frac{d^4w}{dx^4} + \frac{pr}{2}\frac{d^2w}{dx^2} + \frac{Eh}{r^2}w = p\left(1-\frac{\mu}{2}\right). \tag{6}$$

Останнім рівнянням визначається пружна поверхня кругової циліндричної оболонки, обмеженої по кінцях торцевими діафрагмами та навантаженою всебічним рівномірним зовнішнім тиском.

Диференціальне рівняння (6) за своєю структурою представляє рівняння вигину призматичної балки жорсткості $EI = D$, лежачої на суцільному пружному підставі жорсткістю

$$k = \frac{Eh}{r^2}, \tag{7}$$

навантаженим рівномірно розподіленим навантаженням інтенсивністю

$$q = p\left(1-\frac{\mu}{2}\right) \tag{8}$$

та поздовжньою силою

$$T = -\frac{pr}{2}. \tag{9}$$

У позначеннях (7)-(9) рівняння (6) перепишеться у вигляді

$$EIw^{IV} - Tw'' + kw = q. \tag{10}$$

Рівняння (10) і можливі форми його загального інтеграла добре відомі. Форма загального інтеграла визначається чисельним значенням параметра β:

$$\beta = \frac{T}{2\sqrt{EIk}}. \tag{11}$$

Для оболонок, що становлять найбільший практичний інтерес, параметр β задовольняє умові $0 < \beta^2 < 1$. Тоді загальний інтеграл рівняння (10), або, що те саме, рівняння (6), запишеться у вигляді

$$w(x) = C_1 ch\delta x \cos\gamma x + C_2 ch\delta x \sin\gamma x + C_3 sh\delta x \cos\gamma x + \\ + C_4 sh\delta x \sin\gamma x + w_{частн}, \tag{12}$$

де

$$\delta = \alpha\sqrt{1+\beta}; \quad \gamma = \alpha\sqrt{1-\beta}; \quad \alpha = \sqrt[4]{\frac{k}{4EI}}. \tag{13}$$

Оскільки $p = const$, то часткове рішення визначиться за формулою

$$w_{частн} = \frac{q}{k} = \frac{pr^2}{Eh}\left(1 - \frac{\mu}{2}\right). \tag{14}$$

Замкнена циліндрична оболонка, обмежена по кінцях поперечними діафрагмами, не може сприймати великих зовнішніх поперечних тисків, якщо відстань між діафрагмами досить велика. Така оболонка може втратити стійкість навіть за дуже незначної величини зовнішнього тиску.

Найбільш ефективним засобом підвищення стійкості циліндричних оболонок є їхнє підкріплення кільцевими замкнутими ребрами жорсткості. Останні, зазвичай, ставляться рівних відстанях друг від друга. У цьому зв'язку розглянемо роботу на вигин замкнутої кругової циліндричної рівномірно завантаженої оболонки, підкріпленої між поперечними діафрагмами рівновіддаленими однаковими кільцевими ребрами площі A (рис. 4).

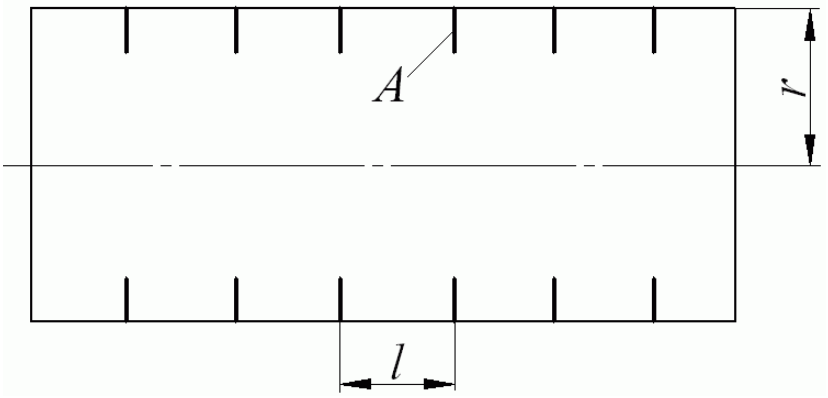


Рис. 4. Схема кругової циліндричної оболонки, підкріпленої однаковими рівновіддаленими кільцевими ребрами

Нехтуючи впливом жорсткості торцевих діафрагм на роботу в середній частині оболонки, можна вважати, що радіальні обтискання оболонки на деякій відстані від діафрагм будуть симетричні щодо площини ребер, що підкріплюють її. Через це можна обмежитися розглядом вигину оболонки лише в межах одного прольоту.

Якщо помістити початок координат посередині між ребрами (рис. 5), то через симетрію вигину оболонки щодо обраного початку координат у виразі (12) слід зберегти лише парні члени, тобто покласти $C_2 = C_3 = 0$.

Вираз (12) при цьому набуде вигляду

$$w(x)=\frac{pr^2}{Eh}\left(1-\frac{\mu}{2}\right)+C_1 ch\delta x\cos\gamma x+C_4 sh\delta x\sin\gamma x. \tag{15}$$

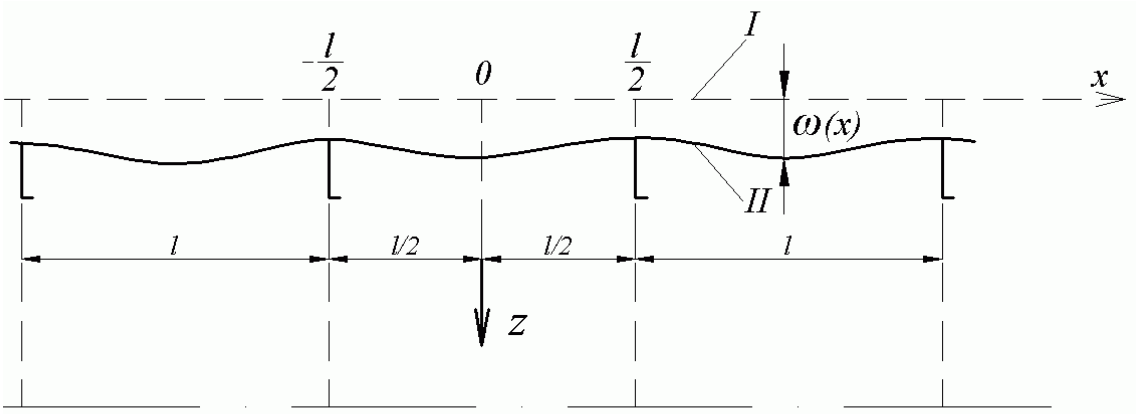


Рис. 5. До складання граничних умов кругової циліндричної оболонки, підкріпленої ребрами

З огляду на симетрії пружної поверхні оболонки щодо площини кожного з ребер, що підкріплюють її, кути повороту оболонки на ребрах дорівнюватимуть нулю, тобто. при $x=\pm l/2$

$$\frac{dw}{dx}=0. \tag{16}$$

Другу граничну умову отримаємо, якщо розглянемо взаємодію оболонки і ребра, що її підкріплює.

При дії на оболонку тиску p ребро піддається з боку оболонки впливу деякого рівномірно розподіленого навантаження погонної інтенсивністю p_1. Погонне навантаження p_1 врівноважується подвоєною величиною поперечної сили в опорному перерізі балки-смужки одиничної ширини, тобто

$$p_1=2D\left.\frac{d^3w}{dx^3}\right|_{x=\frac{l}{2}}. \tag{17}$$

Величина напруження σ_p, що діє в поперечному перерізі ребра, може бути визначена, з одного боку, з очевидної рівності

$$\sigma_p=-\frac{p_1 r}{A}, \tag{18}$$

з іншого боку, за формулою

$$\sigma_p=-\frac{w\left(x=\frac{l}{2}\right)}{r}E. \tag{19}$$

Зі зіставлення (18) і (19), отримаємо

$$p_1=-\frac{w\left(x=\frac{l}{2}\right)}{r^2}EA. \tag{20}$$

Виключаючи p_1 за допомогою (20) з (17), отримаємо другу недостатню граничну умову для визначення постійних інтегрування у виразі (15):

$$w\Big|_{x=\frac{l}{2}} = \frac{2Dr^2}{EA}\frac{d^3w}{dx^3}. \tag{21}$$

Підставляючи вираз $w(x)$ із (15) у граничні умови (16) і (21), отримаємо два рівняння, спільне вирішення яких дозволить визначити невідомі C_1 та C_4:

$$\begin{cases} C_1 = -\dfrac{2pr^2}{Eh}\left(1-\dfrac{\mu}{2}\right)\dfrac{u_1 chu_1 \sin u_2 + u_2 shu_1 \cos u_2}{u_2 sh2u_1 + u_1 \sin 2u_2}\varepsilon_1; \\ C_4 = -\dfrac{2pr^2}{Eh}\left(1-\dfrac{\mu}{2}\right)\dfrac{u_2 chu_1 \sin u_2 - u_1 shu_1 \cos u_2}{u_2 sh2u_1 + u_1 \sin 2u_2}\varepsilon_1, \end{cases} \tag{22}$$

де

$$\varepsilon_1 = \frac{1}{1+\dfrac{lh}{A}A_1(u_1,u_2)}; \quad A_1(u_1,u_2) = \sqrt{1-\beta^2}\,\frac{ch2u_1 - \cos 2u_2}{u_2 sh2u_1 + u_1 \sin 2u_2};$$
$$u_1 = \frac{\delta l}{2} = u\sqrt{1+\beta}; \quad u_2 = \frac{\gamma l}{2} = u\sqrt{1+\beta}; \quad u = 0{,}6425\frac{l}{\sqrt{rh}}. \tag{23}$$

Маючи остаточний вираз для $w(x)$, можна визначити всі елементи вигину балки-смужки, а, отже, і елементи вигину аналізованої оболонки.

Викладене рішення задачі враховує вплив поздовжніх зусиль на згин оболонки [другий член у лівій частині диференціального рівняння (6)]. Однак, як показують числові розрахунки, цим впливом у більшості випадків можна знехтувати. Тоді замість (11) слід було б розглянути рівняння виду

$$EIw^{IV} + kw = q. \tag{24}$$

Як видно з диференціального рівняння (24) і граничних умов (16) і (21), наближене рішення зводиться до вирішення задачі про вигин однопрогонової балки, що лежить на пружній основі, навантаженої рівномірно розподіленим навантаженням і жорстко заробленої по кінцях на пружних опорах з коефіцієнтом податливості k_{Π}, рівним

$$k_{\Pi} = \frac{2r^2}{EA}. \tag{25}$$

Остаточні формули для визначення характерних елементів вигину балки-смужки, а отже, і оболонки в цілому, записуються в наступному вигляді:

прогин оболонки в перерізі посередині між ребрами

$$w(0) = \frac{pr^2}{Eh}\left(1-\frac{\mu}{2}\right)\left[1-\frac{\phi_1(u)}{1+B_1}\right]; \tag{26}$$

згинальний момент у поперечному перерізі посередині прольоту

$$M_1(0) = -\frac{pl^2}{24}\left(1 - \frac{\mu}{2}\right)\frac{\chi_1(u)}{1 + B_1}; \quad (27)$$

згинальний момент в опорних перерізах

$$M_1(\frac{l}{2}) = \frac{pl^2}{12}\left(1 - \frac{\mu}{2}\right)\frac{\chi_2(u)}{1 + B_1}; \quad (28)$$

прогин оболонки в середньому перерізі

$$w(\frac{l}{2}) = \frac{pr^2}{Eh}\left(1 - \frac{\mu}{2}\right)\frac{B_1}{1 + B_1}. \quad (29)$$

Тут

$$B_1 = \frac{lh}{E}\mu_1(u),$$

а $\phi_1(u)$, $\chi_1(u)$, $\chi_2(u)$ и $\mu_1(u)$ — табульовані функції.

Висновки

Елементи круглої або кільцевої форми перерізу використовуються в багатьох інженерних спорудах. граничних елементів. Конструктивні рішення таких елементів та діючі експлуатаційні навантаження дуже різноманітні, що зумовлює різноманітність методів їх розрахунку та зумовлює необхідність удосконалення існуючих та розробку принципово нових методів розрахунку. Одним із таких методів є чисельно-аналітичний метод граничних елементів.

З погляду будівельної механіки опускний колодязь є замкнуту кругову циліндричну оболонку постійної товщини, навантажену по всій поверхні рівномірним нормальним тиском.

У роботі показано аналогію розрахункової схеми циліндричного колодязя зі схемою вигину призматичної балки, що лежить на суцільній пружній основі. на суцільній пружній основі, був здобутий цим методом раніше.

Список літератури

1. ДСТУ Б В. 2.6-106:2010 Конструкції бетонні і залізобетонні для колодязів каналізаційних, водопровідних і газопровідних мереж. К.: Мінрегіонбуд України. 2011. 24 с.

2. ГОСТ 8020-2016 Конструкции бетонные и железобетонные для колодцев канализационных, водопроводных и газопроводных сетей. Технические условия. Москва. Стандартинформ. 2017. 24 с.

3. EN 1992-1-4: Eurocode 2: Design of concrete structures. {in English}

4. Dick, C.P., & Korkolis, Y.P. (2014). Mechanics and full-field deformation study of the Ring Hoop Tension Test. International Journal of Solids and Structures, 51(18), 3042–3057. doi:10.1016/j.ijsolstr.2014.04.023.

5. Szymczak-Graczyk, Anna. (2023). Selected aspects of the design and construction of reinforced concrete sunk wells. ACTA SCIENTIARUM POLONORUM - Architectura Budownictwo. 21. 10.22630/ASPA.2022.21.3.21.

6. Давиденко М.О. Розрахунок міцності фібробетонних елементів кільцевого перерізу нормального до поздовжньої осі за деформаційним методом / М.О. Давиденко // Науковий вісник Національного університету біоресурсів і природокористування України. Серія : Техніка та енергетика АПК. 2014. Вип. 196(3). С. 105-108.

7. Андрійчук О.В. Робота і розрахунок елементів кільцевого перерізу зі сталефібробетону при повторних навантаженнях : автореф. дис. на здобуття наук. ступеня канд. техн. наук: спец. 05.23.01 „Будівельні конструкції, будівлі та споруди" / О. В. Андрійчук. Львів, 2008. 20 с.

8. Андрійчук О.В. Сталефібробетонні безнапірні труби: монографія / О.В. Андрійчук, Є.М. Бабич. Луцьк: РВВ Луцького НТУ, 2012. 150 с.

9. Бабич Є.М. Вплив повторних навантажень на роботу сталефібробетонних елементів кільцевого перерізу / Є.М. Бабич, О.В. Андрійчук // Ресурсоекономні матеріали, конструкції, будівлі та споруди: збірник наукових праць. Рівне: НУВГП, 2010. Випуск 20. С. 125–132

10. Бабич Є.М. Робота і розрахунок згинальних сталефібробетонних елементів: монографія / Є.М. Бабич, С.Я. Дробишинець. Луцьк: ЛНТУ, 2012. 194 с.

11. Власов В.З. Общая теория оболочек и её приложения в технике [Текст] / В.З. Власов. М.-Л.: Гостехтеориздат, 1949. 784 с.

12. Кан С.Н., Каплан Ю.І., Розрахунок циліндричних оболонок покриттів будівель. Рік: 1973р. К.: Видавництво: Вища школа. 244 с.

13. Tanaka, Masafumi & Mashita, Kazuhiko. (2010). Retrofitted strength of concrete cylindrical shells reinforced with single layer under concentrated load. Journal of Structural and Construction Engineering (Transactions of AIJ). 75. 1681-1689. 10.3130/aijs.75.1681.

14. Karpov, Vladimir & Semenov, Alexey. (2013). Mathematical model of deformation of orthotropic reinforced shells of revolution. Magazine of Civil Engineering. 40. 100-106. 10.5862/MCE.40.11.

15. Shen Li, Do Kyun Kim, Qing Quan Liang. Fibre-Based modelling for predicting the progressive collapse of cylindrical shells under combined axial compression and bending moment, Engineering Structures, Volume 272, 2022, 114988, doi.org/10.1016/j.engstruct.2022.114988.

16. Rong Li, Meng Yang, Bin Liang. A new and convenient method for strength evaluation of cracked cylindrical shell based on the ratio of crack tip stresses. Structures, Volume 52, 2023, Pages 146-157, ISSN 2352-0124, https://doi.org/10.1016/j.istruc.2023.03.130.

Doctor of Science, Professor **Mykola Surianinov**,
PhD **Daria Kirichenko, Viacheslav Surianinov,**
Odesa State Academy of Civil Engineering and Architecture

ANALOGY OF THE CALCULATION SCHEME OF A CYLINDRICAL WELL WITH THE BENDING SCHEME OF A PRISMATIC BEAM LYING ON A SOLID ELASTIC BASE

Elements of circular or annular cross-section are used in many engineering structures. The design solutions of such elements and the operating operational loads are very diverse, which determines the diversity of methods for their calculation and the need to improve existing ones and develop fundamentally new calculation methods. One of such methods is the numerical-analytical method of boundary elements.

A special place in a number of structures of circular cross-section is occupied by cylindrical wells. The design and calculation of wells is regulated by relevant regulatory documents. From the point of view of structural mechanics, such a well is a closed circular cylindrical shell of constant thickness, loaded over the entire surface with uniform normal pressure. The main analytical methods for analyzing their operation were developed in the last century. These are moment-free and moment theory of shells, semi-moment theory. An analysis of the literature shows that very little attention is paid to the development of new methods for calculating reinforced concrete and steel-fiber concrete cylindrical shells, therefore this direction is quite relevant. The paper shows the analogy of the design scheme of a cylindrical well with the scheme of bending of a prismatic beam lying on a solid elastic base. This analogy opens up the possibility of further application of the numerical-analytical method of boundary elements to the design of a well, since the solution of the problem of bending of a prismatic beam lying on a solid elastic base was obtained by this method earlier.

The work on bending of a closed circular cylindrical uniformly loaded shell, supported between transverse diaphragms equidistant by identical annular ribs of the same cross-sectional area, is considered.

Keywords: reinforced concrete; well; cylindrical shell; elastic foundation; boundary element method.

REFERENSES

1. DSTU B V. 2.6-106:2010 Concrete and reinforced concrete structures for manholes of sewer, water and gas networks. Kyiv. Ministry of Regional Development of Ukraine. 2011. 24 p. {in Ukrainian}

2. GOST 8020-2016 Concrete and reinforced concrete structures for wells of sewage, water and gas networks. Moscow. Standartinform. 2017. 24 p. {in Russian}

3. EN 1992-1-4: Eurocode 2: Design of concrete structures. {in English}

4. Dick, C.P., & Korkolis, Y.P. (2014). Mechanics and full-field deformation study of the Ring Hoop Tension Test. International Journal of Solids and Structures, 51(18), 3042–3057. doi:10.1016/j.ijsolstr.2014.04.023. {in English}

5. Szymczak-Graczyk, Anna. (2023). Selected aspects of the design and construction of reinforced concrete sunk wells. ACTA SCIENTIARUM POLONORUM - Architectura Budownictwo. 21. 10.22630/ASPA.2022.21.3.21. {in English}

6. Davydenko M.O. Calculation of the strength of fiber-reinforced concrete elements of a circular section normal to the longitudinal axis using the deformation method / M.O. Davydenko // Scientific Bulletin of the National University of Life Resources and Environmental Management of Ukraine. Series: Technology and Energy of the Agricultural Complex. 2014. Issue 196(3). P. 105-108. {in Ukrainian}

7. Andriychuk O.V. Work and calculation of elements of a circular section of steel-fiber concrete under repeated loads: author's abstract of dissertation for the degree of candidate of technical sciences: speciality 05.23.01 "Building structures, buildings and structures" / O.V. Andriychuk. Lviv, 2008. 20 p.{in Ukrainian}

8. Andriychuk O.V. Steel-fiber concrete pressureless pipes: monograph / O.V. Andriychuk, E.M. Babych. Lutsk: RVV Lutsk NTU, 2012. 150 p.{in Ukrainian}

9. Babych E.M. The influence of repeated loads on the work of steel-fiber concrete elements of circular section / E.M. Babych, O.V. Andriychuk // Resource-saving materials, structures, buildings and structures: collection of scientific works. Rivne: NUVGP, 2010. Issue 20. P. 125–132.{in Ukrainian}

10. Babich E.M. Work and calculation of bending steel-fiber concrete elements: monograph / E.M. Babich, S.Ya. Drobyshynets. Lutsk: LNTU, 2012. 194 p. {in Ukrainian}

11. Vlasov V. WITH. The general theory of shells and its applications in technology [Text] / V. WITH. Vlasov. M.L.: Gostekheorizdat, 1949. 784 p.{in Russian}

12. Kan S.N., Kaplan Y.I., Calculation of cylindrical shells of building coverings. Year: 1973. K.: Publisher: Higher School. 244 p.{in Ukrainian}

13. Tanaka, Masafumi & Mashita, Kazuhiko. (2010). Retrofitted strength of concrete cylindrical shells reinforced with single layer under concentrated load. Journal of Structural and Construction Engineering (Transactions of AIJ). 75. 1681-1689. 10.3130/aijs.75.1681. {in English}

14. Karpov, Vladimir & Semenov, Alexey. (2013). Mathematical model of deformation of orthotropic reinforced shells of revolution. Magazine of Civil Engineering. 40. 100-106. 10.5862/MCE.40.11. {in English}

15. Shen Li, Do Kyun Kim, Qing Quan Liang. Fibre-Based modelling for predicting the progressive collapse of cylindrical shells under combined axial compression and bending moment, Engineering Structures, Volume 272, 2022, 114988, ISSN 0141-0296, doi.org/10.1016/j.engstruct.2022.114988. {in English}

16. Rong Li, Meng Yang, Bin Liang. A new and convenient method for strength evaluation of cracked cylindrical shell based on the ratio of crack tip stresses. Structures, Volume 52, 2023, Pages 146-157, ISSN 2352-0124, https://doi.org/10.1016/j.istruc.2023.03.130. {in English}

DOI: 10.32347/2786-7269.2025.11.534-544
УДК 624.04

д.т.н., професор **Сур'янінов М.Г.,**
sng@odaba.edu.ua, ORCID: 0000-0003-2592-5221,
к.т.н., доцент **Нєутов С.П.,**
neutov.stepan@ogasa.org.ua, ORCID: 0000-0002-0132-124X,
к.т.н., доцент **Чучмай О.М.,**
chuchmay@odaba.edu.ua, ORCID: 0000-0002-5856-623X,
Одеська державна академія будівництва та архітектури, м. Одеса

ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНІ ТА ЧИСЕЛЬНІ ДОСЛІДЖЕННЯ БЕТОННИХ ТА ФІБРОБЕТОННИХ АРОК

Викладено результати експериментального та чисельного дослідження несучої здатності двошарнірних та безшарнірних кругових бетонних та фібробетонних арок. Арки виготовлені з бетону С16/20; одна арка кожного типу - з неармованого бетону, а друга - з додаванням до суміші 1% сталевої анкерної фібри.

При випробуваннях двохшарнірних арок було досягнуто руйнівне навантаження 600 кН, тобто несуча здатність арки, визначена експериментально, склала 0,845 від величини, отриманої шляхом чисельного аналізу, хоча, як правило, у проведених нами експериментальних дослідженнях інших конструкцій теоретичне значення несучої здатності виявлялося нижчим від фактичного. У цьому руйнація сталася у опорної частини, тобто. у місці з'єднання опори (п'яти) та арки, що пояснюється відсутністю армування п'яти. Результати експериментальних та чисельних досліджень бетонної арки свідчать про те, що при даній схемі навантаження у всіх поперечних перерізах арки виникають практично рівні напруження. Очевидно, що несучу здатність конструкції можна підвищити за рахунок рівномірного дисперсного армування арки і посилення п'яти стрижневої арматурою, що і визначає напрямок наших подальших досліджень.

Результати експериментальних та чисельних досліджень безшарнірних арок добре узгоджуються між собою та з результатами теоретичних розрахунків. Порівняння нормальних напружень в експерименті, визначених у точках розташування тензодатчиків, з їх теоретичними значеннями дає максимальну розбіжність у 9,6 % для бетонної арки та 9,2 % для фібробетонної. Звісно ж, що несучу здатність конструкції можна підвищити за рахунок більш рівномірного дисперсного армування арки.

Ключові слова: арка; бетон; фібробетон; експеримент; стенд; метод скінченних елементів; ANSYS; ЛІРА-САПР.

Вступ. Арка є одним із найдавніших конструктивних елементів. Область застосування арок надзвичайно широка — павільйони, криті ринки, ангари, спортивні зали, водопропускні труби, тунелі, мости, бані, підземні аркові конструкції тощо. За витратою матеріалу арки виявляються значно вигіднішими, ніж балкові та рамні системи. Крім того, арки прості у виготовленні та монтажі.

В наш час арочні конструкції найчастіше виготовляють із залізобетону. Залізобетонні арки знаходять широке застосування як кроквяних конструкцій, перемичок, в конструкціях мостів, покриттів промислових будівель. Відмінною особливістю арок є те, що при правильно обраному контурі згинальні моменти, що виникають в них, малі, що відповідає специфіці бетону — матеріалу, погано працює на розтяг. Розрахунок залізобетонних арок, як правило, ведеться виключно в пружній постановці. Однак такий підхід не враховує реальних фізичних закономірностей, структурно-технологічні фактори, нелінійність, непружний характер деформування бетону, появу та розвиток тріщин, спільну роботу бетону та арматури та безліч інших факторів.

Удосконалення теорії опору бетонних і залізобетонних конструкцій, у тому числі арочних, на основі розробки нових підходів при проведенні теоретичних, комп'ютерних та експериментальних досліджень, як і раніше, залишається актуальним завданням.

Аналіз попередніх досліджень. Підвищення несучої здатності і тріщиностійкості арок представляється можливим шляхом використання нових матеріалів, зокрема, фібробетону, і побудови більш точних моделей роботи матеріалу і конструкції в цілому, що забезпечується можливостями сучасного програмного забезпечення та експериментального моделювання [1-4]. Багато досліджень, у яких представлені результати чисельного та експериментального моделювання арок, проводиться у закордонних країнах, але найчастіше розглядається проблема стійкості [5-8].

Особливу цікавість викликають роботи, пов'язані з використанням нових матеріалів. Для підвищення міцності, жорсткості та пластичності залізобетонних арок у роботі [9] застосовувалися полімери, армовані вуглецевим волокном. Посилення виконувалося шляхом склеювання та обгортання. У роботі [10] експериментально досліджуються три залізобетонні арки. Одна використовується як контрольна, а дві інші посилені скріпленими зовні смугами полімерних волокон за різними схемами. Автори статті [11] досліджували велику серію бетонних та фібробетонних арок, поведінка яких оцінювалася різними механічними властивостями, включаючи характер руйнування, співвідношення навантаження та прогину, аналіз деформації та аналітичне дослідження. Розроблено скінченно-елементну модель, яка враховує

фізичну та геометричну нелінійність. Експериментальне дослідження поведінки залізобетонних арок, посилених шарами полімеру, армованого скловолокном, проведено у [12]. Змінними тут були коефіцієнт армування сталевою арматурою, кількість шарів склопластику та їх розташування.

Мета. Метою даної роботи є чисельне та експериментальне дослідження несучої здатності двошарнірних та безшарнірних кругових бетонних та фібробетонних арок.

Матеріали та методи дослідження. Арки виготовлені з бетону С16/20; одна арка з неармованого бетону, а друга з додаванням в суміш 1% сталевої анкерної фібри. Одночасно з цих замісів виготовлені зразки-куби з розміром ребра 10 см, які випробувані на стиск згідно [13]. Для комп'ютерного моделювання та чисельного аналізу методом скінченних елементів використані програми ANSYS [14] та ЛІРА-САПР [15].

Результати та обговорення. Виготовлений нами стенд [16] (рис. 1) дозволяє прикласти до арки гідростатичне навантаження, що діє по всьому прольоту.

Арка, що випробовується, встановлюється на верхній опорній балці навантаження, яка спирається на чотири опорні стійки (рис. 1). На бокових поверхнях арки наклеєні тензодатчики, закріплені індикатори та прогібоміри, за допомогою яких у процесі навантаження відстежуються деформації найбільш навантажених (небезпечних) волокон матеріалу арки (рис. 2).

Арка, окреслена за дугою кола. Стріла підйому арки — f = 100 см, проліт — ℓ = 200 см. Поперечний переріз — прямокутний, висотою 6 см, шириною 12 см. Матеріал арки — неармований бетон класу С16/20.

На верхній зовнішній поверхні арки укладена тонка металева смуга, до якої через кожні 12 см за допомогою шурупів прикріплені передавальні стриженьки. На смузі розташований гнучкий пластинчастий стрижень, який охоплює арку на верхньому поясі. Смуга, в силу своєї малої жорсткості, приймає контур верхнього пояса арки і дозволяє пластинчастому стрижню вільно ковзати по поверхні. Пластинчастий стрижень набраний із металевих пластин перерізом 50×5 мм та довжиною 270 мм. Через кожні 24 см чотири пари пластин з одного боку та чотири з іншого з'єднані почергово між собою міцними болтами Ø16 мм. Загальна довжина гнучкого стрижня — 5 метрів. Міцність на розрив — 222 кН. Наявність болтових з'єднань (шарнірів) дозволяє гнучкому пластинчастому стрижню приймати контур верхнього поясу арки. До пластинчастого стрижня кріпиться друга (нижня) балка навантаження.

У процесі навантаження фіксується навантаження, що прикладається пластинчастому стрижню, а, отже, і арці, а також відповідні деформації, що виникають у бетоні. Навантаження прикладається ступенями. Кожна ступінь

закінчується витримкою тривалістю 5-8 хвилин із фіксацією всіх необхідних параметрів. Деформації вимірювалися за допомогою тензодатчиків та індикаторів вартового типу з ціною розподілу 0,001 мм, базою 250 мм. База тензодатчиків — 50 мм.

Рис. 1. Експериментальний стенд

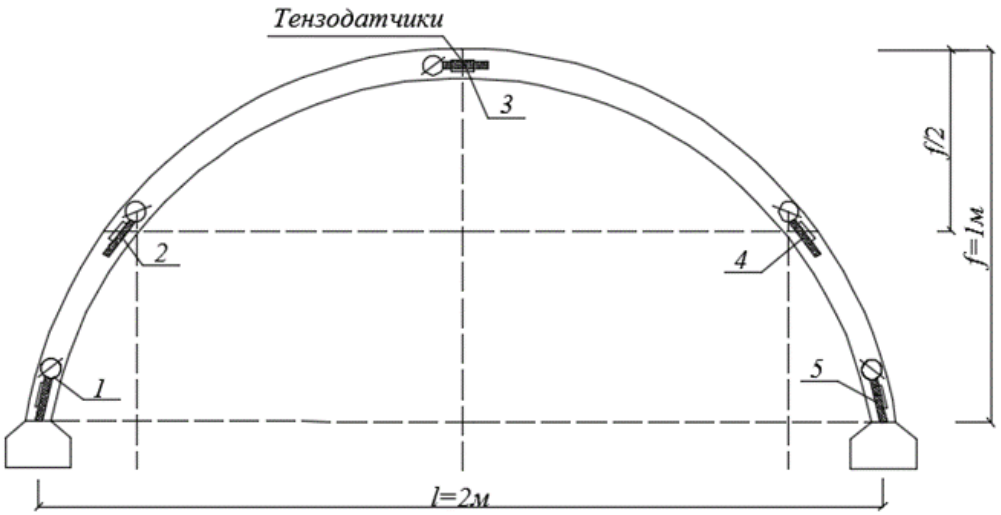


Рис. 2. Схема розташування тензодатчиків

Перший та п'ятий тензодатчики (рис. 2) розташовані біля опор. Третій — посередині прольоту на рівні «замку», а другий та четвертий — симетрично на половині стріли підйому.

У процесі навантаження нижня балка з допомогою домкрата зміщується щодо верхньої балки, яку спирається арка. Зсув нижньої балки призводить до того, що гнучкий пластинчастий стрижень, що охоплює арку, натягується і на арку передається рівномірно розподілене навантаження (гідростатичний тиск) по всій поверхні. Зусилля, що прикладається до балок, а значить і пластинчастого стрижня, контролюється за допомогою зразкового динамометра.

Характер деформацій бетону, отриманий у процесі навантаження двошарнірної арки на початковому етапі експерименту, показує, що вимірювальні прилади працюють синхронно і показують практично лінійну залежність протягом усього процесу навантаження. Останнє свідчить про те, що при даній схемі навантаження у всіх поперечних перерізах арки виникають практично рівні напруження. Процес навантаження закінчується тоді, коли арка втрачає здатність чинити опір навантаженню чи руйнується. Величина навантаження, що відповідає цьому моменту, приймається за несучу здатність арки.

У досліджуваної бетонної арці руйнація сталася опорної частини, тобто. у місці з'єднання опори (п'яти) та арки, при навантаженні 600 кН.

При моделюванні арки в ПК ЛІРА-САПР були прийняті фізико-механічні характеристики, визначені експериментально при випробуваннях кубикових зразків бетону:

$$E = 32000 МПа; \quad \mu = 0,2; \quad R_{cube} = 31 МПа.$$

Обчислення проводилися при величинах навантаження, що відповідають ступеням навантаження в експериментальних дослідженнях. Оскільки при навантаженні 600 кН, що відповідає втраті несучої здатності арки в експерименті, величина Gx, визначена в ПК ЛІРА-САПР і відповідна кубикової міцності, була меншою $R_{cube} = 31$МПа , навантаження було збільшене і доведене до 710 кН. При цьому величина Gx досягла значення 31418 МПа (табл. 1), що дозволяє вважати теоретичне значення несучої здатності арки рівним 710 кН (рис. 6.5).

Характеристики матеріалів безшарнірних арок: бетон: початковий модуль пружності — $E = 2,5 \cdot 10^4$ МПа; коефіцієнт Пуассона — $\mu = 0,2$; фібробетон: початковий модуль пружності — $E = 3,1 \cdot 10^4$МПа; коефіцієнт Пуассона — $\mu = 0,21$.

Під час випробувань обидві арки було доведено до руйнування. Руйнівне навантаження для бетонної арки склало 710 кН, для фібробетонної — 800 кН. Обробка показань вимірювальних приладів дозволила визначити відповідні цим навантаженням нормальні напруження (табл. 1). У цій же таблиці наведено теоретичні значення напружень, обчислені при навантаженнях на арки в моменти їх руйнування.

Таблиця 1

Результати розрахунку двошарнірної арки у ПК ЛІРА-САПР

№ елем.	N (кН)	M_y (кН*см)	Q_z (кН)	G_xN, МПа	G_xM, МПа	G_x, МПа
1	226,209	0,000	0,066	31,418	0,000	31,418
2	226,209	1,080	0,085	31,418	0,050	31,418
3	226,209	2,468	0,057	31,418	0,114	31,532
4	226,209	3,401	0,065	31,418	0,157	31,575
5	226,209	4,464	0,053	31,418	0,207	31,625
6	226,209	5,320	0,055	31,418	0,246	31,664
7	226,209	6,209	0,040	31,418	0,287	31,705
8	226,209	6,856	0,039	31,418	0,317	31,735
9	226,209	7,485	0,019	31,418	0,347	31,764
10	226,209	7,789	0,011	31,418	0,361	31,778
11	226,209	7,975	0,000	31,418	0,369	31,787
12	226,209	7,975	- 0,011	31,418	0,369	31,787
13	226,209	7,789	- 0,019	31,418	0,361	31,778
14	226,209	7,485	- 0,039	31,418	0,347	31,764
15	226,209	6,856	- 0,040	31,418	0,317	31,735
16	226,209	6,209	- 0,055	31,418	0,287	31,705
17	226,209	5,320	- 0,053	31,418	0,246	31,664
18	226,209	4,464	- 0,065	31,418	0,207	31,625

Обчислення в пакеті ANSYS також проводилися при величинах навантажень, що відповідають руйнівним навантаженням в експериментальних дослідженнях. Визначені внаслідок цих обчислень нормальні напруження наведені в табл. 2, а на рис. 3 показана епюра згинальних моментів у бетонній арці, причому, максимальний момент у затисканні дорівнює 1,352 кНм, що добре узгоджується з теоретичним та експериментальним значеннями цього моменту. Слід зазначити, що результати скінченно-елементного аналізу суттєво залежать від способу побудови скінченно-елементної сітки. Наведені результати отримані при розбитті осі арки на 80 скінченних елементів однакової довжини; якщо проліт арки розбитий на 80 однакових частин, довжини скінченних елементів будуть різними, а максимальний момент у затисканні бетонної арки виявиться рівним 3,986 кНм. Цей факт підтверджується проведеними нами додатково скінченно-елементними розрахунками ще у двох програмах — ПК ЛІРА-САПР та SOFiSTiK.

При випробуваннях бетонної арки було досягнуто руйнівне навантаження 710 кН, а при випробуваннях фібробетонної арки — 810 кН, тобто несуча здатність арки з фібробетону, визначена експериментально, виявилася в 1,13 рази вищою.

Таблиця 2

Порівняння результатів для бетонної безшарнірної арки

№№ точок	$\sigma_{теор}$, МПа	$\sigma_{числ}$, МПа	$\sigma_{експ}$, МПа	Розбіжність $\sigma_{теор}$ і $\sigma_{експ}$, %
1	31,339	31, 854	33,441	6,3
2	-3,565	-3,624	-3,944	9,6
3	13,113	13,331	14,338	8,5
4	-3,565	-3,624	-3,266	8,4
5	31,339	-31, 854	33,844	7,4

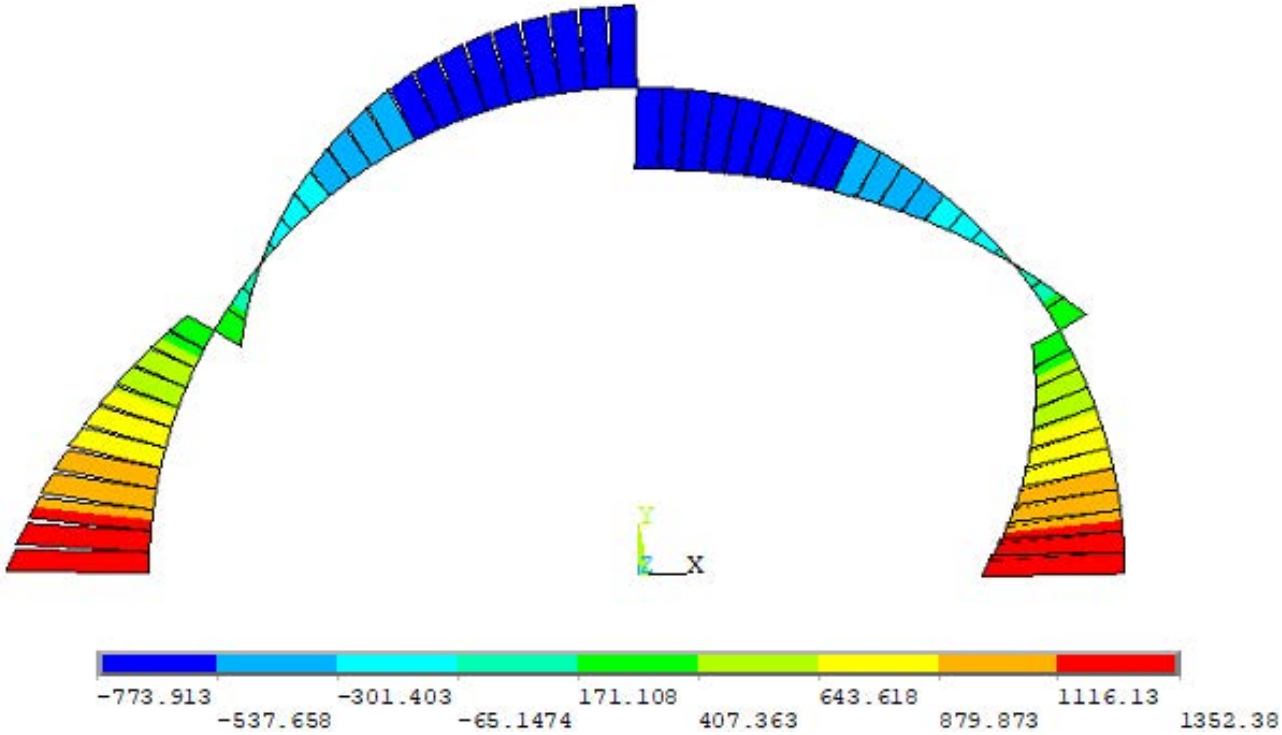


Рис. 3. Епюра згинальних моментів у бетонній арці

Аналогічні результати для фібробетонної арки наведено у табл. 3.

Таблиця 3

Порівняння результатів для фібробетонної безшарнірної арки

№№ точок	$\sigma_{теор}$, МПа	$\sigma_{числ}$, МПа	$\sigma_{експ}$, МПа	Розбіжність $\sigma_{теор}$ і $\sigma_{експ}$, %
1	35,340	35, 920	34,124	3,4
2	-4,020	-4,087	-3,716	7,6
3	14,787	15,033	13,423	9,2
4	-4,020	-4,087	-3,777	6,1
5	35,340	35, 920	33,635	4,8

Висновки

При випробуваннях двохшарнірних арок було досягнуто руйнівне навантаження 600 кН, тобто несуча здатність арки, визначена

експериментально, склала 0,845 від величини, отриманої шляхом чисельного аналізу, хоча, як правило, у проведених нами експериментальних дослідженнях інших конструкцій теоретичне значення несучої здатності виявлялося нижчим від фактичного. У цьому руйнація сталася у опорної частини, тобто. у місці з'єднання опори (п'яти) та арки, що пояснюється відсутністю армування п'яти. Результати експериментальних та чисельних досліджень бетонної арки свідчать про те, що при даній схемі навантаження у всіх поперечних перерізах арки виникають практично рівні напруження. Очевидно, що здатність конструкції, що несе, можна підвищити за рахунок рівномірного дисперсного армування арки і посилення п'яти стрижневої арматурою, що і визначає напрямок наших подальших досліджень.

Результати експериментальних та чисельних досліджень безшарнірних арок добре узгоджуються між собою та з результатами теоретичних розрахунків. Порівняння нормальних напружень в експерименті, визначених у точках розташування тензодатчиків, з їх теоретичними значеннями дає максимальну розбіжність у 9,6 % для бетонної арки та 9,2 % для фібробетонної. Звісно ж, що несучу здатність конструкції можна підвищити за рахунок більш рівномірного дисперсного армування арки.

Список літератури

1. А.С. Городецький, М.С. Барабаш, В.М. Сидорів. Комп'ютерне моделювання у завданнях будівельної механіки. К.: Вид-во АСВ. 338 с.

2. Surianinov M., Neutov S, Korneieva I., Sydorchuk M. Analytical, experimental and computer studies of road systems, planes and shells made from steel fiber concrete. International itinerant exhibition research in building engineering EXCO`2020. Valencia, 2020. P. 152-153.

3. P. Balduk, S. Neutov, I.Korneeva. Forced vibrations of arch systems in its plane. Scientific journal "Mechanics and Mathematical Methods". Volume II. No. 1, 2020. Pages 68-80.

4. M. Surianinov, S. Neutov, M. Soroka, D. Kirichenko, O. M. Chuchmai. Bearing Capacity of Hingeless Circular Arches Made of Concrete and Fiber Concrete Under Hydrostatic Pressure. WorldScience 6(78). doi: 10.31435/rsglobal_ws/30122022/7904.

5. Harvey Jr., P.S., Virgin, L.N., 2015. Coexisting equilibria and stability boundaries of a shallow arch: unilateral displacement-control experiments and theory. Int. J. Solids Struct. 54, 1–11.

6. G.M. El-Mahdy. Parametric study of the structural and in-plane buckling analysis of ogee arches. HBRC Journal (2014) 10, 108–116.

7. Jun Yang, Jianting Zhou, Zongshan Wang, Yingxin Zhou and Hong Zhang. Structural Behavior of Ultrahigh-Performance Fiber-Reinforced Concrete Thin-Walled Arch Subjected to Asymmetric Load. Hindawi Advances in Civil Engineering Volume 2019, Article ID 9276839, pages 1-12. https://doi.org/10.1155/2019/9276839.

8. H. Moradia, A.R. Khaloob, M. Shekarchib, and A. Kazemianb. Efect of utilizing glass

ber-reinforced polymer on exural strengthening of RC arches/Scientia Iranica, Transactions A: Civil Engineering 26 (2019) 2299-2309.

9. Zhang, X., Wang, P., Jiang, M., Fan, H., Zhou, J., Li, W., … Jin, F. (2015). CFRP strengthening reinforced concrete arches: Strengthening methods and experimental studies. Composite Structures, 131, 852–867. doi: 10.1016/j.compstruct.2015.06.

10. Hamed, E., Chang, Z.-T., & Rabinovitch, O. (2015). Strengthening of Reinforced Concrete Arches with Externally Bonded Composite Materials: Testing and Analysis. Journal of Composites for Construction, 19(1), 04014031. doi: 10.1061/(asce)cc.1943-5614.0000495.

11. Yang, J., Zhou, J., Wang, Z., Zhou, Y., & Zhang, H. (2019). Structural Behavior of Ultrahigh-Performance Fiber-Reinforced Concrete Thin-Walled Arch Subjected to Asymmetric Load. Advances in Civil Engineering, 2019, 1–12. doi:10.1155/2019/9276839.

12. Moradi, H., Khaloo, A., Shekarchi, M., Kazemian, A. (2019). Effect of utilizing glass fiber-reinforced polymer on flexural strengthening of RC arches. Scientia Iranica, 26(Issue 4: Special Issue Dedicated to Professor Abolhassan Vafai), 2299-2309. doi: 10.24200/sci.2019.21512.

13. ДСТУ Б.В.2.7-214:2009. Бетони. Методи визначення міцності за контрольними зразками. К.: Мінрегіонбуд України, 2010. 43 с.

14. Лазарєва Д.В., Сорока М.М., Шиляєв О.С. Прийоми роботи з ПК ANSYS при розв'язанні задач механіки. Під редакцією М.Г. Сур'янінова: монографія / Д.В. Лазарєва, М.М. Сорока, О.С. Шиляєв. — Одеса: ОДАБА, 2020. 432 с.

15. Программный комплекс ЛИРА-САПР. Руководство пользователя. Обучающие примеры. Водопьянов Р.Ю., Титок В.П., Артамонова А.Е., Ромашкина М.А. Под ред. академика РААСН Городецкого А.С. Электронное издание, 2017г., 535с.

16. Патент на корисну модель №147543 Стенд для визначення несучої здатності арочних конструкцій / Нєутов С.П., Корнеєва І.Б., Сур'янінов М.Г., Бойко О.В., Головата З.О. 19.05.21. https://sis.ukrpatent.org/uk/search/detail/1594405/.

Doctor of Science, Professor **Mykola Surianinov**,
PhD **Stepan Neutov,**
PhD **Olexandr Chuchmay,**
Odesa State Academy of Civil Engineering and Architecture, Odesa

EXPERIMENTAL AND NUMERICAL STUDIES OF CONCRETE AND FIBER CONCRETE ARCHES

The paper presents the results of experimental and numerical studies of the bearing capacity of two-hinged and hingeless circular concrete and fiber-reinforced concrete arches. The arches are made of C16/20 concrete; one arch of each type is made of unreinforced concrete, and the second one is made with 1% steel anchor fiber added to the mixture. During the tests of two-hinged arches, a destructive load

of 600 kN was achieved, i.e. the bearing capacity of the arch, determined experimentally, was 0.845 of the value obtained by numerical analysis, although, as a rule, in the experimental studies of other structures conducted by us, the theoretical value of the bearing capacity turned out to be lower than the actual one. In this case, the destruction occurred at the supporting part, i.e. at the junction of the support (heel) and the arch, which is explained by the lack of heel reinforcement. The results of experimental and numerical studies of a concrete arch indicate that with this loading scheme, practically equal stresses arise in all cross-sections of the arch. It is obvious that the bearing capacity of the structure can be increased by uniformly dispersed reinforcement of the arch and strengthening the heel with bar reinforcement, which determines the direction of our further research. The results of experimental and numerical studies of hingeless arches are in good agreement with each other and with the results of theoretical calculations. Comparison of the normal stresses in the experiment, determined at the points of the strain gauges, with their theoretical values gives a maximum discrepancy of 9.6% for a concrete arch and 9.2% for a fiber-reinforced concrete. Of course, the bearing capacity of the structure can be increased by more uniformly dispersed reinforcement of the arch.

Keywords: arch, concrete, fiber-reinforced concrete, experiment, stand, finite element method, ANSYS, LIRA-SAPR.

REFERENSES

1. A.S. Gorodetsky, M.S. Barabash, V.M. Sydoriv. Computer modeling in structural mechanic problems. K.: ASV Publishing House. 338 p. {in Ukrainian}.

2. Surianinov M., Neutov S, Korneieva I., Sydorchuk M. Analytical, experimental and computer studies of road systems, planes and shells made from steel fiber concrete. International itinerant exhibition research in building engineering EXCO`2020. Valencia, 2020. P. 152-153. {in English}

3. P. Balduk, S. Neutov, I.Korneeva. Forced vibrations of arch systems in its plane. Scientific journal "Mechanics and Mathematical Methods". Volume II. No. 1, 2020. Pages 68-80. {in English}

4. M. Surianinov, S. Neutov, M. Soroka, D. Kirichenko, O. M. Chuchmai. Bearing Capacity of Hingeless Circular Arches Made of Concrete and Fiber Concrete Under Hydrostatic Pressure. WorldScience 6(78). doi: 10.31435/rsglobal_ws/30122022/7904. {in English}

5. Harvey Jr., P.S., Virgin, L.N., 2015. Coexisting equilibria and stability boundaries of a shallow arch: unilateral displacement-control experiments and theory. Int. J. Solids Struct. 54, 1–11. {in English}

6. G.M. El-Mahdy. Parametric study of the structural and in-plane buckling analysis of ogee arches. HBRC Journal (2014) 10, 108–116. {in English}

7. Jun Yang, Jianting Zhou, Zongshan Wang, Yingxin Zhou and Hong Zhang. Structural Behavior of Ultrahigh-Performance Fiber-Reinforced Concrete Thin-Walled Arch Subjected to Asymmetric Load. Hindawi Advances in Civil Engineering Volume 2019, Article ID 9276839, pages 1-12. https://doi.org/10.1155/2019/9276839. {in English}

8. H. Moradia, A.R. Khaloob, M. Shekarchib, and A. Kazemianb. Efect of utilizing glass ber-reinforced polymer on exural strengthening of RC arches/Scientia Iranica, Transactions A: Civil Engineering 26 (2019) 2299-2309. {in English}

9. Zhang, X., Wang, P., Jiang, M., Fan, H., Zhou, J., Li, W., Jin, F. (2015). CFRP strengthening reinforced concrete arches: Strengthening methods and experimental studies. Composite Structures, 131, 852–867. doi: 10.1016/j.compstruct.2015.06. {in English}

10. Hamed, E., Chang, Z.-T., & Rabinovitch, O. (2015). Strengthening of Reinforced Concrete Arches with Externally Bonded Composite Materials: Testing and Analysis. Journal of Composites for Construction, 19(1), 04014031. doi:10.1061/(asce)cc.1943-5614.0000495. {in English}

11. Yang, J., Zhou, J., Wang, Z., Zhou, Y., & Zhang, H. (2019). Structural Behavior of Ultrahigh-Performance Fiber-Reinforced Concrete Thin-Walled Arch Subjected to Asymmetric Load. Advances in Civil Engineering, 2019, 1–12. doi:10.1155/2019/9276839. {in English}

12. Moradi, H., Khaloo, A., Shekarchi, M., Kazemian, A. (2019). Effect of utilizing glass fiber-reinforced polymer on flexural strengthening of RC arches. Scientia Iranica, 26(Issue 4: Special Issue Dedicated to Professor Abolhassan Vafai), 2299-2309. doi: 10.24200/sci.2019.21512. {in English}

13. DSTU B.V.2.7-214:2009. Concretes. Methods for determining strength using control samples. Kyiv: Minregionalbud of Ukraine, 2010. 43 p. {in Ukrainian}.

14. Lazareva D.V. Techniques for working with the ANSYS PC when solving problems of mechanics. Edited by M.G. Surianinov: monograph / D.V. Lazareva, M.M. Soroka, O.S. Shilyaev. Odesa: ODABA, 2020. 432 p. {in Ukrainian}

15. LIRA-SAPR software complex. User manual. Training examples. Vodopyanov R.Yu., Tytok V.P., Artamonova A.E., Romashkina M.A. Edited by academician of the RAASN Gorodetsky A.S. Electronic edition, 2017, 535p. {in Ukrainian}

16. Patent for utility model No. 147543 Stand for determining the bearing capacity of arched structures / Neutov S.P., Korneeva I.B., Surianinov M.G., Boyko O.V., Golovata Z.O. 05/19/21. https://sis.ukrpatent.org/uk/search/detail/1594405/. {in Ukrainian}

DOI: 10.32347/2786-7269.2025.11.545-556
УДК 332.3

Батура М.В.,
makszemsvit@gmail.com, ORCID: 0000-0002-7142-4279,
Львівський національний університет природокористування

ПРОБЛЕМИ ТА ПЕРЕШКОДИ У РОЗВИТКУ СТАЛОГО ЗЕМЛЕКОРИСТУВАННЯ ГРОМАД В УМОВАХ ВОЄННОГО СТАНУ

Метою даної роботи є аналіз проблем та перешкод, що стоять на шляху розвитку сталого землекористування в громадах України. Особливо увага приділяється тому, як війна в Україні вплинула на земельні відносини та спричинені війною екологічні та соціально-економічні проблеми. Робота направлена на визначення різних підходів до вирішення цих проблем, які можуть сприяти покращенню екологічної безпеки та соціально-економічному розвитку громад, а також можливості адаптації сталих практик землекористування до нових реалій. Встановлено, що основними проблемами та перешкодами, які заважають та стримують розвиток сталого землекористування в громадах країни є: військові дії, нераціональне використання земельних ресурсів, ерозія ґрунтів, екологічні проблеми – забруднення навколишнього середовища, корупційні фактори та прогалини в законодавчій базі.

*Ключові слова: **с**талий розвиток; землекористування; громада; воєнний стан; екологічні загрози; інновації; управління землями.*

Проблема і її зв'язок з науковими та практичними завданнями. Україна – країна з великими можливостями та ресурсами, тому проблеми щодо розвитку сталого землекористування є одна з важливих та актуальних тем для нашої держави. Особливо враховуючи величезний потенціал країни у сільськогосподарському виробництві та важливості ефективного та раціонального використання земельних ресурсів для економічного розвитку. Деградація земель, що викликана нераціональним використанням, ерозією, забрудненням ґрунтів та вод, зміни клімату – все це загрожує не тільки екологічній стабільності, але і продовольчій безпеці. Проблема сталого землекористування набула особливо важливого значення після запровадження воєнного стану на території нашої держави. Вона стала новою та критично важливою для подальшого екологічного та економічного розвитку, що є особливо важливим, враховуючи які ресурси нищить «воєнна машина» під час бойових дій. Військові дії знищують все, що тільки можливо: інфраструктуру, сільськогосподарські угіддя, забруднюють ґрунти та води, це, в свою чергу,

призводить до проблем забезпечення продовольчої безпеки, яку так важливо підтримувати під час війни. Приймаються відповідні Закони та заходи, щоб убезпечити продовольчу безпеку і, які також впливають на регулювання земельних відносин під час воєнного стану [3]. Наукові та практичні завдання мають полягати в аналізі та дослідженні причин всіх цих процесів, розробці шляхів їх попередження та впровадження кращих практик, які будуть спрямовані на збереження родючості ґрунтів і відновлення сталого розвитку. Слід звернути увагу на вивчення масштабів цих проблем та підвищення стійкості громад до таких проблем і перешкод, особливо у воєнний час. Не можна не зазначити, що буде доволі актуальним вивчення міжнародного досвіду в сфері землекористування та можливості його адаптації до наших реалій, особливо з держав, які перебувають чи перебували в стані війни на своїй території чи приймали участь у бойових діях за межами своєї держави.

Постановка задачі. В контексті проблем та перешкод у розвитку сталого землекористування громад в умовах воєнного стану постає ряд важливих питань, які потрібно проаналізувати та вирішити.

Спершу, потрібно оцінити вплив воєнних дій на земельні ресурси, так як військові дії мають прямий і не прямий вплив на них. Прямий – це фізичні руйнування, наприклад, обстріли чи мінування, не прямий – екологічні наслідки, забруднення навколишнього середовища або пошкодження інфраструктури. Тому необхідно провезти аналіз територій, які потрапили під вплив воєнних дій, визначити масштаби деградації земель, спричиненої внаслідок забруднень та руйнування інфраструктури, оцінити стан земельних ресурсів із екологічної точки зору та можливості їх відновлення. Оцінку можна проводити шляхом використання супутникових знімків, даних органів влади громад, аналізу проб ґрунтів, розгляду поширення нерозірваних вибухових пристроїв, дослідженням ґрунтів та водних ресурсів на токсини.

По друге, необхідно проаналізувати та виявити бар’єри для розвитку сталого землекористування, так як під час воєнного стану виникають серйозні проблеми для впровадження різних сталих практик землекористування. Необхідно ідентифікувати основні бар’єри (економічні, соціальні, екологічні), що обмежують розвиток сільського господарства, оцінити вплив на дрібних фермерів і агрохолдинги, визначити рівень залучення громад до відновлення процесів землекористування. Варто дослідити вплив воєнних дій на економічні показники підприємств та фермерів, визначити можливості трудових ресурсів і залучення мігрантів для відновлення аграрного сектору тощо.

По третє, потрібно розробити рекомендації для громад, які допоможуть адаптувати землекористування до нових реалій та мінімізувати вплив воєнних дій, так як громади мають ключову роль у збереженні та відновленні земельних

ресурсів. Вони повинні використовувати нові практики, адаптуватись до нових умов та шукати різні рішення, які допоможуть у процесі відновлення. Рекомендації мають містити наступне: адаптацію до змін – це впровадження громадами різних рішень для підтримки сільського господарства під час воєнного стану; відновлення земель – різні заходи з очищення та відновлення землі, програми фінансування фермерів для відновлення виробництва; підвищення обізнаності в сфері екології – інформувати громади про екологічні проблеми та забезпечення збереження земельних ресурсів шляхом використання сучасних методів очищення земель.

Всі рекомендації, задачі та питання потрібно вирішувати та досліджувати не лише для реалій воєнного стану, але і розробляти довгострокові стратегії для відновлення земельних ресурсів, підвищення стійкості сільськогосподарської сфери до наслідків війни. Відлуння війни є дуже великим і її наслідки будуть ще довго нагадувати про себе.

Аналіз останніх публікацій. Багато досліджень у сфері сталого землекористування спрямовані, в основному, на екологічну складову; аграрні технології та підходи введення нових, сучасних та інноваційних методів для управління земельними ресурсами. Після початку великої війни на території України постали нові виклики, це і деградація земель, і масова міграція населення. До часів повномасштабного вторгнення в наукових працях не брались до уваги виклики, що пов’язані з бойовими діями, тому їх можна вважати недостатньо вивченими. Дослідження в галузі сталого землекористування проводилось різними науковцями, де вони вивчали різні проблеми та перешкоди в даній сфері. Мельничук Л.С. [12]. досліджував проблеми сталого та раціонального землекористування в Україні. Грещук Г І. у своїй роботі досліджувала питання забезпечення розвитку сталого сільськогосподарського землекористування [4]. Багато досліджень можна знайти на тему післяконфліктного відновлення земельних ресурсів. Наприклад, досвід Сирії в самовідновленні показав у своїй роботі Тейлор Реберн-Гібсон [2].

Виклад матеріалу і результати. Землекористування є важливою складовою сталого розвитку громад, що особливо важливо в сучасній Україні, на території якої, нажаль, воєнний стан. В таких умовах в Україні надто посилились проблеми у сфері землекористування, внаслідок чого є загроза не тільки економічній стабільності, але й екологічній безпеці. Розвиток та вирішення проблем сталого землекористування є особливо актуальним, так як має на меті необхідність збереження природніх ресурсів та забезпечення стабільного і постійного економічного розвитку сільськогосподарського сектору.

Сталий розвиток землекористування є одним із ключових аспектів економічної та екологічної стабільності громад [1], є глобальною проблемою, особливо в умовах змін клімату, деградації природних ресурсів. Що ж стосується земельної та сільськогосподарської сфери, це руйнування інфраструктури, екологічні катастрофи: наприклад, знищення Каховського водосховища, забруднення, мінування та руйнування земельних угідь, масова вимушена міграція населення [9]. Військові дії призвели до руйнування великої частини аграрних земель. Враховуючи нинішню ситуацію на території України можна виділити основні проблеми сталого землекористування в умовах воєнного стану такі як: руйнування інфраструктури та об'єктів землекористування; безпекова ситуація; переривання або обмеження в постачанні та труднощі економіки; екологічні проблеми спричинені наслідками війни; правові проблеми. До прикладу через воєнні дії також суттєво скоротилась кількість угод на ринку землі, що призвело до великих фінансових втрат, аналітичний огляд яких було проведено в межах дослідницького проєкту «Земля незламності» за травень 2023 року – квітень 2024 року, орієнтовні значення яких представленні на рис. 1 [7].

Як можна побачити, що чим ближче територія до зони бойових дій, тим сильніше там потерпає ринок землі.

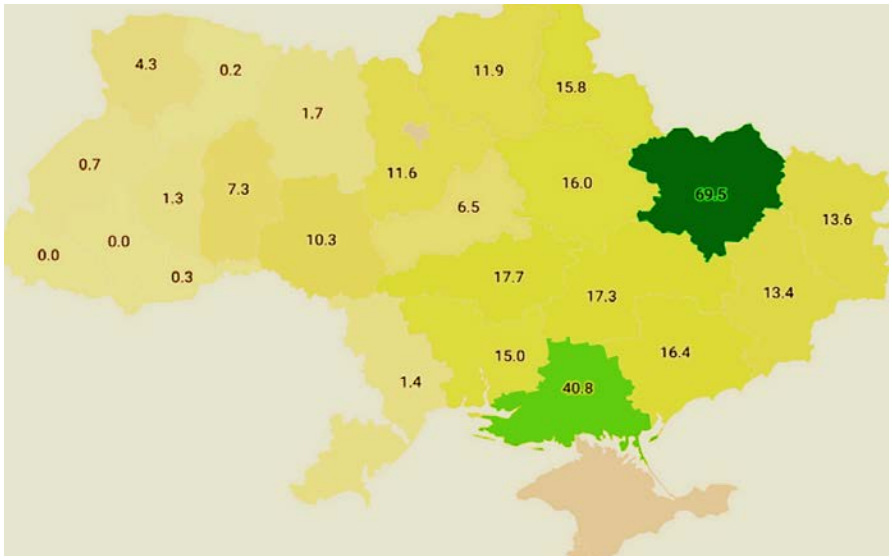


Рис. 1. Втрати ринку земель через військові дії, (млн. дол.) [7]

Про це свідчить зменшення активності та податків, які сплачують відповідні території (рис. 2).

Зміну доходів до бюджету, що пов'язані із землями сільськогосподарського призначення нагляд-но можна дізнатися за результатами розрахунків на основі даних OpenBudget за 2023 рік та відповідний період за 2021 рік [8].

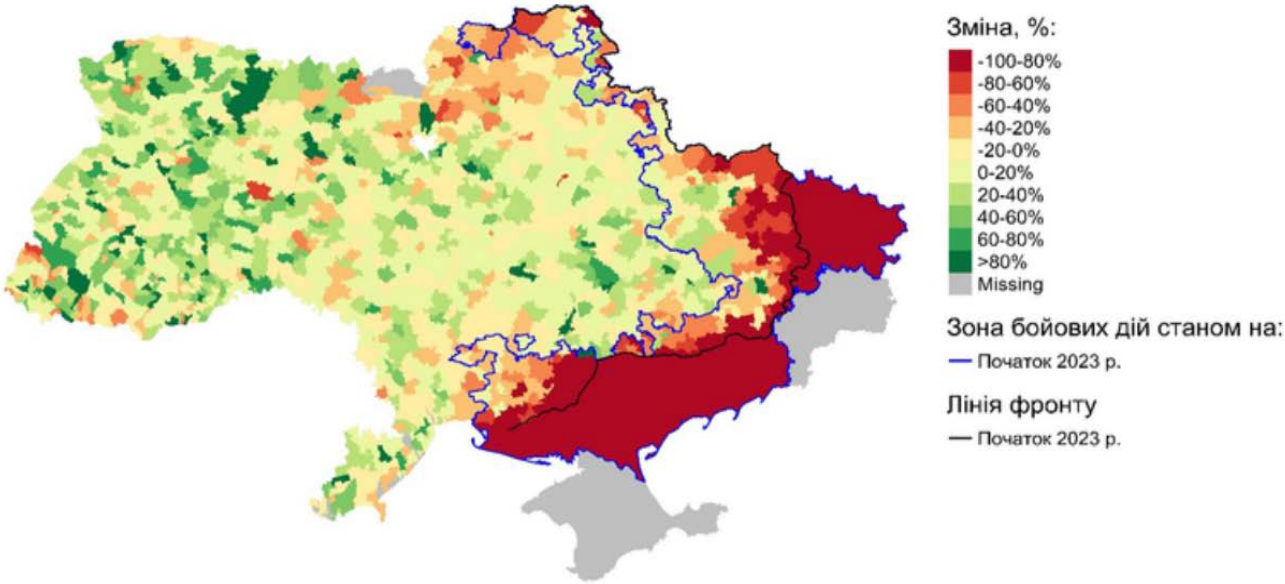


Рис. 2. Зміна бюджетних доходів громад у 2023 році до відповідного періоду 2021 р., % [8].

Воєнний стан та військові дії призвели до дуже значних та масштабних руйнувань всіх типів інфраструктури (мости, дороги, земельні угіддя, ліси і т. д.). Велика кількість громад втратила повністю або частково доступ до своїх земельних ресурсів через бойові дії, мінування, окупацію, що в свою чергу, зменшує частково або повністю до нуля користування земельними ресурсами. Також більш дрібні фермери не мають змоги та ресурсів для відновлення землі, яка пошкоджена внаслідок військових дій.

Території, які тимчасово опинились під окупацією та території, які наближенні до лінії зіткнення є дуже небезпечними та зонами підвищеного ризику для здоров'я й життя населення. Землі, які забрудненні або заміновані вибуховими речовинами і предметами, стали небезпечними та фактично неможливими для їх використання. Відсутність безпеки для фермерів, лісників і всіх інших учасників аграрного сектору стали важливим та пріоритетним викликом для сталого розвитку землекористування.

Через воєнні дії відбулись та продовжують відбуватись великі зміни в логістиці та шляхах постачання, ще й до того, такі зміни є непередбачувані через військові дії, тому це ускладнює доступ до ринку та продажу продукції як на території Україні, так і закордоном. Ріст інфляції, девальвація національної валюти, економічний спад – все це сильно ускладнює умови ведення сільського господарства та землекористування.

Як зазначалось раніше, війна має катастрофічний і пагубний вплив на навколишнє середовище та екологію в цілому. Вибухи, забруднення хімічними речовинами, пожежі й інші військові дії знищують родючі землі, лісові та водні ресурси, що в свою чергу порушує природний баланс в екосистемах, погіршує якість ґрунтів та спричиняє деградацію земель. Всі ці негативні фактори

ускладнюють сталий розвиток громад, врахуючи і землекористування. Загалом основні проблеми, із якими можна стикнутися при землекористуванні під час воєнного стану в Україні, можна звести до випадків, які подано у таблиці нижче.

Таблиця 1.

Основні проблеми землекористування під час війни

Проблема		Опис проблеми	Вплив проблеми на землекористування
Руйнування угідь		Руйнування ґрунтів через використання різної військової та інженерної техніки; обстріли та бомбардування територій	Зменшення площі земель, що придатна до використання
Забруднення ґрунтів		Забруднення ґрунтів хімічними та токсичними речовинами, важкими металами внаслідок воєнних дій	Проблеми з екологією, зниження родючості
Мінування території		Замінковані поля, нерозірвані боєприпаси та вибухівка на земельних угіддях	Обмежена або повна неможливість обробки земель та доступу до них
Втрата доступу до територій		Територія, яка тимчасово опинилась під окупацією та територія біля зони активних бойових дій	Загальне зниження врожайності та території посівів, неможливий доступ до земель

Слід акцентувати увагу і на такій проблемі як деградація ґрунтів, і це не тільки через військові дії. Велика частина фермерів не займається процесом впровадження нових екологічних технологій, використовують традиційні та застарілі методи землеробства, які, в свою чергу, спричиняють погіршення ґрунтів [10, 11]. Така проблема нажаль є і буде, й не тільки через небажання фермерів цим займатись або недостатнього контролю за цими процесами, але і через недостатню фінансову спроможність для введення нових технологій, які б запобігали таким негативним наслідкам. Тому необхідно впроваджувати та фінансувати нові технології для очищення та відновлення земель, розвивати напрямок органічного землеробства, який має на меті отримати результати щодо відновлення родючості ґрунтів та збереження біорізноманіття на цих землях [6].

Воєнний стан викликає також обмеження в роботі органів влади, що власне звужує можливість громади врегульовувати земельні відносини.

Перешкодами сталого землекористування є нестабільність у законодавстві, проблеми під час реєстрації прав на землю, неможливість або часткова обмеженість щодо контролю за земельними ресурсами через відсутність або обмеженість доступу до державних реєстрів [5]. До всього цього масова міграція призвела до дефіциту кадрів, та до того, що в багатьох громадах лишилась більшість населення похилого віку, що значно зменшує можливість повноцінно обробляти землю. Не має законодавчих можливостей розвивати програми відшкодування за зруйновані та забрудненні землі внаслідок військових дій. Потрібно знаходити можливість фінансування та ресурси для громад, які постраждали через воєнні дії, щоб вони мали змогу мати доступ до сучасних технологій землекористування, що спростило би процес відновлення та планування ефективного використання земельних ресурсів.

Порівнюючи нашу державу з іншими територіями, які потрапили під кризові умови чи військові дії, можна побачити схожі проблеми, але для території України є свої особливості. По-перше, сільськогосподарська сфера є ключовою частиною економіки для нашої держави, та по-друге, масштаби втрати земельних ресурсів та зруйнованої інфраструктури просто величезні. При цьому всім країнам, які стикались із військовими діями, вдалось підвищити ефективність управління ресурсами шляхом інтегрування сучасних та цифрових технологій і методів у процеси землекористування. Слід зазначити, що важливо займатися адаптацією різноманітних нових підходів до умов воєнного стану [13]. Потрібно створювати гнучкі правові механізми, які б дозволили громадам ефективно управляти своїми земельними ресурсами, навіть під час воєнного стану [13]. Також є необхідність застосування освітніх програм та програм підтримки від держави для впровадження сучасних методів і підходів, які б враховували кризові умови.

Висновки та напрямок подальших досліджень. В результаті проведеного дослідження були виявленні основні проблеми та перешкоди сталого землекористування громад, які серйозно загострились під час воєнного стану. Адже воєнний стан в Україні створив великі та серйозні перешкоди на шляху розвитку сталого землекористування. Зменшення доступу до земельних ресурсів, знищення та пошкодження інфраструктури, забруднення земель та навколишнього середовища, міграція населення, великі економічні втрати, правові прогалини – все це ускладнює впровадження сталих практик для землекористування. Потрібно розвивати та впроваджувати нові технології, процеси та підходи для відновлення земель, адаптації до складних кризових умов. Впровадження інноваційних технологій і підходів може покращити поточну ситуацію, у громад з’явиться можливість адаптуватись до нових умов, залучити міжнародну підтримку та допомогу для відновлення й розвитку.

Необхідно створювати та розвивати комплексні стратегії відновлення земельних ресурсів із врахуванням післявоєнного стану, особливо акцентуючи увагу на екологічність, зменшення забруднення та відбудові важливої інфраструктури для нашої держави. Подальші дослідження в цьому напрямку необхідно зосереджувати на оцінці довгострокових екологічних наслідків війни та стратегії відновлення земельних ресурсів. Підсумовуючи, можна зазначити, що розвиток сталого землекористування в умовах воєнного стану чи іншої кризової ситуації є критично важливим, особливо для такої аграрної країни як наша держава. Це в свою чергу, забезпечить економічну стабільність та подальші можливості для відновлення держави.

Список літератури

1. United nations. Development program. Annual report 2020. [Електронний ресурс]. – Режим доступу: https://annualreport.undp.org/2020/assets/UNDP-Annual-Report-2020-en.pdf - 13.09.2024. – Назва з екрану.

2. Taylor Raeburn-Gibson. Supporting self-recovery in post-conflict situations: a case study of Syria. Journal of International Humanitarian Action. Issue 7, Article 15. 2022. [Електронний ресурс]. – Режим доступу: https://jhumanitarianaction.springeropen.com/articles/10.1186/s41018-022-00125-y - 18.09.2024. – Назва з екрану.

3. Батура М.В., Грещук Г.І. Вплив Закону про продовольчу безпеку в умовах воєнного стану на регулювання земельних відносин. Матеріали XXIII міжнародного науково-практичного форуму «Теорія і практика розвитку агропромислового комплексу та сільських територій. 4-6 жовтня 2022 року. Львів. 2022. С 7-10.

4. Грещук, Г.І. "Організаційно-економічне та правове забезпечення розвитку землевпорядного механізму сталого сільськогосподарського землекористування: монографія." К.: ДКС-Центр. 2018.

5. Грещук Г.І. Удосконалення нормативно-правового регулювання сталого використання земель сільськогосподарського призначення. Вісник економічної науки України. 2022, № 1. С. 65-76.

6. Дорош А., Дорош О. Фактори впливу на освоєння та розвиток органічного землекористування в умовах військового стану. Журнал «Землеустрій, кадастр і моніторинг земель» №2, 2023. С. 82-91.

7. Дослідницький проєкт «Земля незламності». Аналітичний огляд травень 2024. Земельний ринок в Україні. [Електронний ресурс]. – Режим доступу: https://kse.ua/wp-content/uploads/2024/06/land_may2024.pdf - 22.09.2024. – Назва з екрану.

8. Дослідницький проєкт «Земля незламності». Аналітичний огляд за 4 квартал та грудень 2023 року. Земельний ринок в Україні. [Електронний ресурс]. – Режим доступу: https://kse.ua/wp-content/uploads/2024/01/Land-Market-in-Ukraine-Q423.pdf - 22.09.2024. – Назва з екрану.

9. Звіт ООН "Оцінка потреб після катастрофи на греблі Каховської ГЕС" (PDNA) [Електронний ресурс]. – Режим доступу: http://surl.li/beaspg - 11.09.2024. – Назва з екрану.

10. Ковалишин О.Ф. Еколого-економічна складова збалансованого землекористування. Збірник наукових праць міжнародної науково-практичної конференції. 2019. С. 32-34.

11. Oleksandra Kovalyshyn, Lubov Pendzey, Nataliia Tretiak, Olha Kulikovska, Plamen Kangalov, Taras Shchur and Sławomir Kocira (2022). Methodic approach to assessment of the types of balanced land use of rural areas *Agricultural Enginee*. Published Online: 14 Nov 2022. Volume & Issue: Volume 26 (2022) - Issue 1 (January 2022). Page range: 215 – 229. Received: 31 May 2022. Accepted: 31 Aug 2022. DOI: https://doi.org/10.2478/agriceng-2022-0017© 2022 Oleksandra Kovalyshyn et al., published by SciendoThis work is licensed under the Creative Commons Attribution-NonCommercial-NoDerivatives 3.0 License DOI: 10.2478/agriceng-2022-0017.

12. Мельничук Л.С. Проблеми сталого та раціонального землекористування в україні. Електронне наукове фахове видання. 2 випуск. 2014. С. 910-914.

13. Свідерська Т.О. Землеустрій під час воєнного стану в Україні .Землевпорядна галузь України: здобутки, виклики та перспективи: матеріали III Міжнародної науково-практичної конференції, 7–8 березня 2024 р. - Біла Церква: БНАУ, 2024. - С. 52-54. [Електронний ресурс]. – Режим доступу: http://surl.li/ivrpee - 19.09.2024. – Назва з екрану.

13. Третяк А.М., Третяк В.М. Концептуальні підходи землевпорядкування щодо відновлення та розвитку землекористування територіальних громад в Україні у післявоєнний період. 2022. Париж. С.233.

Batura Maksym,
Lviv National Environmental University

PROBLEMS AND OBSTACLES IN THE DEVELOPMENT OF SUSTAINABLE LAND USE OF COMMUNITIES UNDER MARTIAL LAW

The purpose of this work is to analyze the problems and obstacles that stand in the way of the development of sustainable land use in the communities of Ukraine.

Particular attention is paid to how the war in Ukraine affected land relations and environmental and socio-economic problems caused by the war. The work is aimed at identifying different approaches to solving these problems that can contribute to the improvement of environmental security and socio-economic development of communities, as well as the possibility of adapting sustainable land use practices to new realities. The research was carried out as follows: the analysis of scientific works with suitable topics, the analysis of statistical data and the collection of data for the research base, the collection of expert assessments and opinions. The analysis of literature and research was conducted on topics related to sustainable land use and the impact of crisis situations on land and land management processes. Statistical analysis was carried out on the destruction of agricultural infrastructure, loss of land due to pollution or mining. The basis was taken from such sources as the data of the State Service of Ukraine on geodesy, cartography and cadastre and information from public reports of the UN [1]. Expert opinions and opinions were also taken into account, especially from representatives of communities affected by military actions. This method makes it possible to determine priorities for the restoration of land resources. The methods used made it possible to create a complete and comprehensive picture of the problems and opportunities of sustainable land use in modern conditions, and taking into account the state of war.

It consists in a comprehensive analysis of the problems and obstacles to the development of sustainable land use in the communities of Ukraine, in particular during the martial law, and their integration with the challenges of the present time, which appeared before Ukraine due to the martial law. Such studies were not sufficiently conducted. The work assessed the impact of military actions on the degradation of land resources, identified the main problems and obstacles to sustainable land use during the military conflict, and proposed measures for the adaptation of communities to support the sustainable development of land use under martial law. In particular, the influence of martial law on agriculture, population migration processes, soil degradation and resource depletion is taken into account. It consists in developed recommendations and directions for local self-government bodies and other authorities regarding the implementation of approaches and methods of land resource management, taking into account crisis conditions, martial law. This should contribute to increasing the efficiency of the use of land resources, ensuring environmental safety and improving the well-being of the population. Therefore, the results of this work can be used to develop land recovery strategies in the post-war period, to plan measures to protect land resources during martial law, and to support the communities of the country in matters of rational use of land resources. As a result of the work carried out, the following results can be summarized. The main problems and obstacles that prevent and restrain the development of sustainable land

use in the communities of our country are the irrational use of land resources, soil erosion, environmental problems - environmental pollution, corruption factors and gaps in the legislative base. To all this was added a full-scale invasion, hostilities, a large population migration, changes in land legislation and a "starvation" of personnel. The conducted analysis of the real and current state of land resources on the territory of Ukraine shows major problems, such as the degradation of arable land and the urgent need to implement measures that would correct this and restore the land. The main directions regarding the processes of improvement of land resource management systems have been established, which include changes in legislation, ensuring transparency and efficiency of management, introduction of modern technologies and approaches to monitoring and control of the state of land resources. The need to create and develop various strategies for the restoration of land resources in the post-war period, where it is necessary to emphasize ecology, reducing pollution, and rebuilding infrastructure, has been established.

Keywords: sustainable development; land use; community; martial law; environmental threats; innovation; land management.

REFERENCES

1. UNITED NATIONS. Development program. Annual report 2020. [Elektronnyi resurs]. – Rezhym dostupu: https://annualreport.undp.org/2020/assets/UNDP-Annual-Report-2020-en.pdf - 13.09.2024. – Nazva z ekranu. {In English}

2. Taylor Raeburn-Gibson. Supporting self-recovery in post-conflict situations: a case study of Syria. Journal of International Humanitarian Action. Issue 7, Article 15. 2022. [Elektronnyi resurs]. – Rezhym dostupu: https://jhumanitarianaction.springeropen.com/articles/10.1186/s41018-022-00125-y - 18.09.2024. – Nazva z ekranu. {In English}

3. Batura M.V., Hreshchuk H.I. Vplyv Zakonu pro prodovolchu bezpeku v umovakh voiennoho stanu na rehuliuvannia zemelnykh vidnosyn. Materialy KhKhIII mizhnarodnoho naukovo-praktychnoho forumu «Teoriia i praktyka rozvytku ahropromyslovoho kompleksu ta silskykh terytorii. 4-6 zhovtnia 2022 roku. Lviv. 2022. S 7-10. {In Ukrainian}

4. Hreshchuk, H.I. "Orhanizatsiino-ekonomichne ta pravove zabezpechennia rozvytku zemlevporiadnoho mekhanizmu staloho silskohospodarskoho zemlekorystuvannia: monohrafiia." K.: DKS-Tsentr. 2018. {In Ukrainian}

5. Hreshchuk H.I. Udoskonalennia normatyvno-pravovoho rehuliuvannia staloho vykorystannia zemel silskohospodarskoho pryznachennia. Visnyk ekonomichnoi nauky Ukrainy. 2022, № 1. S. 65-76.

6. Dorosh A., Dorosh O. Faktory vplyvu na osvoiennia ta rozvytok orhanichnoho zemlekorystuvannia v umovakh viiskovoho stanu. Zhurnal «Zemleustrii, kadastr i monitorynh zemel» №2, 2023. S. 82-91. {In Ukrainian}

7. Doslidnytskyi proiekt «Zemlia nezlamnosti». Analitychnyi ohliad traven 2024. Zemelnyi rynok v Ukraini. [Elektronnyi resurs]. – Rezhym dostupu: https://kse.ua/wp-content/uploads/2024/06/land_may2024.pdf - 22.09.2024. – Nazva z ekranu. {In Ukrainian}

8. Doslidnytskyi proiekt «Zemlia nezlamnosti». Analitychnyi ohliad za 4 kvartal ta hruden 2023 roku. Zemelnyi rynok v Ukraini. [Elektronnyi resurs]. – Rezhym dostupu: https://kse.ua/wp-content/uploads/2024/01/Land-Market-in-Ukraine-Q423.pdf - 22.09.2024. – Nazva z ekranu. {In Ukrainian}

9. Zvit OON "Otsinka potreb pislia katastrofy na hrebli Kakhovskoi HES" (PDNA) [Elektronnyi resurs]. – Rezhym dostupu: http://surl.li/beaspg - 11.09.2024. – Nazva z ekranu. {In Ukrainian}

10. Kovalyshyn O.F. Ekoloho-ekonomichna skladova zbalansovanoho zemlekorystuvannia. Zbirnyk naukovykh prats mizhnarodnoi naukovo-praktychnoi konferentsii. 2019. S. 32-34. {In Ukrainian}

11. Oleksandra Kovalyshyn, Lubov Pendzey, Nataliia Tretiak, Olha Kulikovska, Plamen Kangalov, Taras Shchur and Sławomir Kocira (2022). Methodic approach to assessment of the types of balanced land use of rural areas Agricultural Enginee. Published Online: 14 Nov 2022. Volume & Issue: Volume 26 (2022) - Issue 1 (January 2022). Page range: 215 – 229. Received: 31 May 2022. Accepted: 31 Aug 2022. DOI: https://doi.org/10.2478/agriceng-2022-0017© 2022 Oleksandra Kovalyshyn et al., published by SciendoThis work is licensed under the Creative Commons Attribution-NonCommercial-NoDerivatives 3.0 License DOI: 10.2478/agriceng-2022-0017. {In English}

12. Melnychuk L.S. Problemy staloho ta ratsionalnoho zemlekorystuvannia v ukraini. Elektronne naukove fakhove vydannia. 2 vypusk. 2014. S. 910-914. {In Ukrainian}

13. Sviderska T.O. Zemleustrii pid chas voiennoho stanu v Ukraini .Zemlevporiadna haluz Ukrainy: zdobutky, vyklyky ta perspektyvy: materialy III Mizhnarodnoi naukovo-praktychnoi konferentsii, 7–8 bereznia 2024 r. - Bila Tserkva: BNAU, 2024. - S. 52-54. [Elektronnyi resurs]. – Rezhym dostupu: http://surl.li/ivrpee - 19.09.2024. – Nazva z ekranu. {In Ukrainian}

13. Tretiak A.M., Tretiak V.M. Kontseptualni pidkhody zemlevporiadkuvannia shchodo vidnovlennia ta rozvytku zemlekorystuvannia terytorialnykh hromad v Ukraini u pisliavoiennyi period. 2022. Paryzh. S.233. {In Ukrainian}

DOI: 10.32347/2786-7269.2025.11.557-573
УДК 631.4:551.583(477.7)
д.п.н., професор **Браславська О.В.,**
oksana.braslavska@udpu.edu.ua ORCID: 0000-0003-0852-686X,
к.е.н., доцент **Грицик О.М.,**
o.m.hrytsyk@udpu.edu.ua ORCID: 0009-0001-5321-4753,
Рожі Т.А., tomas.rozhi.94@gmail.com ORCID: 0000-0002-6794-9662,
Уманський державний педагогічний університет імені Павла Тичини

ВПЛИВ КЛІМАТИЧНИХ ЗМІН НА ПРОСТОРОВИЙ РОЗПОДІЛ ТА ВЛАСТИВОСТІ ҐРУНТІВ У СТЕПОВІЙ ЗОНІ УКРАЇНИ

Проведено комплексне дослідження впливу кліматичних змін на просторову диференціацію та фізико-хімічні властивості ґрунтів Степової зони України, яка, через посилення аридизації, прогресуючу деградацію ґрунтового покриву та виснаження його агроекологічного потенціалу, належить до найбільш уразливих регіонів у контексті глобальних трансформацій клімату. На основі аналізу багаторічних кліматичних даних встановлено суттєві зміни термічного та гідрологічного режимів. Оцінка масштабів деградаційних процесів виявила катастрофічне поширення водної та вітрової ерозії, зростання площ еродованих і вторинно засолених земель, а також системне падіння продуктивності агроландшафтів, що ставить під загрозу продовольчу безпеку регіону через дестабілізацію сільськогосподарського виробництва. Прогностичні моделі, розроблені для прогнозування динаміки ґрунтового покриву, вказують на необоротні зміни: скорочення ареалів чорноземів із паралельною трансформацією їх у менш родючі каштанові та солонцюваті ґрунти, що супроводжується зміною агрохімічних показників і втратою біологічного різноманіття. Для протидії цим негативним тенденціям обґрунтовано необхідність системної адаптації землекористування, яка передбачає впровадження ресурсозберігаючих агротехнологій, оптимізацію водного режиму через розгортання ефективних зрошувальних систем із залученням альтернативних джерел води, використання прецизійного землеробства для дозованого внесення добрив з урахуванням просторової мінливості ґрунтів, а також відновлення екосистемних функцій через створення захисних лісосмуг і буферних зон зі стійкою рослинністю, що зменшить інтенсивність ерозійних процесів і стабілізує мікроклімат. Отримані результати дослідження можуть знайти практичне застосування в екологічному моніторингу, системі агрономічного прогнозування, сфері землеустрою, а також у розробці адаптивних підходів до ведення сільськогосподарської діяльності в умовах поточних змін клімату, що є

особливо актуальним для забезпечення сталого розвитку аграрного сектору України.

Ключові слова: степові зони; кліматичні зміни; ґрунтовий покрив; аридизація; ерозійні процеси; землекористування.

Постановка проблеми. Кліматичні зміни, які в сучасних умовах набувають все більшого масштабу та інтенсивності, є одним із визначальних чинників, що впливають на функціонування екосистем та стан природних ресурсів, зокрема на ґрунтовий покрив, який є основою біологічної продуктивності територій та забезпечення продовольчої безпеки. Степова зона України, яка характеризується поєднанням високих середньорічних температур, нерівномірним випаданням атмосферних опадів і значним рівнем випаровування, виявляється особливо вразливою до змін клімату, оскільки саме ці фактори сприяють активізації процесів деградації ґрунтів, що своєю чергою знижує їхню родючість та погіршує екологічний стан регіону. Зростання середньорічних температур та поступове скорочення запасів доступної вологи призводять до трансформації фізико-хімічних властивостей ґрунтів, зокрема до змін у їх структурі, зменшення вмісту гумусу, погіршення мікробіологічного складу та загального рівня родючості, що вкрай негативно впливає не лише на аграрний потенціал цієї території, але й на збереження природного біорізноманіття та підтримку екологічної рівноваги.

Аналіз останніх досліджень та публікацій. Наукові дослідження, проведені Бережняк Є., Наумовська О., Бережняк М. [1], Лубський М. Хижняк А., Орленко Т. [2], демонструють, що кліматичні зміни спричиняють суттєві трансформації у структурі ґрунтового покриву, змінюють баланс вологи в екосистемах та впливають на гумусовий шар, що є ключовим елементом родючості земельних ресурсів. Подальші дослідження, проведені групою авторів під керівництвом Чжоу Т. Лу В. [3] та Шевченко О. [4], акцентують увагу на важливості розробки адаптаційних механізмів, спрямованих на мінімізацію негативного впливу кліматичних змін на ґрунтовий покрив. У цьому контексті особливий інтерес викликають роботи Скок С. [5], Голобородько С., Димов О. [6], які провели комплексну оцінку якості ґрунтів степової зони України в умовах глобальних змін клімату та визначає основні фактори, що впливають на їхню родючість і стійкість до деградаційних процесів. Попри значний науковий прогрес у цій сфері, залишається низка невирішених питань, зокрема щодо розробки ефективних механізмів адаптації агроландшафтів до нових кліматичних умов.

Мета і задачі дослідження. Мета статті – дослідити вплив кліматичних змін на просторовий розподіл і фізико-хімічні властивості ґрунтів у степовій зоні України, зокрема оцінці тенденцій деградаційних процесів.

Завдання дослідження:

– проаналізувати багаторічні тенденції середньорічних температур, режиму опадів та випаровуваності в Степовій зоні України на основі кліматичних даних, визначивши їхній вплив на стан та трансформацію ґрунтового покриву;

– ідентифікувати ключові деградаційні процеси (ерозія, засолення, втрата гумусу, порушення структури), індуковані кліматичними змінами, та оцінити їхній внесок у дестабілізацію агроекосистем;

– обґрунтувати пріоритетні адаптаційні заходи для раціонального управління земельними ресурсами, спрямовані на запобігання деградації ґрунтів у умовах кліматичної нестабільності;

– створити прогностичні моделі для оцінки майбутніх змін ґрунтового покриву, зокрема його просторової реорганізації та потенційної трансформації у менш продуктивні типи.

Матеріали та методи. 1. Температурний аналіз. Методологія дослідження ґрунтувалася на інтеграції традиційних та інноваційних підходів до збору температурних даних, де ключову роль відіграли багаторічні метеорологічні спостереження, отримані з мережі станцій степової зони, у поєднанні з супутниковими даними дистанційного зондування, що фіксують температурні параметри поверхні ґрунту високої просторової роздільної здатності. Інформаційна база охопила часовий проміжок від середини XX століття до сучасності, що забезпечило можливість виокремити довгострокові кліматичні тренди та циклічні коливання, критично важливі для прогностичних моделей. Особливу увагу було приділено деталізованому аналізу температурних режимів у різних часових масштабах – від середньодобових до сезонних та річних показників, оскільки саме ці параметри визначають інтенсивність випаровування вологи, динаміку ґрунтового вологозабезпечення та, як наслідок, впливають на агроекологічний потенціал регіону.

2. Дослідження клімату степової зони охопило три періоди: сучасний етап інтенсивного потепління (1990/91–2007/08 рр., III-КП), а також два попередні цикли — 1972/73–1989/90 рр. (II-КП) та 1954/55–1971/72 рр. (I-КП). Дані, отримані з метеопункту Розівської дослідної станції Інституту зернового господарства, охоплюють період спостережень у 60 років та відображають кліматичну норму південно-східного Степу. Аналіз включав оцінку температури повітря, опадів у теплий і холодний сезони, а також за окремі пори року. Для врахування біологічних циклів сільськогосподарських культур

дослідники використовували гідрологічний рік (від осені до осені), а вплив погодних умов на врожайність оцінювали через гідротермічний коефіцієнт Селянинова (ГТК). Цей показник, розрахований для періоду травень–вересень за умов температур вище 10°С.

Результати та їх обґрунтування. Степова зона України, яка є ареалом поширення найбільш родючих у світовому масштабі чорноземних ґрунтів, що формуються в унікальних біокліматичних умовах, зазнала радикальної антропогенної трансформації, вираженої в майже повній розораності природних екосистем, де близько 82% території перетворено на сільськогосподарські угіддя, що спричинило системну деградацію ґрунтового покриву, яка проявляється в катастрофічному зниженні гумусового шару, порушенні структури ґрунтів та інтенсифікації ерозійних процесів, зокрема в масштабах, коли лише офіційно обліковані еродовані землі займають понад 38% площі регіону (що еквівалентно 12 млн га), з яких 5,2 млн га постійно піддаються руйнівній дії вітрової ерозії, що веде до формування мікроландшафтів зі зниженою біопродуктивністю (рис. 1.) [5].

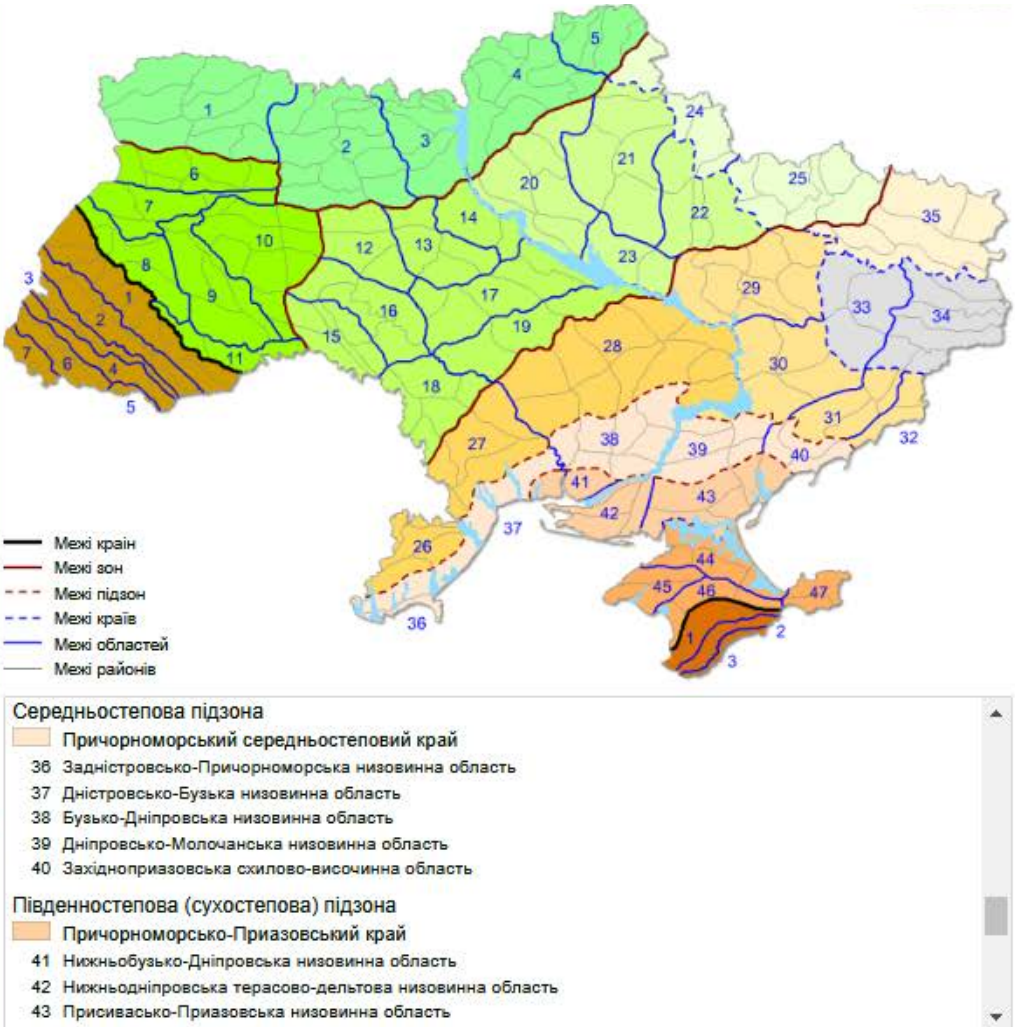


Рис. 1. Картографічне районування степових ареалів України [7]

Кліматичні зміни, що виражаються в прогресуючому підвищенні середньорічних температур та зростанні індексів посушливості, створюють синергетичний ефект, посилюючи інтенсивність як водної (змив ґрунтів під час зливових опадів), так і вітрової ерозії (механічний відрив частинок ґрунту), що особливо небезпечно в умовах південних регіонів, де спостерігається ескалація частоти та інтенсивності пилових бур, які виникають внаслідок поєднання перезволожених ґрунтів у весняний період, їх подальшого пересихання влітку та дефіциту рослинного покриву, що в сукупності трансформує степові екосистеми в зони екологічного ризику з високою ймовірністю втрати ґрунтового родючого шару та незворотної зміни агрокліматичного потенціалу територій (рис. 2.) [7].

Рис. 2. Деградаційні процеси ґрунтів Південного Степу [7]

Клімат степової зони України зазнає трансформацій під впливом глобального потепління, яке, згідно з науковими висновками Міждержавної групи експертів зі зміни клімату (МГЕЗК) при ООН, безпосередньо пов’язане з парниковим ефектом — природним явищем, що існує з моменту формування атмосфери Землі. Цей ефект посилюється внаслідок антропогенних викидів у повітря таких газів, як вуглекислий газ (CO_2), метан (CH_4), оксид азоту (N_2O) та хлорфторвуглеців, об’єднаних під загальною назвою «фреони». Зростання концентрації цих речовин, особливо фреонів, призводить до змін у якісному складі атмосфери. За останні два десятиліття частка CO_2 у загальних викидах парникових газів становить приблизно 50%, CH_4 – 18%, N_2O – 5,8%, а фреонів – 15%. Експерти у сфері ґрунтознавства виділяють серед парникових газів двоокис вуглецю та метан як ключові фактори глобального потепління. За минуле століття їхній вміст в атмосфері зріс на 25%, що суттєво впливає на тепловий баланс планети. Науковці підкреслюють: якби парникові гази відсутні, середня температура приземного шару атмосфери становила б приблизно «-18°С», що робило б Землю непридатною для життя. Однак низка

дослідників висловлює сумніви щодо надмірної ролі CO_2 та CH_4 у кліматичних змінах, вважаючи такі твердження недостатньо обґрунтованими або перебільшеними [9, 10].

Згідно з моніторинговими даними Українського Гідрометеоцентру, системний аналіз кліматичних тенденцій у степовій зоні свідчить про інтенсифікацію процесів потепління, які набули вираженого характеру з кінця 1980-х років XX ст., що знайшло відображення у зростанні середньорічних температурних показників на 0,35 °С (табл. 1), при цьому в південно-східному сегменті степового коридору спостерігається аналогічна динаміка з підвищенням річної температури на 0,25°С, що в сукупності з незначним збільшенням сумарної річної кількості опадів до 105 % від кліматичної норми формує парадоксальну ситуацію, коли локальне підвищення вологості не компенсує катастрофічного зростання випаровуваності.

Таблиця 1

Динаміка кількісних показників опадів, температури повітря, суми активних температур та гідротермічного коефіцієнта (ГТК) у контексті впливу на просторову диференціацію ґрунтового покриву степової зони України за період 1977–2023 рр. [5, 11]

Роки	Кількість опадів, мм	Температура повітря, ºС	Сума температур, ºС	ГТК	Рівень випаровуваності, мм
1977–2007	467	10,30	3899	0,90	584
2008–2017	389	11,63	4317	0,67	648
2017–2023	395	12,34	4477	0,63	673

Детальні розрахунки демонструють, що протягом останнього десятиріччя індекс випаровуваності за теплий період (t ≥5°С) зріс із 572 до 673 мм, тоді як середньорічна кількість опадів залишалася на рівні 388 мм, що призвело до формування стійкої дисбалансної моделі, де рівень втрат вологи через випаровування систематично перевищує її надходження через атмосферні опади, створюючи передумови для прогресування процесів аридизації, особливо інтенсифікованих у Південному Степу за останні п’ять років, що проявилося в деградації водно-теплового режиму ґрунтів, критичному зниженні агроекологічного потенціалу територій та прискоренні опустелювання [12].

Прогностичні моделі вказують на потенційну катастрофічність подальшого зростання температурних показників при відсутності компенсаторного збільшення опадів, що загрожує не лише повномасштабним висиханням степових екосистем, але й колапсом біопродуктивних систем через виснаження вологозапасів, радикальне падіння родючості ґрунтів Степової зони України. Порівняльний аналіз трьох кліматичних періодів однакової

хронологічної протяжності виявив диференційовану динаміку опадів, що характеризується прогресивним зростанням їх кількості в осінній, весняний та літній сезони (табл. 2), тоді як зимовий період демонструє протилежну тенденцію зі скороченням обсягів атмосферних опадів, при цьому сукупний річний показник вологості за гідрологічний цикл зазнав суттєвих змін — зростання на 32 мм у II-КП та на 45 мм у III-КП відносно базового I-КП, що супроводжувалось трансформацією співвідношення між тепловими та холодними сезонами: якщо в I-КП зимові опади становили 42,0 % річного обсягу, то в наступних періодах (II та III-КП) їх частка скоротилась до 39,1% та 38,7 % відповідно, що вказує на системну перебудову сезонного розподілу опадів [13].

Таблиця 2

Відхилення середньомісячної температури повітря (T_o) і опадів (r, %) від кліматичної норми для ґрунтів степової зони [13]

Показник	Місяці гідрологічного року												Середнє
	IX	X	XI	XII	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	
Степи України (1990–2008 рр.)													
To	-0,3	0,6	-1,3	-0,7	1,5	1,1	0,7	0,4	-0,4	0,5	0,9	0,6	0,3
r, %	125	122	117	95	87	99	123	102	100	108	89	119	100
Південно-східна частина Степу (1990–2020 рр.)													
To	-0,1	0,3	-0,2	-0,4	1,1	0,6	0,9	0	-0,4	-0,2	0,2	0,3	0,25
r, %	103	128	111	83	93	100	127	113	85	109	93	124	104

Температурні параметри продемонстрували неоднозначну динаміку: середньорічний показник у I-КП фіксувався на рівні 9,0 °C, тоді як у II-КП він знизився до 8,2 °C, що спричинило каскад змін у хронології настання стійких переходів середньодобових температур через критичні значення (0, 3, 5, 15 °C) та тривалості періодів із температурами вище цих меж (табл. 3), що має ключове значення для агроекосистем, оскільки вегетаційний цикл холодостійких зернових культур ініціюється при подоланні порогу +5 °C, теплолюбні культури активізуються при +9°C, а пікова біопродуктивність рослинного покриву досягається у фазу тривалого перебування температур вище +16°C, що робить зміни у термінах та тривалості цих температурних періодів вирішальним фактором для планування сівоборотів, прогнозу врожайності та адаптації агротехнологій до трансформованих кліматичних умов (рис. 3.).

Структура посівних площ у степовій зоні України свідчить про домінування зернових та технічних культур (озимої пшениці, ячменю, кукурудзи, соняшнику, сої, ріпаку) у сільськогосподарській діяльності, що обумовлено їхнім глобальним попитом. Проте інтенсифікація землеробства, яка

супроводжується зростанням рівня розорання до 81,5% у Степу (зокрема, до 90,4% у Херсонській області), спричинила дестабілізацію агроландшафтів, посилену змінами кліматичних умов.

Це виражається у прогресивному зниженні вологозабезпеченості ґрунтів: за останні роки (2018–2020) дефіцит опадів у Херсонській області досяг 784–812 мм порівняно з середнім показником 4948 мм за 1950–2020 рр., що призводить до посушиння верхніх горизонтів ґрунту, зменшення гумусового шару та деградації структури ґрунтового покриву степової зони. Кліматичні особливості степової зони, зокрема субтропічний температурний режим (3230–3430°C активних температур) із різкою сезонністю (спекотне літо з суховіями, м'яка зима), безпосередньо впливають на ґрунтотвірні процеси [14]. Підвищення середньорічної температури на 1°C, навіть за умови зростання кількості опадів, зумовлює зміщення меж зон достатнього зволоження (Полісся, Лісостеп) у бік нестійкого гідрологічного режиму, що провокує перерозподіл ґрунтових типів.

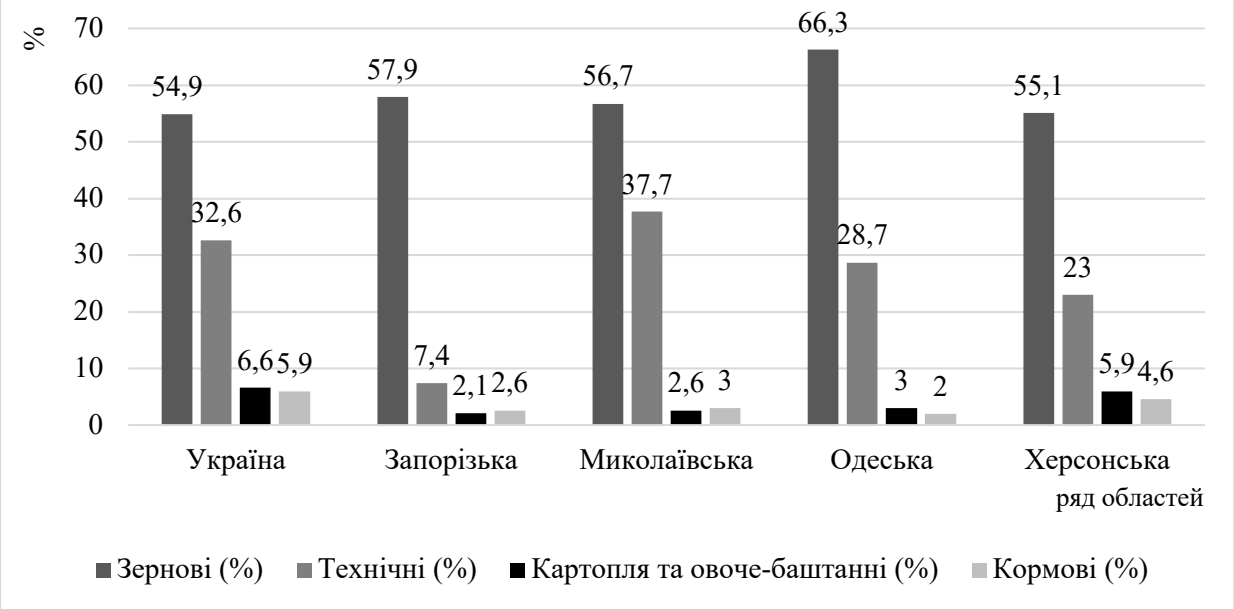


Рис. 3. Просторово-часовий розподіл посівних площ сільськогосподарських культур в Україні та Південному Степу (2023 р.): кореляція з зональними особливостями ґрунтового покриву та адаптацією агроекосистем до кліматичних змін [13]

Наприклад, чорноземи степової зони, традиційно багаті на органіку, втрачають вологу через інтенсифікацію випаровування, що призводить до їхнього засолення або переходу у менш родючі каштанові ґрунти. Крім того, збільшення амплітуди температур (до 65-70°C) та часті суховії посилюють ерозійні процеси, особливо на переорених площах, де ґрунтовий покрив втрачає захисний рослинний покрив. Це суттєво змінює просторову динаміку ґрунтів: зростає площа зневоднених та засолених ділянок, тоді як зони стабільного

землеробства скорочуються [15]. Таким чином, кліматичні зміни не лише трансформують агроекологічний потенціал степових регіонів, але й переформатовують фізико-хімічні властивості ґрунтів, знижуючи їхню продуктивність та резистентність до подальших антропогенних навантажень (рис. 4.).

Умови приморської кліматичної підзони, у межах якої розташована степова зона України, характеризуються інтенсивним нагріванням повітря та прогресуючим скороченням атмосферних опадів, що формує кліматичну нестабільність із катастрофічними наслідками для ґрунтового покриву. Наприклад, багаторічний аналіз метеоданих засвідчив, що зростання середньорічної температури на 1,0–1,2°C поєднується зі зменшенням річної кількості опадів на 70 мм, що призводить до зсуву меж агрокліматичних зон і трансформації ґрунтових режимів. Так, підвищення теплозабезпеченості сприяє інтенсифікації біологічних процесів у ґрунті: прискоренню мінералізації органіки, зниженню гумусового шару та деградації агрегованої структури, що особливо критично для чорноземів, які втрачають свою родючість і поступово переходять у менш стабільні типи (каштанові, солонцюваті).

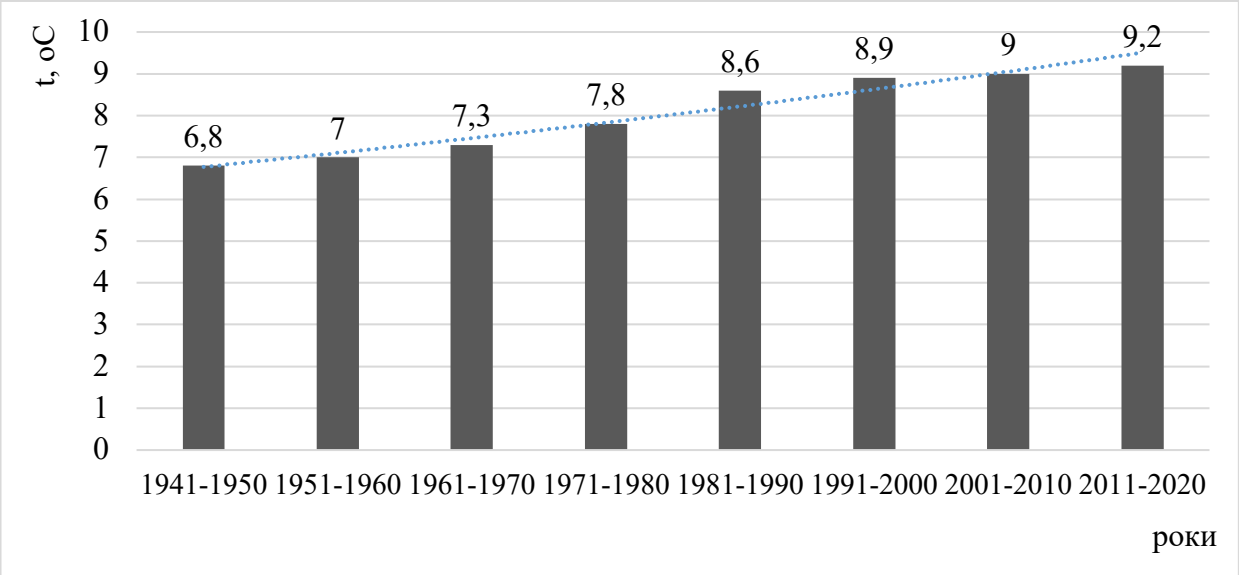


Рис. 4. Динаміка середньорічного розподілу опадів кліматичних підзон степів України [1]

Ключовим чинником дестабілізації ґрунтів є дисбаланс вологозабезпеченості, спричинений змінами сезонності опадів та зростанням випаровуваності. Зокрема, 72% атмосферної вологи надходить у теплий період, коли висока температура повітря та інсоляція призводять до швидкого випаровування води з поверхневих шарів ґрунту, що обумовлює формування сухих горизонтів із низькою водоутримуючою здатністю [16]. Такий процес посилюється нестабільним сніговим покривом, який не забезпечує ефективного

поповнення ґрунтових вод під час весняного танення, а також утворенням льодяних кірок, що перешкоджають інфільтрації талих вод і поглиблюють дефіцит вологонасичення степів України.

Просторово такі зміни виражаються у збільшенні площ посушливих ділянок із засоленими або щільно-глинистими ґрунтами, тоді як традиційні чорноземні масиви звужуються, втрачаючи зв'язок із колишніми кліматичними умовами. Зростання суми активних температур (до 3420°C) також змінює географію ґрунтоутворення: у південних районах Степу посилюється процес ерозії через часті суховії, що руйнують верхній родючий шар, а в центральних і східних областях переважає дегуміфікація через надмірну інсоляцію. Таким чином, кліматичні зміни не лише знижують якісні показники ґрунтів (пористість, pH, вміст мікроелементів), але й перерозподіляють їхні типи в просторі, зміцнюючи тенденцію до опустелювання та зменшення площ, придатних для інтенсивного землеробства [2].

У 2023 році кліматичні умови степової зони України продемонстрували суттєві відхилення від норми, зокрема кількість атмосферних опадів у холодний та теплий періоди зменшилася на 3–5%, що спричинило формування стійкого дефіциту вологи. Особливу увагу привертає збільшення частоти малоефективних локальних злив, інтенсивність яких протягом місяця неодноразово перевищувала кліматичні норми, що значно обмежило можливості ґрунтів до накопичення вологи. Близько 61% інтенсивних опадів, зафіксованих у літній сезон, сприяли активізації поверхневого стоку, який не лише зменшував інфільтрацію води, але й призводив до деградації верхнього родючого шару ґрунтів через механічне розмивання.

Зростання середньорічної температури значно вплинуло на вологозабезпеченість ґрунтового покриву, що відображено у показниках кліматичного балансу, розрахованого як різниця між опадами та потенційним сумарним випаровуванням. Так, у 2023 році дефіцит вологи на досліджуваній території досяг 460 мм, що загострило проблему посухи та активізувало процеси опустелювання. Кліматичні аномалії також супроводжувалися посиленням екстремальних метеорологічних явищ, зокрема граду, інтенсивних вітрів і пилових бур, які стали каталізаторами водної та вітрової ерозії. Наслідком цього стало зростання втрат гумусу (до 1,37 т/га щорічно), дегуміфікації земель та вимивання поживних елементів – азоту, фосфору, калію, що призвело до зниження врожайності зернових культур на 52% [4].

Просторово-часовий розподіл гумусу в ґрунтах Степу тісно пов'язаний із їхнім генезисом (табл. 3), проте за останні три десятиліття його вміст скоротився на 35% через посилену ерозійну діяльність. Втрата кожного сантиметра гумусового горизонту супроводжується погіршенням структури

ґрунту, порушенням його водно-повітряного режиму, зменшенням вологоємності на 22% та падінням потенційної урожайності зернових на 0,5–2 ц/га. Дані X туру агрохімічного обстеження свідчать, що 53% сільськогосподарських земель регіону мають середній рівень гумусу, тоді як 51% відрізняються високим вмістом калію, а 27% – підвищеною концентрацією фосфору. Ця диспропорція пояснюється інтенсифікацією обмінних процесів у ґрунтах на тлі зростання теплозабезпеченості, однак 53% угідь досі класифікуються як низькопродуктивні (XIII клас якості), що підкреслює критичну необхідність адаптації ґрунтового менеджменту до кліматичних реалій. Таким чином, кліматичні зміни в степовій зоні України трансформують не лише гідротермічний режим, а й просторову організацію ґрунтового покриву, зумовлюючи зниження його родючості та екологічної стійкості [11].

Таблиця 3

Просторово-часова динаміка рівня забезпеченості ґрунтів за природно-зональним розподілом (Полісся, Лісостеп, Південний Степ) у контексті кліматичних трансформацій: періоди спостережень 1985–2023 рр. (сформовано автором на основі [13, 18])

Відрізок спостережень, роки	Зональний поділ					
	Полісся	Рівень забезпеченості	Лісостеп	Рівень забезпеченості	Південний Степ	Рівень забезпеченості
V (1985–1991)	2,35	Середня вага	3,52	Підвищена вага	3,92	Підвищена вага
VI (1992–1996)	2,34	Середня вага	3,45	Підвищена вага	3,75	Підвищена вага
VII (1997–2002)	2,31	Середня вага	3,35	Підвищена вага	3,61	Підвищена вага
VIII (2003–2010)	2,27	Середня вага	3,34	Підвищена вага	3,60	Підвищена вага
IX (2011–2019)	2,33	Середня вага	3,32	Підвищена вага	3,54	Підвищена вага
X (2019–2023)	2,42	Середня вага	3,34	Підвищена вага	2,55	Середня вага

Інтегральна оцінка родючості ґрунтів, що враховує вміст гумусу, фосфору, калію, цинку, марганцю та міді, з урахуванням поправочного коефіцієнта на кліматичні умови (0,68), склала 62 бали, що еквівалентно 41 бал після корекції, що відповідає VI класу задовільної якості згідно з класифікаційної шкали. Цей показник підкреслює суттєвий вплив кліматичних факторів на агрохімічні характеристики ґрунтового покриву, зокрема через зростання температур та зміну режиму зволоження, які зумовлюють перерозподіл поживних елементів у просторі [17].

Поширені в степовій зоні культури, такі як озима пшениця, соняшник, рис та ячмінь, займають значні площі сільськогосподарських угідь, що характеризується мінімальним використанням матеріальних і трудових ресурсів, проте їхнє вирощування інтенсифікується на тлі зростання частки рослинницької продукції в структурі сільськогосподарського виробництва до

78,1% у 2023 році, що на 13,8% вище за показники десятирічної давнини. Середньорічне підвищення температури, з одного боку, сприяє прискоренню фенологічних фаз рослин, зменшенню ризиків вимерзання та подовженню вегетаційного періоду, що за наявності зрошення та додаткового внесення добрив теоретично дозволяє отримувати два врожаї на рік. З іншого боку, екстремальні температурні коливання призводять до виснаження запасів продуктивної вологи в ґрунтах, зниження концентрації поживних речовин і, як наслідок, до експансії посівних площ зернових культур, що посилює антропогенний тиск на ґрунтовий покрив через зростання рівня розораності. Прогнозні сценарії вказують на можливе збільшення обсягів викидів парникових газів на 92% до 2030 року, що супроводжуватиметься підвищенням середньорічної температури на 1,6℃, що спричинить каскадні зміни в екосистемах: деградацію ґрунтів через дефіцит водних ресурсів, зниження врожайності культур, зростання витрат на рекультивацію та внесення добрив. Ці процеси впливатимуть на просторову динаміку ґрунтових властивостей, зокрема на перерозподіл гумусу, мінеральних елементів та ступінь еродованості степової зони України [18].

В умовах таких викликів адаптація землеробства до кліматичних змін стає пріоритетом. Перспективним напрямом є інтродукція бобових культур, врожайність яких зростає на 20% у контексті підвищення температури та дефіциту зволоження, що дозволяє стабілізувати азотний баланс ґрунтів. Для компенсації недостатньої вологозабезпеченості пропонуються інноваційні підходи: використання очищених стічних вод для зрошення, створення дренажних систем для збору дощових стоків, застосування штучних покриттів з нетканих матеріалів або мульчі з природної рослинності для зменшення випаровування. Для боротьби з ерозією критично важливими є відновлення лісосмуг, скорочення розорюваних площ і трансформація частини угідь у природні ландшафти зі стійкими екосистемами, що сприятиме стабілізації ґрунтового покриву та збереженню його продуктивності в умовах кліматичної нестабільності. Таким чином, кліматичні зміни не лише трансформують гідротермічний режим степової зони, а й впливають на просторову гетерогенність ґрунтів, зумовлюючи необхідність комплексного підходу до управління земельними ресурсами з урахуванням їхньої агрохімічної динаміки та екологічного потенціалу ґрунтів степової зони.

Висновки та рекомендації. Обґрунтовані прогностичні моделі, що відображають вплив кліматичних змін на просторовий розподіл ґрунтових типів, свідчать про поступове збільшення площ малопродуктивних деградованих земель, що зумовлено комплексом негативних процесів, серед яких особливо критичними є поступове зменшення гумусового горизонту,

порушення природної структури ґрунтів, а також трансформація їхніх водно-фізичних характеристик, що унеможливлює ефективне накопичення та утримання вологи у ґрунтовому профілі. Проведений аналіз підтвердив, що за умови збереження поточних тенденцій кліматичних змін, зокрема прогресуючого підвищення середньорічних температур, скорочення обсягів атмосферних опадів та зростання випаровуваності, може відбутися поступове переформатування чорноземів, які традиційно є високопродуктивними та цінними для агровиробництва, у ґрунти меншої родючості, такі як каштанові або солонцюваті, що в результаті призведе до відчутного зниження агроекологічного потенціалу степової зони.

В умовах таких викликів обґрунтовано необхідність впровадження комплексу адаптаційних заходів, спрямованих на мінімізацію негативного впливу змін клімату на сільськогосподарське виробництво та забезпечення стабільності земельних ресурсів. Зокрема, серед першочергових кроків визначено використання ресурсозберігаючих технологій, що передбачають впровадження агротехнічних прийомів, здатних знизити рівень випаровуваності та покращити водний баланс ґрунтів, серед яких особливо ефективним є мульчування поверхневого шару, застосування сидератів для підтримки оптимальної структури ґрунту, а також обмеження механічного обробітку землі, що дозволить зменшити руйнування ґрунтової структури та уповільнити деградаційні процеси.

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Бережняк Є.М., Наумовська О.І., Бережняк М.Ф. Деградаційні процеси в ґрунтах України та їх негативні наслідки для довкілля. Біологічні системи: теорія та інновації. 2022. Том 13. № 3-4. С. 96–109. DOI: 10.31548/biologiya13(3-4).2022.014.

2. Лубський М.С., Хижняк А.В., Орленко Т.А. Моделювання вразливості степової ландшафтно-кліматичної зони України до кліматичних змін на основі даних космічного знімання. Український журнал дистанційного зондування Землі. 2024. Т. 11, № 1. С. 32–40. DOI: https://doi.org/10.36023/ujrs.2024.11.1.258.

3. Zhou T., Lv W., Geng Y., Xiao S., Chen J., Xu X., Pan J., Si B., Lausch A. National-scale spatial prediction of soil organic carbon and total nitrogen using long-term optical and microwave satellite observations in Google Earth Engine. Computers and Electronics in Agriculture. 2023. Vol. 210. P. 107928. DOI: https://doi.org/10.1016/j.compag.2023.107928.

4. Шевченко О.В. Вплив кліматичних змін на сільськогосподарське землекористування в Україні. Збалансоване природокористування. 2023. № 4. С. 108–113. DOI: https://doi.org/10.33730/2310-4678.4.2023.292725.

5. Скок С.В. Оцінка якості ґрунтів зони Степу України в умовах глобальних змін клімату. Таврійський науковий вісник. Серія: Сільськогосподарські науки. 2022. Вип. 124. С. 239–246. DOI: https://doi.org/10.32851/2226-0099.2022.124.33.

6. Голобородько С.П., Димов О.М. Сучасний стан та шляхи підвищення родючості ґрунтів південно-степової зони України. Вісник аграрної науки. 2021. № 4 (817). С. 14–19. DOI: https://doi.org/10.31073/agrovisnyk202104-02.

7. Ґрунти України. URL:

https://farming.org.ua/%D0%A2%D0%B8%D0%BF%D0%B8%20%D0%B3%D1%80%D1%83%D0%BD%D1%82%D1%83%20%D0%9A%D0%B0%D1%80%D1%82%D0%B0%20%D0%B3%D1%80%D1%83%D0%BD%D1%82%D1%96%D0%B2.html (дата звернення: 22 січня 2025).

8. Позняк С.П. Актуальні проблеми ґрунтознавства і географії ґрунтів. Львів: ЛНУ імені Івана Франка. 2017. 272 с.

9. Македон В.В., Курінна І.Г. Фактори впливу на організаційні процеси забезпечення конкурентоспроможності продукції підприємства. Держава та регіони. Серія «Економіка та підприємництво». 2020. № 5(116). С. 71–77.

10. Кравченко Ю.С. Сучасний стан родючості українських чорноземів. Агробіологія. 2019. № 3. С. 29-35. DOI: https://doi.org/10.31548/agr2019.03.029.

11. Ямелинець Т. Інформаційне ґрунтознавство : монографія. Львів : ЛНУ ім. Івана Франка, 2022. 352 с.

12. Ковальов М.М., Медведєва О.В., Мірзак Т.П. Агроекологічна трансформація гумусного стану чорнозему типового Бугсько-Дніпровського міжріччя. Таврійський науковий вісник. 2023. № 133. С. 345-352. DOI: https://doi.org/10.32782/2226-0099.2023.133.46.

13. Нестерець В.Г., Кротінов І.В., Мотренко В.І. Зміни клімату у південно-східній частині Степу: агрокліматичні й техногенні фактори формування урожайності зернових культур. Бюлетень Інституту зернового господарства. 2010. Вип. 38. С. 35–40.

14. Македон В.В., Байлова О.О. Планування і організація впровадження цифрових технологій в діяльність промислових підприємств. Науковий вісник Херсонського державного університету. Серія «Економічні науки». 2023. Випуск 47. С. 16-26. DOI: 10.32999/ksu2307-8030/2023-47-3.

15. Chen, F., Li, S., Hao, L., An, Y., Huo, L., Wang, L., Li, Y., Zhu, X. Research Progress on Soil Security Assessment in Farmlands and Grasslands Based on Bibliometrics over the Last Four Decades. Sustainability. 2024. No 16. p. 404. https://doi.org/10.3390/su16010404.

16. Інституціональне забезпечення землекористування: теорія і практика: монографія / М.А. Хвесик, В.А. Голян. К.: НАН України, 2006. 160 с.

17. Makedon V., Myachin V., Plakhotnik O., Fisunenko N., Mykhailenko O. Construction of a model for evaluating the efficiency of technology transfer process based on a fuzzy logic approach. Eastern-European Journal of Enterprise Technologies. 2024. no 2(13(128)). p. 47-57. https://doi.org/10.15587/1729-4061.2024.300796.

18. Вожегова Р.А., Нетіс І.Т., Онуфран Л.І., Сахацький Г.І., Шарата Н.Г. Зміна клімату та проблема аридизації Південного Степу України. Аграрні інновації. 2021. № 7. С. 16–20. DOI: https://doi.org/10.32848/agrar.innov.2021.7.3.

Doctor of Pedagogical Sciences, Professor **Oksana Braslavska,**
Candidate of Economic Sciences, Associate Professor **Hrytsyk Oleh,**
Lecturer **Tomas Rozhi,**
Pavlo Tychyna Uman State Pedagogical University

IMPACT OF CLIMATE CHANGE ON SPATIAL DISTRIBUTION AND PROPERTIES OF SOILS IN THE STEPPE ZONE OF UKRAINE

The article presents a comprehensive study of the impact of climate change on the spatial differentiation and physicochemical properties of soils in the Steppe zone of Ukraine, which, due to increased aridification, progressive degradation of soil

cover and depletion of its agroecological potential, is one of the most vulnerable regions in the context of global climate transformations. Based on the analysis of long-term climate data, significant changes in thermal and hydrological regimes have been established. An assessment of the scale of degradation processes revealed a catastrophic spread of water and wind erosion, an increase in the area of eroded and secondary salinized lands, as well as a systemic decline in the productivity of agricultural landscapes, which threatens the food security of the region due to the destabilization of agricultural production. Forecasting models developed to predict soil cover dynamics indicate irreversible changes: reduction of chernozem areas with their parallel transformation into less fertile chestnut and solonchak soils, which is accompanied by changes in agrochemical indicators and loss of biological diversity. To counteract these negative trends, the need for systematic adaptation of land use has been substantiated, which involves the introduction of resource-saving agricultural technologies, optimization of the water regime through the deployment of effective irrigation systems with the involvement of alternative water sources, the use of precision agriculture for dosed fertilizer application taking into account spatial soil variability, as well as the restoration of ecosystem functions through the creation of protective forest belts and buffer zones with stable vegetation, which will reduce the intensity of erosion processes and stabilize the microclimate. The obtained research results can find practical application in environmental monitoring, agronomic forecasting system, land management, as well as in the development of adaptive approaches to agricultural activities in the context of current climate changes, which is especially relevant for ensuring sustainable development of the agricultural sector of Ukraine.

Keywords: steppe zones; climate change; soil cover; aridization; erosion processes; land use.

REFERENCES

1. Berezhnjak, Ye.M., Naumovska, O.I., Berezhnjak, M.F. (2022). Degradatsiyni protsesy v gruntakh Ukrayiny ta yikh negatyvni naslidky dlya dovkillya [Degradation processes in soils of Ukraine and their negative consequences for the environment]. Biolohichni systemy: teoriya ta innovatsiyi [Biological Systems: Theory and Innovation], 13(3–4), 96–109. DOI: 10.31548/biologiya13(3-4).2022.014. {in Ukrainian}.

2. Lubs′kyi, M. S., Khyzniak, A. V., Orlenko, T. A. (2024). Modelyuvannya vrazlyvosti stepovoyi landshaftno-klimatychnoyi zony Ukrayiny do klimatychnykh zmin na osnovi danykh kosmichnoho znimannya [Modeling the vulnerability of the steppe landscape-climatic zone of Ukraine to climate change based on satellite imaging data]. Ukrayins′kyy zhurnal dystantsiynoho zondovannya

Zemli, 11(1), 32–40. DOI: https://doi.org/10.36023/ujrs.2024.11.1.258. {in Ukrainian}.

3. Zhou, T., Lv, W., Geng, Y., Xiao, S., Chen, J., Xu, X., Pan J., Si B. & Lausch A. (2023). National-scale spatial prediction of soil organic carbon and total nitrogen using long-term optical and microwave satellite observations in Google Earth Engine. Computers and Electronics in Agriculture, 210, 107928. DOI: 10.1016/j.compag.2023.107928. {in English}

4. Shevchenko, O.V. (2023). Vplyv klimatychnykh zmin na sil′s′kohospodarske zemlekorystuvannya v Ukrayini [The impact of climate change on agricultural land use in Ukraine]. Zbalansovane pryrodokorystuvannya, 4, 108–113. DOI: https://doi.org/10.33730/2310-4678.4.2023.292725. {in Ukrainian}.

5. Skok, S.V. (2022). Otsinka yakosti gruntiv zony Stepu Ukrayiny v umovakh hlobal′nykh zmin klimatu [Assessment of soil quality in the Steppe zone of Ukraine under global climate change conditions]. Tavriys′kyy naukovyy visnyk. Seriya: Sil′s′kohospodarski nauky, 124, 239–246. DOI: https://doi.org/10.32851/2226-0099.2022.124.33. {in Ukrainian}.

6. Holoborodko, S.P., Dymov, O.M. (2021). Suchasnyy stan ta shlyakhy pidvyshchennya rodyuchosti gruntiv pivdenno-stepovoyi zony Ukrayiny [Current state and ways to increase soil fertility in the southern steppe zone of Ukraine]. Visnyk ahrarnoyi nauky, 4(817), 14–19. DOI: https://doi.org/10.31073/agrovisnyk202104-02. {in Ukrainian}.

7. Grunty Ukrayiny [Soils of Ukraine]. Available at: https://farming.org.ua/Типи%20ґрунту%20Карта%20ґрунтів.html (accessed: January 22, 2025). {in Ukrainian}.

8. Poznyak, S.P. (2017). Aktual′ni problemy gruntoznavstva i heohrafiyi gruntiv [Current problems of soil science and soil geography]. Lviv: LNU imeni Ivana Franka. {in Ukrainian}.

9. Makedon, V.V., Kurinna, I.G. (2020). Faktory vplyvu na orhanizatsiyni protsesy zabezpechennya konkurentospromozhnosti produktsiyi pidpryyemstva [Factors influencing the organizational processes of ensuring the competitiveness of the enterprise]. Derzhava ta rehiony. Seriya: Ekonomika ta pidpryyemnytstvo, 5(116), 71–77. {in Ukrainian}

10. Kravchenko, Yu.S. (2019). Suchasnyy stan rodyuchosti ukrayins′kykh chornozemiv [Current state of fertility of Ukrainian chernozems]. Ahrobiolohiya, 3, 29–35. DOI: https://doi.org/10.31548/agr2019.03.029. {in Ukrainian}.

11. Yamelynets, T. (2022). Informatsiyne gruntoznavstvo : monohrafiya [Informational soil science: monograph]. Lviv: LNU named after Ivan Franko. {in Ukrainian}.

12. Kovalyov, M.M., Medvedieva, O.V., Mirzak, T.P. (2023).

Ahroekolohichna transformatsiya humusnoho stanu chornozemu typovoho Buhs′ko-Dniprovs′koho mizhrichchya [Agroecological transformation of the humus state of typical chernozem of the Bug-Dnipro interfluve]. Tavriys′kyy naukovyy visnyk, 133, 345–352. DOI: https://doi.org/10.32782/2226-0099.2023.133.46. {in Ukrainian}.

13. Nesterts, V.H., Krotinov, I.V., Motrenko, V.I. (2010). Zminy klimatu u pivdenno-skhidniy chastyni Stepu: ahroklimatychni y tekhnohenni factory formuvannya urozhaynosti zernovykh kultur [Climate changes in the southeastern part of the Steppe: agroclimatic and technogenic factors of grain crop yield formation]. Byuleten Instytutu zernovoho hospodarstva, 38, 35–40. {in Ukrainian}.

14. Makedon V.V., Bailova O.O. (2023). Planuvannya i orhanizatsiya vprovadzhennya syfrovykh tekhnolohiy v diyal′nist′ promyslovykh pidpryyemstv [Planning and organizing the implementation of digital technologies in the activities of industrial enterprises]. Scientific Bulletin of Kherson State University. Series "Economic Sciences", Issue 47, 16-26. DOI: 10.32999/ksu2307-8030/2023-47-3. {in Ukrainian}.

15. Chen, F., Li, S., Hao, L., An, Y., Huo, L., Wang, L., Li, Y., & Zhu, X. (2024). Research Progress on Soil Security Assessment in Farmlands and Grasslands Based on Bibliometrics over the Last Four Decades. Sustainability, 16(1), 404. https://doi.org/10.3390/su16010404. {in English}

16. Khvesyk, M.A., Holyan V.K. (2006). Instytutsional′ne zabezpechennya zemlekorystuvannya: teoriya i praktyka: monohrafiya, NAN Ukrayiny {in Ukrainian}.

17. Makedon, V., Myachin, V., Plakhotnik, O., Fisunenko, N., Mykhailenko, O. (2024). Construction of a model for evaluating the efficiency of technology transfer process based on a fuzzy logic approach. Eastern-European Journal of Enterprise Technologies, no 2(13(128)), 47-57. https://doi.org/10.15587/1729-4061.2024.300796. {in English}.

18. Vozhehova, R.A., Netis, I.T., Onufran, L.I., Sakhatskyi, H.I., Sharata, N.H. (2021). Zmina klimatu ta problema arydyzatsiyi Pivdennoho Stepu Ukrayiny [Climate change and the problem of aridization of the Southern Steppe of Ukraine]. Ahrarni innovatsiyi, 7, 16–20. DOI: https://doi.org/10.32848/agrar.innov.2021.7.3. {in Ukrainian}.

DOI: 10.32347/2786-7269.2025.11.574-596
УДК 528:88

Денисюк В.М.,
denysiuk.viktor@vnu.edu.ua, ORCID: 0009-0006-9313-4244,
к.т.н., доцент **Мельник О.В.,**
hockins@vnu.edu.ua, ORCID: 0000-0002-5429-4038,
Волинський національний університет імені Лесі Українки

ДИСТАНЦІЙНИЙ МОНІТОРИНГ ЗМІН ЗЕМЛЕКОРИСТУВАНЬ В МЕЖАХ ВОДОЗБОРУ РІЧКИ ТУРІЯ

У дослідженні представлено комплексний аналіз змін водно-болотних ландшафтів у басейні річки Турія на Волині, з акцентом на їхній вплив на сталий розвиток регіону та екологічну рівновагу. Використання інноваційних підходів ГІС та дистанційного зондування Землі не лише дозволило картографувати структуру та просторовий розподіл ландшафтів, але й побудувати матриці переходів між різними типами ландшафтів, розкриваючи закономірності їх динаміки. Для візуалізації цих процесів були обраховані матриці переходів та створені Sankey-діаграми, які чітко демонструють переходи між різними класами ландшафтів, що сприяє кращому розумінню масштабу й характеру змін.

Особливу увагу було приділено екологічним викликам, пов'язаним зі змінами ландшафтів, зокрема зменшенню площ природних екосистем, які відіграють важливу роль у підтримці біорізноманіття та водного балансу. Запропоновані адаптивні стратегії для управління ландшафтами включають заходи зі збереження природних ресурсів, відновлення деградованих територій та моніторингу впливу антропогенних факторів. Завдяки високоточній класифікації, виконаній у середовищі Google Earth Engine з використанням алгоритму SmileCART, досягнуто точності аналізу 99,72%, що є вагомим досягненням для сучасних екологічних досліджень. Отримані результати відкривають нові перспективи для ефективного моніторингу, дозволяючи здійснювати детальний аналіз динаміки ландшафтів у часі та просторі. Це дослідження також підкреслює важливість впровадження інноваційних інструментів для забезпечення сталого розвитку регіону та мінімізації негативного впливу змін клімату на природні комплекси.

Ключові слова: геоінформаційні системи; дистанційне зондування Землі; Google Earth Engine; QGIS; Sankey-діаграма; земельний покрив; водозбірний басейн; річка Турія.

Постановка проблеми. Водно-болотні ландшафти Волині є важливими компонентами навколишнього середовища регіону, і вони відіграють ключову роль у функціонуванні екосистем та економічній діяльності області. Використання геоінформаційних систем (ГІС) і технологій дистанційного зондування Землі дає змогу проводити детальний аналіз земельного покриву та землекористувань і забезпечувати ефективне управління природними ресурсами.

Застосування ГІС дозволяє створювати точні карти, які відображають геопросторову структуру різних класів ландшафтів, їхню топографію, розташування ключових екосистем та динаміку змін у часі. Це сприяє детальному аналізу міжландшафтних трансформацій і дає змогу виявляти проблеми та сформулювати стратегії для збереження природних ресурсів. Застосування ГІС також дає змогу оцінювати вплив водно-болотних ландшафтів на ключові сфери, такі як сільське господарство, водопостачання та туризм.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Зміни земельного покриву становлять важливий і актуальний об’єкт досліджень, що викликає великий інтерес наукової спільноти світового масштабу. Вивчення земельного покриву річкових басейнів за допомогою методів дистанційного зондування проводилось і активно здійснюється в різних країнах, зокрема: у Бразилії присвячена робота авторів Rafaella Leal, Najdacleia Almeida, Milena Dutra da Silva [31], у Бангладеші – Sameena Begum, Sultana Jahan Ophra, Arafat Hossain, Md Tasim Ferdous, Farhan Ahmed Rafid [7], в Ефіопії – R.S. Dwivedi, Sreenivas Kandrika, K.V. Ramana [11], в Індії – Jatan Debnath, Nibedita Das (Pan), Istak Ahmed, Moujuri Bhowmik [10], у Китаї – Fenglei Fan, Weng Qihao, Yunpeng Wang [13], у Шотландії – Sandy Winterbottom [36], в Україні – Burmeister C. та Schanze J. [9], Денисюка В. та Мельника О. [1].

Формулювання цілей. Дослідження спрямоване на виявлення змін земельного покриву у водозбірному басейні річки Турія на часові проміжки: 2000, 2010 та 2020 роки. Особлива увага приділяється комплексному аналізу водно-болотних ландшафтів регіону із застосуванням передових технологій, таких як дистанційне зондування, ГІС-інструменти та платформа colab.research.google.com. У контексті сучасних викликів, зокрема стрімких кліматичних змін, що значно впливають на природні екосистеми Волині, використання таких методів є надзвичайно важливим для глибокого розуміння стану та динаміки трансформацій ландшафтів досліджуваної території.

Актуальність теми дослідження. Зміна землекористування та земельного покриву (land-use/land-cover, LULC) є важливим фактором екологічних змін на локальному, регіональному та глобальному рівнях. Такі

зміни можуть бути спричинені як прямим, так і непрямим впливом людської діяльності [6, 22]. Вони здатні впливати на клімат або, навпаки, зазнавати впливу кліматичних змін. Наприклад, зміни LULC змінюють погодні умови і клімат через порушення енергетичного балансу, обміну парникових газів та води між земною поверхнею і атмосферою [32]. У свою чергу, кліматичні зміни впливають на землекористування та екосистеми, змінюючи розподіл, структуру та способи використання земельних ресурсів [34].

Різноманітні антропогенні процеси, такі як вирубка лісів, урбанізація та розширення орних земель, впливають на гідрологічні процеси, включаючи розподіл опадів, випаровування, інфільтрацію та стік [8, 24]. Водночас ці процеси мають значний вплив на продуктивність земель і біологічне різноманіття [14, 20].

Використання супутникових даних, отриманих у різні часові проміжки, забезпечує точну візуалізацію та аналіз змін ландшафтів і землекористувань. Земельний покрив (ландшафт) у цьому дослідженні визначається як біофізичний стан земної поверхні, що включає: відкриті водойми, підтоплені (заболочені) території, сільськогосподарські землі (відкритий ґрунт) сільськогосподарські землі (зелений покрив), кущі, ліси, пустощі, урбанізовані території, а також усі об’єкти, які можна виявити за допомогою наземних спостережень чи даних дистанційного зондування.

Землекористування визначається як форма людської господарської діяльності. Оскільки землекористування не може бути ідентифіковане безпосередньо методами дистанційного зондування, потрібні додаткові дані, наприклад, результати польових досліджень [15, 21, 26].

Зміна земельного покриву на різні часові періоди може стосуватися як ландшафтів, так і землекористувань. Згідно з класифікацією Гейста та співавторів [15], зміни земельного покриву поділяються на конверсію та модифікацію. Конверсія виникає, коли один тип земельного покриву повністю замінюється іншим, і така зміна легко виявляється. Модифікація, натомість, характеризується поступовими змінами в межах одного типу земельного покриву, які можуть бути менш помітними.

Наукова новизна. У цій роботі вперше проведено аналіз території водозбірного басейну річки Турія у трьох часових кроках: 2000, 2010 та 2020 рік. За допомогою геоінформаційного моделювання виявлено зміни ландшафтів для восьми класів, досліджено переходи між ними та встановлено основні причини й наслідки цих процесів. Для кількісної оцінки змін обчислено матриці переходів класів ландшафтів, а для наочного представлення динаміки перетворень створено Sankey-діаграми.

Значущість проведеного дослідження посилюється у контексті глобальних кліматичних змін та зростаючого антропогенного навантаження на природне середовище Волинської області. Виявлені тенденції дозволяють сформувати науково-обґрунтовані рекомендації щодо раціонального використання природних ресурсів, впровадження екологічно-орієнтованих практик та забезпечення сталого розвитку регіону з мінімальним негативним впливом на довкілля.

Мета і методи дослідження. У цій роботі використано комплекс методів дистанційного зондування та ГІС, які дозволяють точно вимірювати та аналізувати зміни ландшафтів і землекористувань. Наприклад, порівнюючи картографічні дані, отримані за різні часові проміжки, можна виявити перехід від одного типу земельного покриву до іншого. Результатом такого порівняння є як табличні дані (матриці) переходів, так і графічні візуалізації, що демонструють зміни між класами земельного покриву [23, 28, 33].

Зміни ландшафтів, у поєднанні з кліматичними змінами, стали каталізатором для моделювання довгострокових трансформацій водного та речовинного балансу [27, 29, 30].

Для досягнення основної мети дослідження необхідно реалізувати наступні кроки:

(I) створення детальної ландшафтної карти досліджуваної території для 2000, 2010 та 2020 років, ґрунтуючись на класифікації супутникових даних;

(II) проведення оцінки точності отриманих результатів;

(III) здійснення статистичного аналізу змін земельного покриву в межах водозбірного басейну річки Турія;

(IV) аналіз переходів між класами покриву та створення Sankey-діаграм переходів із використанням інструментів платформи colab.research.google.com.

Таким чином, дослідження покликане забезпечити глибоке розуміння змін у природних ландшафтах і розкрити потенціал сучасних технологій для моніторингу й управління екосистемами.

Наукові результати та їх обґрунтування

Територія дослідження

Річка Турія бере свій початок у заболоченій улоговині на північних схилах Волинської височини, поблизу села Затурці. Її русло тече через Поліську низовину, де в верхів'ї спрямовується на північний захід, а в середній та нижній частинах переходить на північний схід і північ. Зливаючись з Прип'яттю на північному заході села Щитинь, річка завершує свій шлях. Важливою складовою гідрологічної системи є водосховище в місті Ковель, що виконує не тільки регулювальну функцію, а й підтримує екологічну рівновагу в басейні річки. Екосистема нижньої течії річки охороняється в межах

гідрологічного заказника місцевого значення “Турський”, що сприяє збереженню біорізноманіття та природної спадщини регіону.

Річкова долина Турії має трапецієподібну форму, з шириною, яка досягає 2 км, а в пониззі, де річка втрачає свою чіткість, простягається до 3-4 км. Заплава, з характерною двосторонньою конфігурацією, має ширину від 0,3-0,8 км у верхній частині та досягає 3-4 км поблизу гирла, з великою частиною, що характеризується заболоченістю. Водозбірний басейн річки багатий на стариці та озера, які додають унікальності ландшафту. Річище річки звивисте, протяжність поглиблених і розширених ділянок складає 45 км, з варіацією ширини від 8-10 м до 25 м на плесах і розширених ділянках. Похил річки мінімальний – 0,37 м/км, що зумовлює повільну течію води. Басейн річки значною мірою заболочений і заліснений, а також містить численні озера. 20% території басейну перебуває під впливом меліорації. Річка замерзає в грудні, а скресає наприкінці березня, відновлюючи свою динаміку з початком весняного потоку [5].

Річка належить до басейну річки Прип’ять, будучи її правою притокою першого порядку. Витоки річки розташовані на півночі села Садівські Дубини, на висоті 241 м. над рівнем моря. Турія протікає через три адміністративні райони Волині: Володимир-Волинський, Ковельський та Камінь-Каширський.

Досліджуваний водозбірний басейн річки Турія розташований на заході України, переважно в північно-західній частині Волинської області, зокрема охоплює Поліську низовину та частину Волинської височини (Рис. 1). Турія впадає в річку Прип’ять і межує з водозбірними басейнами інших річок: на сході – з річками Стохід і Цир, на півдні – з Лугою, на заході – з річками Луга та Вижівка, а на півночі – з річкою Прип’ять. Річка Прип’ять, в свою чергу, є частиною басейну річки Дніпро, яка впадає в Чорне море. [5].

Обчислена площа водозбірного басейну річки Турія становить 3055,70 км², а загальна довжина її водотоків досягає 5738,39 км. Крайня північна точка басейну розташована на північних околицях села Щитинь, де річка Турія впадає в Прип’ять. Крайня південна точка водозбору розташована на півночі села Садівські Дубини, де і витікає річка Турія. Єдиним містом на території водозбору є Ковель. Досліджувана область характеризується активно розвинутою сільськогосподарською діяльністю та високою щільністю населення в сільських районах [27, 29].

У цьому дослідженні для отримання точних карт змін ландшафтів з 10-річними інтервалами було застосовано класифікацію з відповідним масштабом, що дозволяє параметризувати різноманітні типи ландшафтів. Для цього використано потужний інструмент Google Earth Engine, який об’єднує величезні обсяги супутникових знімків і геопросторових даних, надаючи

можливість виконувати аналіз на глобальному рівні. Ця платформа стала надійним помічником для вчених і дослідників, які використовують її для виявлення змін, картографування глобальних тенденцій та вимірювання різноманітних змін на земній поверхні [16].

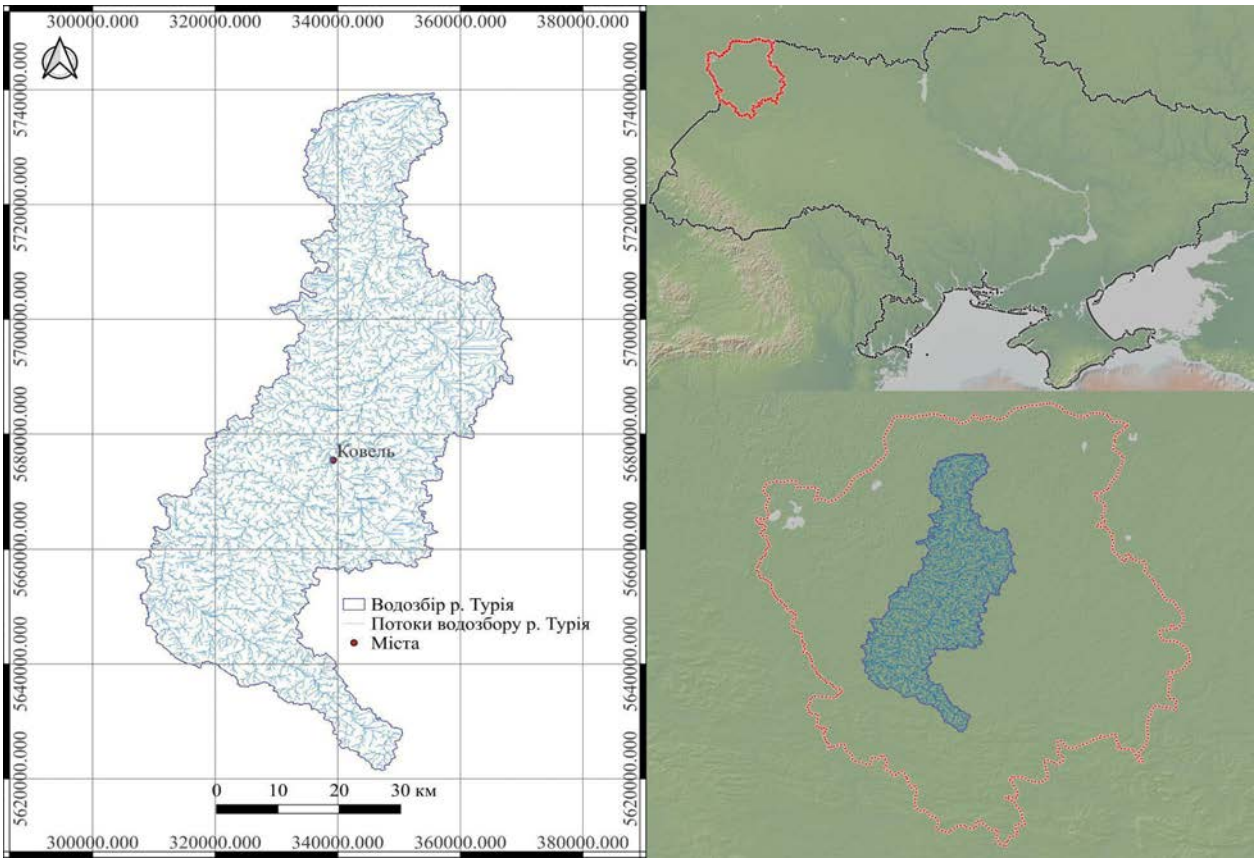


Рис. 1. Територія дослідження: Водозбір річки Турія. Україна з виділеним фрагментом Волинської області; Волинська область з виділеним фрагментом водозбору річки Турія

Дані та попередня обробка

Супутникові зображення Landsat 7 є важливим джерелом високоякісної інформації для досліджуваного регіону на задані часові проміжки. Платформа Landsat була вибрана через свою здатність забезпечувати безперервні дані на протязі довгих періодів часу. Для аналізу змін ландшафтів між 2000 та 2020 роками використовувались три ключові часові кроки: 2000, 2010 та 2020 рік (див. Табл. 1).

Таблиця 1

Супутникові сцени використані для трьох часових кроків

Часовий крок	Часовий проміжок	Супутниковий сенсор	Геометрична роздільна здатність
2000	01.05-01.06	Landsat-7	30×30
2010	01.05-01.06	Landsat-7	30×30
2020	01.05-01.06	Landsat-7	30×30

Кожен часовий проміжок представлений сценою на період місяця травня, який характеризуються найменшою хмарністю та найменшою кількістю опадів. Для якісної класифікації ландшафтів усі супутникові зображення виправлені на атмосферу та мають географічну прив'язку та просторову роздільну здатність 30×30 м. [18, 30, 33].

Як додаткове джерело даних, сцени Google Earth Pro використовуються для отримання наземних правдивих завіркових даних, особливо для часового кроку 2000 року.

Процес класифікації супутникових знімків Landsat 7 у Google Earth Engine

Використання бінарних дерев рішень для класифікації є непараметричним підходом до розпізнавання образів. Дерево рішень забезпечує ієрархічне представлення простору ознак, в якому x_i вибірки розподілені по класах w_j $(j = 1,2,...,k)$ відповідно до результату, отриманого в результаті виконання рішень, прийнятих в послідовності вузлів, в яких гілки дерева розходяться. Тип дерева рішень, що використовується в даній роботі, докладно розглядається в роботі [17], внесок якої був узагальнений в алгоритм CART (Classification And Regression Trees).

Цей підхід полягає в тому, що дерева можуть бути використані не тільки для класифікації об'єктів на дискретне число груп, але і як альтернативний підхід до регресійного аналізу, при якому значення змінної відповіді (залежної) повинно оцінюватися з урахуванням значення кожної змінної в наборі пояснювальних (незалежних) змінних. Бінарні дерева рішень складаються з множинного поділу простору ознак на два підпростори, з кінцевими вузлами, пов'язаними з класами w_j. Бажане дерево рішень - це дерево, яке має відносно невелику кількість гілок, відносно невелике число проміжних вузлів, від яких ці гілки розходяться, і високий поріг прогнозування, при якому об'єкти правильно класифікуються на кінцевих вузлах.

CART передбачає виявлення та побудову бінарного дерева рішень на основі вибірки тренувальних даних, для яких відома правильна класифікація. Число об'єктів в двох підгрупах, визначених на кожному двійковому розділі, що відповідають двом гілкам, що виходять з кожного проміжного вузла, послідовно зменшується, так що для отримання хороших результатів потрібна досить велика навчальна вибірка.

Дерево рішень починається з кореневого вузла *t*, з якого виходить змінна в просторі ознак мінімізує ступінь домішки двох пов'язаних вершин. Використовуючи визначення, наведене в [25], міра домішки у вузлі *t*, що позначається *i(t),* має вигляд, як показано в наступному рівнянні (1),

$$i(t) = -\sum_{j=1}^{k} p(w_j \mid t) \log p(w_j \mid t) \tag{1}$$

де $p(w_j \mid t)$ - частина паттернів x_i, віднесена до класу w_j по вершині t.

Потім кожна некінцева вершина розбивається на дві наступні вершини, t_L і t_R, так що p_L, p_R є частками сутностей, переданих новим вершинам t_L і t_R, відповідно. Найкращим поділом є той, який максимізує різницю, наведену в (2):

$$\Delta i(s,t) = i(t) - p_L i(t_L) - p_R i(t_R) \tag{2}$$

Дерево рішень росте шляхом послідовних поділів до тих пір, поки не буде досягнута стадія, на якій не відбувається значного зниження ступеня домішки з подальшим додатковим поділом s. При досягненні цієї стадії вершина t не ділиться далі і автоматично стає кінцевою вершиною. Клас w_j, пов'язаний з кінцевим вузлом t, є класом, який максимізує умовну ймовірність $p(w_j \mid t)$.

Основним джерелом актуальної інформації щодо наявних класів ландшафтів та землекористувань на місцевості були польові дослідження у 2020 році на території Камінь-Каширського та Ковельського районів, а саме в селах: Щитинь, Тойкут, Бузаки та безпосередньо у місті Ковель на території яких наявні усі розглянуті в дослідженні класи ландшафтів.

Таблиця 2

Схема класифікації ландшафтів [2, 3, 4]

Клас ландшафту	Опис класу
1	2
0 - (В) відкриті водойми	Відкриті водойми (наземні води) поділяються на природні (річки, озера) і штучні (водосховища, канали);
1 - (ПЗ) підтоплені (заболочені) території	Заболочені території - це надмірно зволожені ділянки, що розташовані у зоні надмірного зволоження на понижених елементах рельєфу або на слабо дренованих, вирівняних, плоских територіях, а також на окраїнах боліт з вологолюбною трав'яною рослинністю.
2 - (СҐ) сільськогосподарські землі (відкритий ґрунт)	Сільськогосподарські угіддя, які систематично обробляються і використовуються під посіви сільськогосподарських культур.
3 - (СЗ) сільськогосподарські землі (зелений покрив)	Сільськогосподарські угіддя, які вкриті зеленим покривом. Пасовища – земельні угіддя вкриті багаторічною трав'яною рослинністю і систематично використовуються для випасання худоби. Сіножаті – земельні угіддя вкриті багаторічною трав'яною рослинністю, які систематично використовуються для сінокосіння.
4 - (К) кущі	Кущі (чагарники) – земельні ділянки, які не входять до лісового фонду, зайняті полезахисними лісовими смугами, іншими захисними або озеленювальними деревно-чагарниковими насадженнями, деревами або групами дерев на землях сільськогосподарських підприємств.

Клас ландшафту	Опис класу
1	2
5 - (Л) ліси	Лісові землі – це земельні ділянки покриті лісом, включаючи лісові культури, що зімкнулися.
6 - (П) пустощі	Пустощі – згарища або зруби, які більше 10 років знаходяться в безлісому стані. Зруби – площі, на яких деревостан вирубаний, а молоді дерева не зімкнулися. Території на яких яскраво виражені відсутність будь-якого покриву безрослинні або сильно деградовані землі і зазвичай мають високу концентрацію пісків.
7 - (У) урбанізовані землі	Урбанізована місцевість – це місцевість, частина (ділянка), район території з усіма її компонентами (населеними пунктами, об’єктами архітектури та промисловості, соціально-культурними спорудами та шляхами сполучення).

Таблиця 3

Кількість полігонів вибірки для різних часових кроків при обробці супутникових зображень Landsat-7 в Google Earth Engine для оцінки точності

	2000	2010	2020
Клас ландшафту	Кількість полігонів вибірки		
0 - (В) відкриті водойми	8	13	15
1 - (ПЗ) підтоплені (заболочені) території	3	3	2
2 - (СҐ) сільськогосподарські землі (відкритий ґрунт)	17	9	34
3 - (СЗ) сільськогосподарські землі (зелений покрив)	6	5	14
4 - (К) кущі	3	4	8
5 - (Л) ліси	7	9	24
6 - (П) пустощі	1	2	6
7 - (У) урбанізовані землі	10	6	16
Кількість елементів вибірки	3014	3493	4544

Оцінка точності

При виконанні контрольованої класифікації можуть виникати різноманітні помилки, зумовлені спектральною схожістю між класами або помилками користувача при визначенні областей інтересу. Для оцінки точності класифікації земельного покриву та вимірювання похибок отриманих зображень було проведено відповідні дослідження. Одним із найпоширеніших методів оцінки точності є розрахунок матриці похибок [12], що передбачає порівняння класифікованих даних з контрольними для відповідної кількості одиниць класифікації. З отриманої матриці похибок визначають загальну точність класифікації, яка є відношенням правильно класифікованих елементів до загальної кількості елементів вибірки.

Для перевірки класифікації була застосована оцінка точності з використанням 30% контрольних точок. Еталонні значення, що вводяться дослідником, базуються на даних, що підтверджують достовірність земельного

покриву. У цьому контексті точність виробника враховує помилки пропуску, що виникають через неповне відображення спостережуваного аспекту на місцевості, яка не була класифікована на карті. Точність користувача оцінює помилки пропуску і можливість віднесення пікселя до певної категорії. Використання даних Landsat 7 з просторовою роздільною здатністю 30 м дозволяє здійснювати розрахунки для мінімальної площі 0,337 га.

Матриця похибок була розрахована для оцінки точності класів землекористування та земельного покриву, зокрема, за допомогою чотирьох статистичних показників точності: загальної точності (OA), точності виробника (PA), точності користувача (UA) та коефіцієнта Kappa (к). Найбільш репрезентативним з них є загальна точність (OA). За результатами проведеної оцінки точності, загальна точність класифікації, виконаної за допомогою класифікатора SmileCART, склала 99,72%, що підтверджує високу ефективність алгоритму та ретельний вибір контрольних ділянок [1].

Висновки

У результаті виконаної класифікації отримано детальні растрові зображення, в яких кожен піксель набув чіткої ідентичності відповідно до свого класу, візуалізованого у вибраній колірній палітрі. Використовуючи розроблену методику та навчальні вибірки на основі попередніх досліджень [1], вдалося здійснити контрольовану класифікацію території водозбірного басейну річки Турія в середовищі Google Earth Engine (GEE), а фінальне оформлення та аналіз проведено у QGIS.

Результати класифікації дозволяють простежити трансформації ландшафтів упродовж 2000, 2010 та 2020 років, що графічно відображено на Рис. 3 у системі координат WGS 84 | UTM zone 35N. В основі аналізу лежать супутникові знімки Landsat-7, які забезпечили можливість оцінки змін у структурі земельного покриву.

Виявлення змін ландшафтів на основі отриманої інформації

Динаміка трансформацій ландшафтів розкрита через порівняльний аналіз площ окремих класів, що дозволяє не лише виявити зміни, а й зробити висновки щодо тенденцій розвитку території. Ці зміни представлені у вигляді графічних матеріалів, що забезпечують наочне сприйняття просторових процесів (див. Рис. 2).

Таблиця 5

Результати зміни ґрунтового покриву між 2000, 2010 та 2020 роками у %

Рік\Клас ландшафту	В	ПЗ	СҐ	СЗ	К	Л	П	У
2000	0,70	0,85	39,16	11,72	8,05	34,18	0,42	4,92
2010	0,51	1,10	26,04	18,52	8,18	43,10	0,09	2,48
2020	0,69	1,01	32,85	16,01	7,78	38,56	0,32	2,77

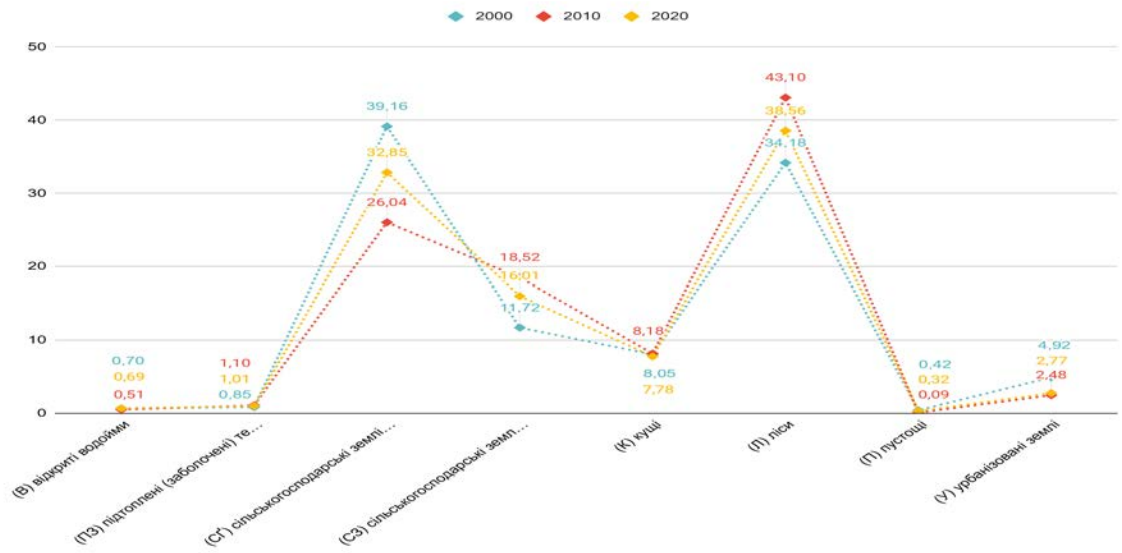


Рис. 2. Графік результатів зміни ґрунтового покриву між 2000, 2010 та 2020 роками у %

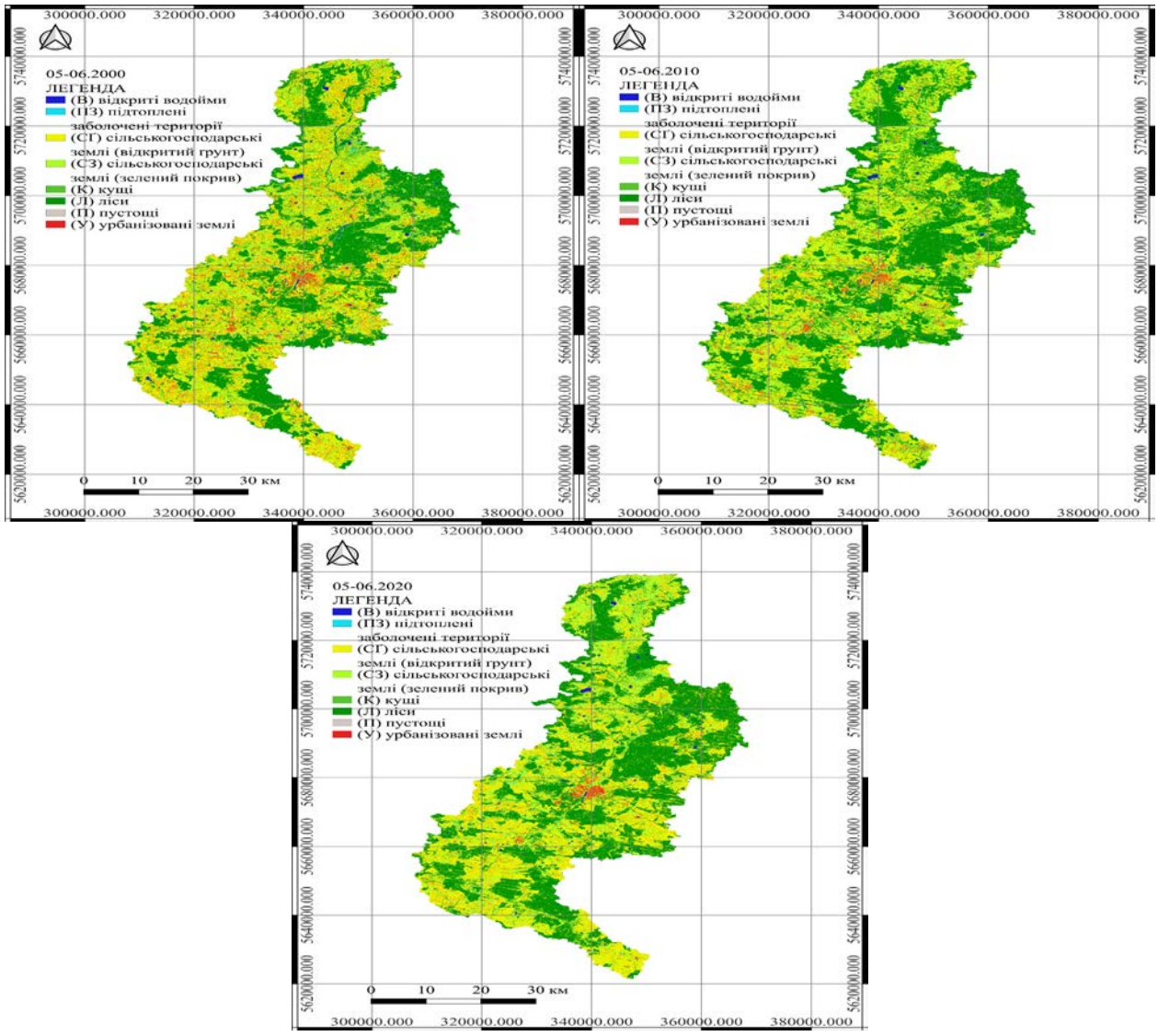


Рис. 3. Результати контрольованої класифікації в GEE водозбору р. Турія на 2000, 2010 та 2020 рік відповідно (система координат WGS 84 | UTM zone 35N)

Дистанційний моніторинг є одним із найефективніших методів детального аналізу змін ландшафтів, що дозволяє розробляти стратегії контролю, збереження природного балансу та охорони навколишнього середовища в регіоні. Динаміка змін ландшафтів у межах усіх виділених класів представлена на картографічних матеріалах (див. Рис. 3).

Площі (СҐ) сільськогосподарських земель (відкритого ґрунту) зменшуються з 2000 року з сумарних 39,16% до 32,85% на 2020 рік. Площі (В) відкритих водойм можна вважати сталими оскільки за 20 років відбулась лише незначна зміна з 0,70% до 0,69%; території (СЗ) сільськогосподарських земель (зеленого покриву) збільшуються з 2000 року з сумарних 11,72% до 16,01% на 2020 рік. Загальну картину площ сільськогосподарських угідь можна вважати сталою, оскільки (СҐ) сільськогосподарські землі (відкритого ґрунту) та (СЗ) сільськогосподарські землі (зеленого покриву) найбільше взаємозаміняють одна одну з урахуванням сівозмін і сумарно для трьох часових кроків площі в даних типах ландшафтів у відсотках складають на 2000 рік - 50,88%, на 2010 рік - 44,56% та на 2020 рік - 48,86%. Площі лісів зазнали незначних змін в сторону зростання з 34,18% до 38,56% з 2000 по 2020 рік. Зростання площ лісів спостерігалось у проміжку між 2000 та 2010 роками з 34,18% до 43,10%. Із дослідження помітно, що території пустощів (П) спадають.

Площа земель вкритих (К) кущами в основному також залишається сталою. Сильна систематична зміна відбувається між (СҐ) сільськогосподарськими землями (відкритого ґрунту) та (СЗ) сільськогосподарськими землями (зеленого покриву), а також між (Л) лісами та (К) кущами, що можна побачити на Senkey-діаграмах (Рис. 4, 5, 6).

Значні зміни спостерігаються навколо населених пунктів оскільки площі (У) урбанізованих земель значно зменшились з 4,92% у 2000 році до 2,77% у 2020 році, що спричинено розформуванням колгоспних господарств, та зменшення виробничого потенціалу регіону. Багато територій під (СЗ) сільськогосподарськими землями (зеленого покриву) було перетворено на (СҐ) сільськогосподарські землі (відкритого ґрунту) для ведення особистого господарства, що в порівнянні можна побачити на супутникових сценах 2000 і 2010 року (Рис. 3). Інші систематичні зміни для категорії сільськогосподарських земель (СҐ) (відкритого ґрунту) полягають у тому, що вона систематично перетворюється в основному на (СЗ) сільськогосподарські землі (зеленого покриву) на (Л) ліси та на (К) кущі, щодо категорії (СЗ) сільськогосподарських земель (зеленого покриву) - то вона в основному змінюється на сільськогосподарські землі (СҐ) (відкритого ґрунту) та на (Л) ліси (Табл. 6).

Таблиця 6

Динаміка зростання/спадання площ ландшафтів

Крок в роках	2000-2010	2000-2010	2010-2020	2010-2020
Клас ландшафту	Δ % 10 років	Δ % 1 рік	Δ % 10 років	Δ % 1 рік
(В) відкриті водойми	-0,19	-0,02	+0,18	+0,02
(ПЗ) підтоплені (заболочені) території	+0,25	+0,03	-0,09	-0,01
(СҐ) сільськогосподарські землі (відкритий ґрунт)	-13,12	-1,31	+6,82	+0,68
(СЗ) сільськогосподарські землі (зелений покрив)	+6,79	+0,68	-2,50	-0,25
(К) кущі	+0,12	+0,01	-0,39	-0,04
(Л) ліси	+8,91	+0,89	-4,53	-0,45
(П) пустощі	-0,33	-0,03	+0,23	+0,02
(У) урбанізовані землі	-2,44	-0,24	+0,29	+0,03

Дослідження трансформацій ландшафтів у межах водозбірного басейну річки Турія дозволило отримати важливі статистичні дані, що свідчать про суттєві зміни у просторі та структурі ландшафтів досліджуваного регіону. Аналіз і практичне застосування отриманих результатів можуть сприяти оптимізації використання природних ресурсів та забезпеченню їх раціонального управління.

Для більш наочного відображення ландшафтних змін було сформовано матриці (Табл. 7, 8, 9) та Senkey-діаграми переходів (Рис. 4, 5, 6).

Таблиця 7

Матриця переходів класів ландшафтів на основі результатів контрольованої класифікації в GEE водозбору р. Турія між 2000 та 2010 роком відповідно

	0	1	2	3	4	5	6	7
0	10539	1020	1490	520	575	9299	5	168
1	439	943	2587	771	1946	22061	5	39
2	1418	12948	527035	313512	146750	273686	1875	52285
3	430	4756	108728	172876	44641	61491	218	4809
4	306	4179	98512	61985	35707	70781	130	1851
5	3782	11530	59544	36936	31838	1013813	214	2938
6	33	60	8614	2699	1544	392	83	834
7	236	1870	77523	39348	14681	11699	535	21157

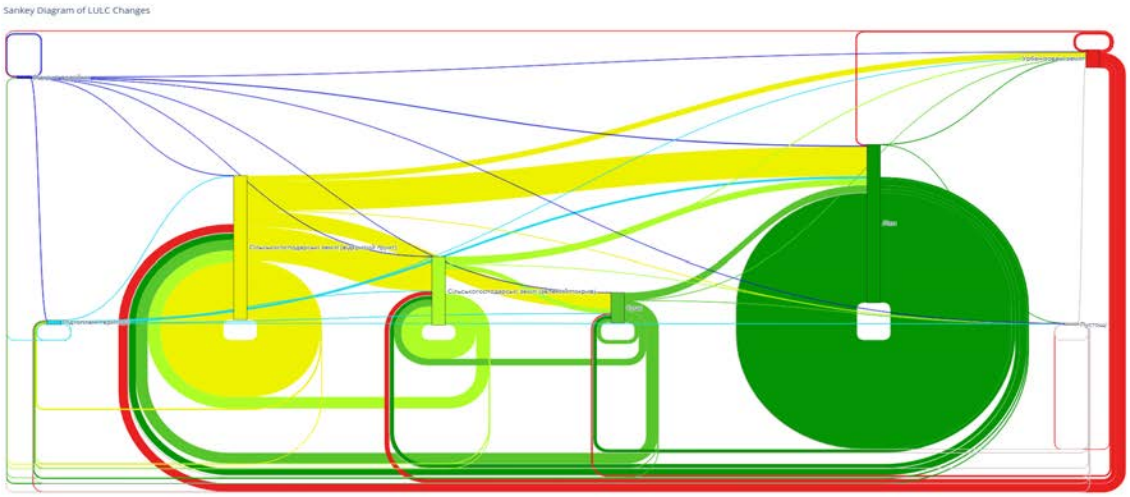


Рис. 4. Sankey-діаграма переходів класів ландшафтів на основі результатів контрольованої класифікації в GEE водозбору р. Турія між 2000 та 2010 роком відповідно

Таблиця 8

Матриця переходів класів ландшафтів на основі результатів контрольованої класифікації в GEE водозбору р. Турія між 2010 та 2020 роком відповідно

	0	1	2	3	4	5	6	7
0	9662	63	1695	563	282	4342	27	549
1	739	263	9891	4328	3014	17697	106	1268
2	1681	7109	482551	145520	83056	116537	5589	41990
3	2146	12485	287973	227659	49877	31757	2135	14615
4	822	4057	120407	52860	34369	56374	1049	7744
5	8188	9852	153999	102676	91925	1081358	1664	13560
6	5	32	1994	223	47	104	133	527
7	73	270	56966	9853	1723	1169	309	13718

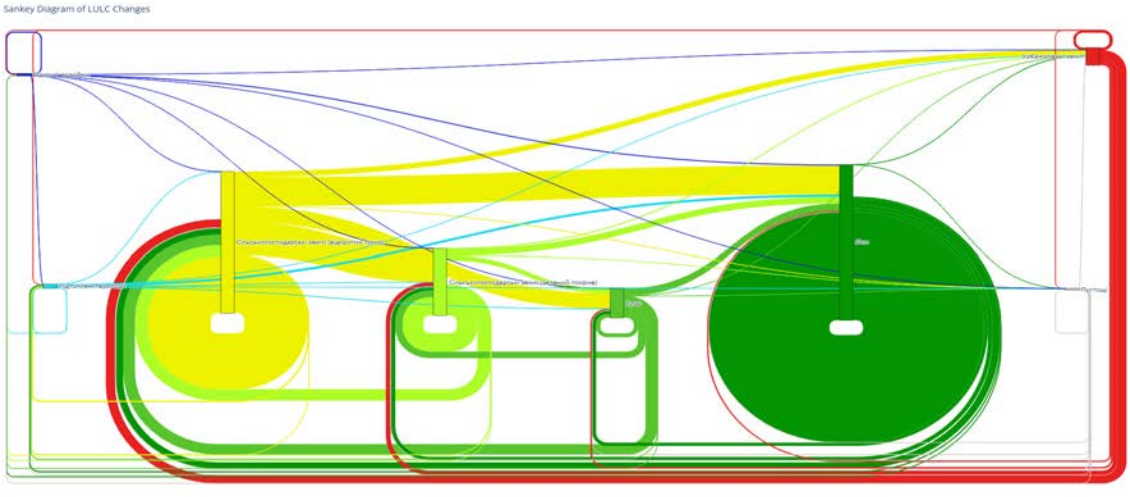


Рис. 5. Sankey-діаграма переходів класів ландшафтів на основі результатів контрольованої класифікації в GEE водозбору р. Турія між 2010 та 2020 роком відповідно

Таблиця 9

Матриця переходів класів ландшафтів на основі результатів контрольованої класифікації в GEE водозбору р. Турія між 2000 та 2020 роком відповідно

	0	1	2	3	4	5	6	7
0	11600	186	2538	1537	903	5892	19	941
1	559	129	2311	1919	2091	21274	25	483
2	4055	17170	650737	262295	126369	214527	6452	47904
3	1399	8003	152134	131947	38895	53744	1335	10492
4	750	3389	94585	49522	34068	83187	875	7075
5	4581	4258	105014	66392	52878	917207	1265	9000
6	19	33	9966	1908	556	940	237	600
7	353	963	98191	28162	8533	12567	804	17476

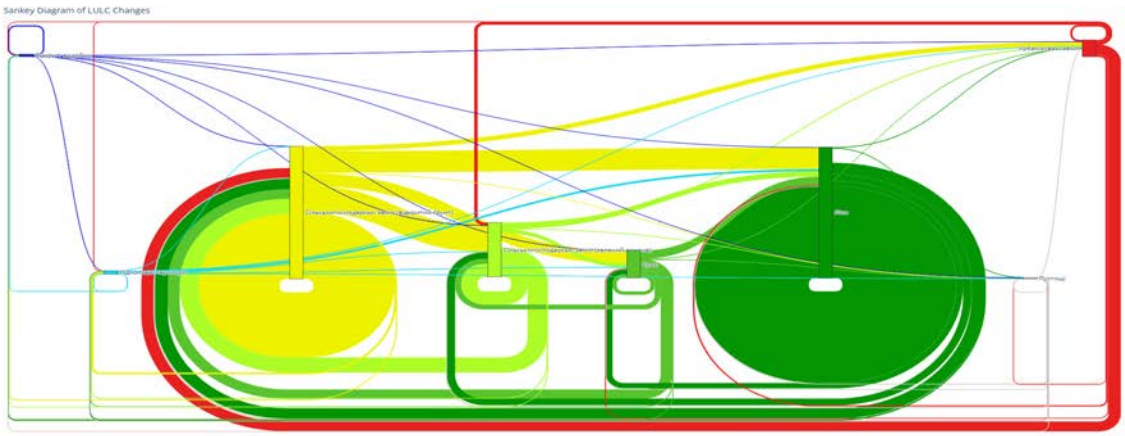


Рис. 6. Sankey-діаграма переходів класів ландшафтів на основі результатів контрольованої класифікації в GEE водозбору р. Турія між 2000 та 2020 роком відповідно

Комплексне дослідження статистичних даних щодо змін земної поверхні у досліджуваному регіоні на різні часові проміжки дозволяє оцінити масштаби впливу людської діяльності на природні екосистеми. Просторові трансформації ландшафтів можуть бути зумовлені як кліматичними так і антропогенним чинниками. Отримані дані моніторингу є цінною основою для розробки стратегій раціонального природокористування, контролю за змінами довкілля та впровадження ефективних заходів з охорони природи. Це особливо важливо для території водозбірного басейну річки Турія оскільки раніше такого роду дослідження регіону не проводились, а також для забезпечення екологічної рівноваги Волинської області в цілому.

Рекомендації подальшого дослідження. Подальші дослідження в цьому напрямку сприятимуть глибшому розумінню взаємозв'язку між природними процесами та людською діяльністю, що, своєю чергою, дозволить запобігти можливим екологічним проблемам, пов'язаним із нераціональним використанням природних ресурсів.

Список використаних джерел:

1. Денисюк В., Мельник О. Дистанційний моніторинг змін землекористувань у межах водозбору річки Стохід. Географічний часопис Волинського національного університету імені Лесі Українки. 2024. № 4. С. 138–150.

2. Загальна гідрологія /За ред. В.К. Хільчевського і О.Г. Ободовського: Підручник. – 2-ге вид., доповнене. Київ: ВПЦ «Київський університет», 2008. 399 с. 3.

3. Паньків З.П. Земельні ресурси: Навч. посібник. – Видавн. центр ЛНУ імені І. Франка. Львів, 2008. 272 с.

4. Перелік угідь згідно з Класифікацією видів земельних угідь (КВЗУ) URL:https://shels.com.ua/document.htm?doc=471. (дата звернення: 24.01.2025).

5. Турія (притока Прип'яті) В Вікіпедія. URL:https://https://uk.wikipedia.org/wiki/%D0%A2%D1%83%D1%80%D1%96%D1%8F_(%D0%BF%D1%80%D0%B8%D1%82%D0%BE%D0%BA%D0%B0_%D0%9F%D1%80%D0%B8%D0%BF%27%D1%8F%D1%82%D1%96). (дата звернення: 24.01.2025).

6. Armenteras, D., Rodríguez, N., Sua, S., & Romero, M. (2005). Patterns and causes of deforestation in the Colombian Amazon. Ecological Indicators, 6, 353. https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2005.03.014. (дата звернення: 24.01.2025).

7. Begum, S., Ophra, S. J., Hossain, A., Ferdous, M. T., & Rafid, F. A. (2024). Land Cover Change using GIS and RS Techniques of the Padma River Floodplain in the Three Adjacent Districts in Bangladesh. Jagannath University Journal of Science, 10(1), 43–54. https://doi.org/10.3329/jnujsci.v10i1.71249. (дата звернення: 24.01.2025).

8. Bradshaw, J., Hoelscher, P., & Richardson, D. (2007). An Index of Child Well-Being in the European Union. Social Indicators Research, 80. https://doi.org/10.1007/s11205-006-9024-z. (дата звернення: 24.01.2025).

9. Burmeister, C., & Schanze, J. (2016). Retrospective Analysis of Systematic Land-Cover Change in the Upper Western Bug River Catchment, Ukraine. ACC Journal, 22(1), 7–18. https://doi.org/10.15240/tul/004/2016-1-001. (дата звернення: 24.01.2025).

10. Debnath, J., Das (Pan), N., Ahmed, I., & Bhowmik, M. (2017). Channel migration and its impact on land use/land cover using RS and GIS: A study on Khowai River of Tripura, North-East India. The Egyptian Journal of Remote Sensing and Space Science, 20(2), 197–210. https://doi.org/10.1016/j.ejrs.2017.01.009. (дата звернення: 24.01.2025).

11. Dwivedi, R.S., Sreenivas, K., & Ramana, K.V. (2005). Cover: Land-use/land-cover change analysis in part of Ethiopia using Landsat Thematic Mapper data. International Journal of Remote Sensing, 26(7), 1285–1287. https://doi.org/10.1080/01431160512331337763. (дата звернення: 24.01.2025).

12. Ee.Classifier.confusionMatrix | Google Earth Engine | Google for Developers. https://developers.google.com/earth-engine/apidocs/ee-classifier-confusionmatrix. (дата звернення: 24.01.2025).

13. Fan, F., Weng, Q., & Wang, Y. (2007). Land Use and Land Cover Change in Guangzhou, China, from 1998 to 2003, Based on Landsat TM /ETM+ Imagery. Sensors, 7(7), 1323–1342. https://doi.org/10.3390/s7071323. (дата звернення: 24.01.2025).

14. Geist, H.J., & Lambin, E.F. (2002). Proximate Causes and Underlying Driving Forces of Tropical Deforestation. BioScience, 52(2), 143. https://doi.org/10.1641/0006-3568(2002)052[0143:PCAUDF]2.0.CO;2. (дата звернення: 24.01.2025).

15. Geist, H., McConnell, W., Lambin, E. F., Moran, E., Alves, D., & Rudel, T. (2006). Causes and Trajectories of Land-Use/Cover Change. В E.F. Lambin & H. Geist (Ред.), Land-Use and Land-Cover Change (с. 41–70). Springer Berlin Heidelberg. https://doi.org/10.1007/3-540-32202-7_3. (дата звернення: 24.01.2025).

16. Google Earth Engine. URL:https://earthengine.google.com.. (дата звернення: 24.01.2025).

17. Gordon, A.D., Breiman, L., Friedman, J. H., Olshen, R.A., & Stone, C.J. (1984). Classification and Regression Trees. Biometrics, 40(3), 874. https://doi.org/10.2307/2530946. (дата звернення: 24.01.2025).

18. Griffiths, P. (2013). Utilizing the depth of the Landsat archive to reconstruct recent land change in the Carpathian ecoregion [doctoral Thesis, Humboldt-Universität zu Berlin, Mathematisch-Naturwissenschaftliche Fakultät II]. https://doi.org/10.18452/16827. (дата звернення: 24.01.2025).

19. Krasovskyi, H.Ya., Shumeiko, V.O., Klochko, T.O., & Sementsova, N.I. (2018). Information technologies for monitoring the environmental consequences of amber production in Ukraine. Ecological Safety and Balanced Use of Resources, 2(18), 107–117. https://doi.org/10.31471/2415-3184-2018-2(18)-107-117 (дата звернення: 24.01.2025).

20. Lambin, E.F., & Geist, H. (Ред.). (2006). Land-Use and Land-Cover Change: Local Processes and Global Impacts. Springer. https://doi.org/10.1007/3-540-32202-7. (дата звернення: 24.01.2025).

21. Lambin, E.F., Turner, B.L., Geist, H.J., Agbola, S.B., Angelsen, A., Bruce, J. W., Coomes, O.T., Dirzo, R., Fischer, G., Folke, C., George, P.S., Homewood, K., Imbernon, J., Leemans, R., Li, X., Moran, E.F., Mortimore, M., Ramakrishnan, P.S., Richards, J.F., … Xu, J. (2001). The causes of land-use and land-cover change: Moving beyond the myths. Global Environmental Change, 11(4), 261–269. https://doi.org/10.1016/S0959-3780(01)00007-3. (дата звернення: 24.01.2025).

22. Manandhar, R., Odeh, I., & Ancev, T. (2009). Improving the Accuracy of Land Use and Land Cover Classification of Landsat Data Using Post-Classification Enhancement. Remote Sensing, 1. https://doi.org/10.3390/rs1030330. (дата звернення: 24.01.2025).

23. Manandhar, R., Odeh, I.O.A., & Pontius, R.G. (2010). Analysis of twenty years of categorical land transitions in the Lower Hunter of New South Wales, Australia. Agriculture, Ecosystems & Environment, 135(4), 336–346. https://doi.org/10.1016/j.agee.2009.10.016. (дата звернення: 24.01.2025).

24. Mahmood, R., Pielke Sr, R., Loveland, T., & Mcalpine, C. (2015). Climate Relevant Land Use and Land Cover Change Policies. Bulletin of the American Meteorological Society, 97, 150421134152009. https://doi.org/10.1175/BAMS-D-14-00221.1 (дата звернення: 24.01.2025).

25. McLachlan, & J., G. (1992). Discriminant analysis and statistical pattern recognition. (p. 129–167) https://doi.org/10.1002/0471725293. (дата звернення: 24.01.2025).

26. Nations, F. and A.O. of the U., & Programme, U.N.E. (1999). The Future of Our Land: Facing the Challenge. https://wedocs.unep.org/xmlui/handle/20.500.11822/32745. (дата звернення: 24.01.2025).

27. Pluntke, T., Pavlik, D., & Bernhofer, C. (2014). Reducing uncertainty in hydrological modelling in a data sparse region. Environmental Earth Sciences, 72(12), 4801–4816. https://doi.org/10.1007/s12665-014-3252-3. (дата звернення: 24.01.2025).

28. Pontius, R.G., Shusas, E., & McEachern, M. (2004). Detecting important categorical land changes while accounting for persistence. Agriculture, Ecosystems & Environment, 101(2–3), 251–268. https://doi.org/10.1016/j.agee.2003.09.008. (дата звернення: 24.01.2025).

29. Schanze, J., Trümper, J., Burmeister, C., Pavlik, D., & Kruhlov, I. (2012). A methodology for dealing with regional change in integrated water resources management. Environmental Earth Sciences, 65(5), 1405–1414. https://doi.org/10.1007/s12665-011-1311-6. (дата звернення: 24.01.2025).

30. Seegert, J., Berendonk, T.U., Bernhofer, C., Blumensaat, F., Dombrowsky, I., Fuehner, C., Grundmann, J., Hagemann, N., Kalbacher, T., Kopinke, F.-D., Liedl, R., Leidel, M., Lorz, C., Makeschin, F., Markova, D., Niemann, S., Röstel, G., Schanze, J., Scheifhacken, N., … Krebs, P. (2014). Integrated water resources management under different hydrological, climatic and socio-economic conditions: Results and lessons learned from a transdisciplinary IWRM project IWAS. Environmental Earth Sciences, 72(12), 4677–4687. https://doi.org/10.1007/s12665-014-3877-2. (дата звернення: 24.01.2025).

31. Silva Leal, R.S.L., Almeida, N.V., & Silva, M.D.D. (2023). Impacts of changes in land cover and land use on the hydrological cycle of the Tapuio River sub-basin/AL. Journal of Hyperspectral Remote Sensing, 13(4), 497–511. https://doi.org/10.29150/jhrs.v13.4.p497-511. (дата звернення: 24.01.2025).

32. Sleeter, R., Sleeter, B.M., Williams, B., Hogan, D., Hawbaker, T., & Zhu, Z. (2017). A carbon balance model for the great dismal swamp ecosystem. Carbon Balance and Management, 12(1), 2. https://doi.org/10.1186/s13021-017-0070-4. (дата звернення: 24.01.2025).

33. Takada, T., Miyamoto, A., & Hasegawa, S.F. (2010). Derivation of a yearly transition probability matrix for land-use dynamics and its applications. Landscape Ecology, 25(4), 561–572. https://doi.org/10.1007/s10980-009-9433-x. (дата звернення: 24.01.2025).

34. Turner, M.G., & Gardner, R.H. (2015). Landscape Ecology in Theory and Practice: Pattern and Process. Springer. https://doi.org/10.1007/978-1-4939-2794-4. (дата зв.: 24.01.2025).

35. Uhl, A., Melnyk, O., Melnyk, Y., Manko, P., Brunn, A., & Fesyuk, V. (2024). Remote sensing monitoring of changes in forest cover in the Volyn region: A cross section for the

first two decades of the 21st century. Visnyk of V. N. Karazin Kharkiv National University, Series «Geology. Geography. Ecology», 60, Article 60. https://doi.org/10.26565/2410-7360-2024-60-19. (дата звернення: 24.01.2025).

36. Winterbottom, S.J. (2000). Medium and short-term channel planform changes on the Rivers Tay and Tummel, Scotland. Geomorphology, 34(3–4), 195–208. https://doi.org/10.1016/S0169-555X(00)00007-6. (дата звернення: 24.01.2025).

Denysiuk Viktor, PhD, Associate Professor **Melnyk Oleksandr,**
Lesya Ukrainka Volyn National University

THE REMOTE MONITORING OF CHANGES IN LAND USE WITHIN THE BOUNDARIES OF THE TURIIA RIVER CATCHMENT

The study presents a comprehensive analysis of changes in wetland landscapes within the Turia River basin in Volyn, focusing on their impact on the sustainable development of the region and ecological balance. The use of innovative GIS approaches and remote sensing technologies not only allowed for the mapping of the structure and spatial distribution of landscapes but also facilitated the construction of transition matrices between different landscape types, revealing the patterns of their dynamics. To visualize these processes, transition matrices were calculated and Sankey diagrams were created, clearly demonstrating transitions between various landscape classes, contributing to a better understanding of the scale and nature of the changes. Special attention was paid to the environmental challenges associated with landscape changes, particularly the reduction of natural ecosystem areas that play a crucial role in maintaining biodiversity and water balance. The proposed adaptive strategies for landscape management include measures for conserving natural resources, restoring degraded areas, and monitoring the impact of anthropogenic factors. Thanks to the high-precision classification performed in the Google Earth Engine environment using the SmileCART algorithm, an analysis accuracy of 99.72% was achieved, which is a significant accomplishment for modern environmental research. The results provide new opportunities for effective monitoring, enabling detailed analysis of landscape dynamics over time and space. This study also highlights the importance of integrating innovative tools to ensure the sustainable development of the region and minimize the negative impacts of climate change on natural complexes.

Keywords: geoinformation systems; remote sensing of the Earth; Google Earth Engine; QGIS; Sankey Diagram; land cover; catchment basin; Turiia river.

REFERENCES:

1. Denysiuk V., Melnyk O. The remote monitoring of changes in land use within the boundaries of the Stokhid river catchment. Geographical Journal of the Lesya Ukrainka Volyn National University. 2024. No. 4. P. 138–150. {in Ukrainian}.

2. Khilchevskyi V.K., Obodovskyi O.H. (ed.) (2008) General hydrology: Textbook – 2nd edition., supplemented. Kyiv University Publishing and Printing Center. Kyiv, 399 p. - ISBN 978-966-439-016-0. {in Ukrainian}.

3. Pankiv Z.\P. (2008). Land resources: Study guide. – Ivan Franko LNU Publishing Center. Lviv, 272 p. {inUkrainian}.

4. List of lands according to the Classification of Types of Land (CTL). https://shels.com.ua/document.htm?doc=471. {in Ukrainian}. (date of access: 24.01.2025).

5. Turiia (tributary of the Prypiat) In Wikipedia. https://uk.wikipedia.org/wiki/%D0%A2%D1%83%D1%80%D1%96%D1%8F_(%D0%BF%D1%80%D0%B8%D1%82%D0%BE%D0%BA%D0%B0_%D0%9F%D1%80%D0%B8%D0%BF%27%D1%8F%D1%82%D1%96). {in Ukrainian}. (date of access: 24.01.2025).

6. Armenteras, D., Rodríguez, N., Sua, S., & Romero, M. (2005). Patterns and causes of deforestation in the Colombian Amazon. Ecological Indicators, 6, 353. https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2005.03.014. {in English} (date of access: 24.01.2025).

7. Begum, S., Ophra, S.J., Hossain, A., Ferdous, M.T., & Rafid, F.A. (2024). Land Cover Change using GIS and RS Techniques of the Padma River Floodplain in the Three Adjacent Districts in Bangladesh. Jagannath University Journal of Science, 10(1), 43–54. https://doi.org/10.3329/jnujsci.v10i1.71249. {in English} (date of access: 24.01.2025).

8. Bradshaw, J., Hoelscher, P., & Richardson, D. (2007). An Index of Child Well-Being in the European Union. Social Indicators Research, 80. https://doi.org/10.1007/s11205-006-9024-z. {in English} (date of access: 24.01.2025).

9. Burmeister, C., & Schanze, J. (2016). Retrospective Analysis of Systematic Land-Cover Change in the Upper Western Bug River Catchment, Ukraine. ACC Journal, 22(1), 7–18. https://doi.org/10.15240/tul/004/2016-1-001. {in English} (date of access: 24.01.2025).

10. Debnath, J., Das (Pan), N., Ahmed, I., & Bhowmik, M. (2017). Channel migration and its impact on land use/land cover using RS and GIS: A study on Khowai River of Tripura, North-East India. The Egyptian Journal of Remote Sensing and Space Science, 20(2), 197–210. https://doi.org/10.1016/j.ejrs.2017.01.009. {in English} (date of access: 24.01.2025).

11. Dwivedi, R.S., Sreenivas, K., & Ramana, K.V. (2005). Cover: Land-use/land-cover change analysis in part of Ethiopia using Landsat Thematic Mapper data. International Journal of Remote Sensing, 26(7), 1285–1287. https://doi.org/10.1080/01431160512331337763. {in English} (date of access: 24.01.2025).

12. Ee.Classifier.confusionMatrix | Google Earth Engine | Google for Developers. URL:https://developers.google.com/earth-engine/apidocs/ee-classifier-confusionmatrix. {in English} (date of access: 24.01.2025).

13. Fan, F., Weng, Q., & Wang, Y. (2007). Land Use and Land Cover Change in Guangzhou, China, from 1998 to 2003, Based on Landsat TM /ETM+ Imagery. Sensors, 7(7), 1323–1342. https://doi.org/10.3390/s7071323. {in English} (date of access: 24.01.2025).

14. Geist, H.J., & Lambin, E.\F. (2002). Proximate Causes and Underlying Driving Forces of Tropical Deforestation. BioScience, 52(2), 143. https://doi.org/10.1641/0006-3568(2002)052[0143:PCAUDF]2.0.CO;2. {in English} (date of access: 24.01.2025).

15. Geist, H., McConnell, W., Lambin, E.F., Moran, E., Alves, D., & Rudel, T. (2006). Causes and Trajectories of Land-Use/Cover Change. BE.F. Lambin & H. Geist (Ред.), Land-Use and Land-Cover Change (с. 41–70). Springer Berlin Heidelberg. https://doi.org/10.1007/3-540-32202-7_3. {in English} (date of access: 24.01.2025).

16. Google Earth Engine. URL:https://earthengine.google.com. (date of access: 24.01.2025).

17. Gordon, A.D., Breiman, L., Friedman, J.H., Olshen, R.A., & Stone, C.J. (1984). Classification and Regression Trees. Biometrics, 40(3), 874. https://doi.org/10.2307/2530946. {in English} (date of access: 24.01.2025).

18. Griffiths, P. (2013). Utilizing the depth of the Landsat archive to reconstruct recent land change in the Carpathian ecoregion [doctoral Thesis, Humboldt-Universität zu Berlin, Mathematisch-Naturwissenschaftliche Fakultät II]. https://doi.org/10.18452/16827. {in English} (date of access: 24.01.2025).

19. Krasovskyi, H.Ya., Shumeiko, V.O., Klochko, T.O., & Sementsova, N.I. (2018). Information technologies for monitoring the environmental consequences of amber production in Ukraine. Ecological Safety and Balanced Use of Resources, 2(18), 107–117. https://doi.org/10.31471/2415-3184-2018-2(18)-107-117. {in English} (date of access: 24.01.2025).

20. Lambin, E.F., & Geist, H. (Ред.). (2006). Land-Use and Land-Cover Change: Local Processes and Global Impacts. Springer. https://doi.org/10.1007/3-540-32202-7. {in English} (date of access: 24.01.2025).

21. Lambin, E.F., Turner, B.L., Geist, H.J., Agbola, S.B., Angelsen, A., Bruce, J.W., Coomes, O.T., Dirzo, R., Fischer, G., Folke, C., George, P.S., Homewood, K., Imbernon, J., Leemans, R., Li, X., Moran, E.F., Mortimore, M., Ramakrishnan, P.S., Richards, J.F., … Xu, J. (2001). The causes of land-use and land-cover change: Moving beyond the myths. Global Environmental Change, 11(4), 261–269. https://doi.org/10.1016/S0959-3780(01)00007-3. {in English} (date of access: 24.01.2025).

22. Manandhar, R., Odeh, I., & Ancev, T. (2009). Improving the Accuracy of Land Use and Land Cover Classification of Landsat Data Using Post-Classification Enhancement. Remote Sensing, 1. https://doi.org/10.3390/rs1030330. {in English} (date of access: 24.01.2025).

23. Manandhar, R., Odeh, I.O. A., & Pontius, R.G. (2010). Analysis of twenty years of categorical land transitions in the Lower Hunter of New South Wales, Australia. Agriculture, Ecosystems & Environment, 135(4), 336–346. https://doi.org/10.1016/j.agee.2009.10.016 {in English} (date of access: 24.01.2025).

24. Mahmood, R., Pielke Sr, R., Loveland, T., & Mcalpine, C. (2015). Climate Relevant Land Use and Land Cover Change Policies. Bulletin of the American Meteorological Society, 97, 150421134152009. https://doi.org/10.1175/BAMS-D-14-00221.1. {in English} (date of access: 24.01.2025).

25. McLachlan, & J., G. (1992). Discriminant analysis and statistical pattern recognition. (p. 129–167) https://doi.org/10.1002/0471725293. {in English} (date of access: 24.01.2025).

26. Nations, F. and A.O. of the U., & Programme, U.N.E. (1999). The Future of Our Land: Facing the Challenge. https://wedocs.unep.org/xmlui/handle/20.500.11822/32745. {in English} (date of access: 24.01.2025).

27. Pluntke, T., Pavlik, D., & Bernhofer, C. (2014). Reducing uncertainty in hydrological modelling in a data sparse region. Environmental Earth Sciences, 72(12), 4801–4816. https://doi.org/10.1007/s12665-014-3252-3. {in English} (date of access: 24.01.2025).

28. Pontius, R.G., Shusas, E., & McEachern, M. (2004). Detecting important categorical land changes while accounting for persistence. Agriculture, Ecosystems & Environment, 101(2–3), 251–268. https://doi.org/10.1016/j.agee.2003.09.008. {in English} (date of access: 24.01.2025).

29. Schanze, J., Trümper, J., Burmeister, C., Pavlik, D., & Kruhlov, I. (2012). A methodology for dealing with regional change in integrated water resources management. Environmental Earth Sciences, 65(5), 1405–1414.

https://doi.org/10.1007/s12665-011-1311-6. {in English} (date of access: 24.01.2025).

30. Seegert, J., Berendonk, T.U., Bernhofer, C., Blumensaat, F., Dombrowsky, I., Fuehner, C., Grundmann, J., Hagemann, N., Kalbacher, T., Kopinke, F.-D., Liedl, R., Leidel, M., Lorz, C., Makeschin, F., Markova, D., Niemann, S., Röstel, G., Schanze, J., Scheifhacken, N., … Krebs, P. (2014). Integrated water resources management under different hydrological, climatic and socio-economic conditions: Results and lessons learned from a transdisciplinary IWRM project IWAS. Environmental Earth Sciences, 72(12), 4677–4687. https://doi.org/10.1007/s12665-014-3877-2. {in English} (date of access: 24.01.2025).

31. Silva Leal, R.S.L., Almeida, N. V., & Silva, M.D.D. (2023). Impacts of changes in land cover and land use on the hydrological cycle of the Tapuio River sub-basin/AL. Journal of Hyperspectral Remote Sensing, 13(4), 497–511. https://doi.org/10.29150/jhrs.v13.4.p497-511. {in English} (date of access: 24.01.2025).

32. Sleeter, R., Sleeter, B.M., Williams, B., Hogan, D., Hawbaker, T., & Zhu, Z. (2017). A carbon balance model for the great dismal swamp ecosystem. Carbon Balance and Management, 12(1), 2. https://doi.org/10.1186/s13021-017-0070-4. {in English} (date of access: 24.01.2025).

33. Takada, T., Miyamoto, A., & Hasegawa, S.F. (2010). Derivation of a yearly transition probability matrix for land-use dynamics and its applications. Landscape Ecology, 25(4), 561–572. https://doi.org/10.1007/s10980-009-9433-x. {in English} (date of access: 24.01.2025).

34. Turner, M.G., & Gardner, R. H. (2015). Landscape Ecology in Theory and Practice: Pattern and Process. Springer. https://doi.org/10.1007/978-1-4939-2794-4. {in English} (date of access: 24.01.2025).

35. Uhl, A., Melnyk, O., Melnyk, Y., Manko, P., Brunn, A., & Fesyuk, V. (2024). Remote sensing monitoring of changes in forest cover in the Volyn region: A cross section for the first two decades of the 21st century. Visnyk of V. N. Karazin Kharkiv National University, Series «Geology. Geography. Ecology», 60, Article 60. https://doi.org/10.26565/2410-7360-2024-60-19. {in English} (date of access: 24.01.2025).

36. Winterbottom, S. J. (2000). Medium and short-term channel planform changes on the Rivers Tay and Tummel, Scotland. Geomorphology, 34(3–4), 195–208. https://doi.org/10.1016/S0169-555X(00)00007-6. {in English} (date of access: 24.01.2025).

DOI: 10.32347/2786-7269.2025.11.597-610
УДК 528.9+629.7.036.5

к.т.н., доцент **Дорожко Є.В.,**
evgeniy.dorozhko@gmail.com, ORCID: 0000-0003-2894-2131,
Харківський національний автомобільно-дорожній університет,
к.г.н., доцент **Ситник О.І.,**
sytnykuman@gmail.com, ORCID: 0000-0002-8120-7032,
Уманський державний педагогічний університет імені Павла Тичини,
Кравчук М.О.,
myroslav.o.kravchuk@lpnu.ua, ORCID: 0009-0000-8743-8715,
Національний університет "Львівська політехніка"

ВИКОРИСТАННЯ БЕЗПІЛОТНИХ ЛІТАЛЬНИХ АПАРАТІВ (БПЛА) ДЛЯ ВИСОКОТОЧНОГО ГЕОДЕЗИЧНОГО ЗНІМАННЯ

Проведено комплексний аналіз ефективності використання безпілотних літальних апаратів для точного геодезичного знімання, що стає все більш важливим у сучасних методах збору та обробки геопросторових даних. Встановлено, що інтеграція глобальних систем позиціонування та фотограмметричних камер у конструкцію цих апаратів дозволяє створювати деталізовані тривимірні моделі рельєфу і тематичні карти з високою роздільною здатністю, що мають значне практичне застосування в областях геодезичного забезпечення земельних кадастрів, ландшафтного планування, екологічного забезпечення та районування. В межах статті виокремлено основні відмінності між класичними методами геодезії та новітніми підходами, що базуються на використанні безпілотників, зокрема щодо точності, швидкості збору даних, мобільності та витрат. Відзначено, що автономність безпілотників дозволяє здійснювати знімання великих територій у короткі терміни та мінімізувати необхідність фізичної присутності операторів, що критично важливо для роботи в труднодоступних зонах. Також зазначено, що створення ортофотопланів за допомогою БПЛА забезпечує високий рівень деталізації та точності, перевищуючи результати, які можна отримати з допомогою традиційних методів. Обґрунтовано необхідність використання БПЛА для вирішення завдань моніторингу стану земельних ресурсів, оцінки ерозійних процесів, визначення меж сільськогосподарських угідь та управління водними потоками. Був детально сформований методичний підхід щодо проведення аналізу морфометричних характеристик рельєфу, який включає оцінку ухилів, виявлення зон перезволоження та визначення напрямків водних потоків, базуючись на даних, отриманих за допомогою БПЛА. Запропоновано регулярне

використання технологій БПЛА для оновлення кадастрових записів, моніторингу територій та виявлення змін у землекористуванні, що дозволяє значно покращити управління природними ресурсами та планування використання земель. Зроблено висновок, що використання БПЛА є економічно вигідним, технічно ефективним та перспективним рішенням для виконання геодезичних завдань різної складності.

Ключові слова: безпілотні літальні апарати; високоточне геодезичне знімання; цифрові моделі рельєфу; аерофотознімання; ортофотоплани; моніторинг земельних ресурсів.

Постановка проблеми. Актуальність дослідження обумовлена зростаючим впровадженням безпілотних літальних апаратів (БПЛА) в поточних методиках геодезичних досліджень та картографуванні, де в останні роки спостерігається значний прогрес технологій БПЛА, що дозволяє здійснювати детальні геодезичні знімання з високою продуктивністю та на широких масштабах, що раніше було недосяжним для класичних методів. Саме така можливість набуває особливого значення в умовах глобальних змін, необхідності екологічного моніторингу, розвитку інфраструктурних проєктів та реалізації завдань землеустрою. Безпілотні апарати пропонують значні переваги, як-от здатність здійснювати знімання територій, до яких важко дістатися або які характеризуються підвищеною небезпекою, забезпечують можливість оперативного оновлення геоданих та сприяють скороченню витрат на проведення геодезичних робіт. В умовах зростаючого попиту на точні геодані для потреб господарського планування, аграрного господарства, лісового менеджменту та управління водними ресурсами, БПЛА органічно стали незамінним інструментом і поточне дослідження акцентуватиме наукову увагу на розробці нових підходів та алгоритмів для обробки зібраних даних, а також їх інтеграції з існуючими геоінформаційними системами, що має на меті підвищення точності, надійності та доступності геодезичних даних у різних секторах національного господарства.

Аналіз останніх досліджень та публікацій. У наукових дослідженнях Чабанюк В., Поливач К. [1], Мостафа М., Соболь С., Хаттон Дж. [2], підкреслюються переваги БПЛА для точного знімання в топографії, кадастрах, моніторингу земель і екологічному контролі. В свою чергу науковці Гематулін В., Камсінг П., Тортіка П., Сомджіт Т., Фісаннупавонг Т., Джараван Т. [3], вказують, що завдяки високій роздільній здатності знімків дрони забезпечують створення деталізованих 3D моделей місцевості, що важливо для інженерного проєктування та моніторингу територій. Точність БПЛА підтверджується

порівняльними аналізами з традиційними методами, які є більш затратними і потребують більше часу.

Дослідження від Македон В., Валіков В., Федьора С. [4], Байцар Р., Телішевський А. [5], також висвітлюють економічну вигоду використання дронів: вони суттєво знижують витрати на створення ортофотопланів і 3D моделей, що робить ці технології доступними для агросектору, містобудування й управління земельними ресурсами. Крім того, БПЛА ефективні для екологічного моніторингу, зокрема, для виявлення зон ерозії, оцінки стану сільськогосподарських земель і моніторингу деградованих територій.

Далі відзначаємо роботи Сузукі Т., Такахаші Ю., Амано Ю. [6], де вказано, що технічні аспекти застосування дронів включають інтеграцію GNSS із фотограмметричними камерами, що дозволяє отримувати координати з мінімальними похибками, важливими для кадастрових робіт та інфраструктурних проєктів.

Мета і задачі дослідження. Мета статті – оцінка верифікація ефективності застосування безпілотних літальних апаратів для здійснення високоточного геодезичного знімання та створення деталізованих цифрових моделей рельєфу.

Завдання дослідження:

– проаналізувати можливості інтеграції GPS-обладнання та спеціалізованих фотограмметричних камер в конструкції безпілотних літальних апаратів для отримання точних геопросторових даних;

– оцінити ефективність БПЛА при створенні ортофотопланів, тривимірних цифрових моделей рельєфу та тематичних геодезичних карт із високим рівнем деталізації;

– сформувати рекомендації щодо практичного використання БПЛА у сфері кадастру, містобудування та екологічного моніторингу з метою оптимізації геодезичного вимірювання земельних діяльнок.

Матеріали та методи. Метод квантитативного аналізу точності геодезичних даних включає здійснення експериментального аерофотознімання за допомогою безпілотних літальних апаратів на різнопланових територіях, які характеризуються різноманітними географічними та рельєфними особливостями. Використання спеціалізованих фотограмметричних камер та GPS-обладнання дозволяє збирати геодезичні дані, які подальше будуть порівнюватися з результатами, отриманими за допомогою традиційних геодезичних методів, таких як використання теодолітів чи наземних GNSS-спостережень. Проведення детальних вимірювань точності координат, роздільної здатності аерофотознімків, а також точності відтворення рельєфу, нарівні зі статистичним аналізом помилок і розрахунком середньоквадратичних

відхилень, сприятиме об'єктивній оцінці точності та надійності застосування БПЛА у геодезичних роботах.

В межах цього дослідження, проведеного у 2022 році, використання безпілотних літальних апаратів демонструє значні переваги для високоточного геодезичного знімання. Зокрема, аерофотознімання території було здійснено за допомогою камери Sony RX1, встановленої на борту БПЛА моделі Fixar 007. Знімки проводились з висоти 300 метрів, забезпечуючи просторову роздільну здатність 4 см на піксель. Для підвищення точності координат центрів знімків використовувались додаткове обладнання: геодезичний RTK приймач Emlid Reach M2 на борту апарату та ГНСС приймач Emlid Reach RS2, який розміщувався стаціонарно на землі. Дані, зібрані з цих приймачів, об'єднувалися у програмі TOPOSETTER з аерофотознімками, що дозволило зменшити похибку координат з 3-5 м до 7-10 см. Обробка масиву зображень, отриманих під час аерофотознімання, відбулася в Agisoft Metashape Professional, де знімки проходили етапи вирівнювання та оптимізації. Після цього, для кожного знімка було створено карти глибини та сформовано щільну хмару точок, на основі якої проводилась класифікація точок рельєфу.

Результати та їх обґрунтування. У XXI столітті спостерігається стрімкий розвиток технологій, які забезпечують оперативну та економічно доступну обробку геопросторових даних, що стало можливим завдяки інтеграції науково-технічних досягнень із соціально-економічними потребами суспільства. Такий підхід сприяв активному впровадженню в геодезичне виробництво цифрового, лазерного та іншого сучасного обладнання, що значно покращило якість і точність геодезичних робіт. Поряд із традиційними методами аерофотознімання, все більш затребуваними стають технології, що базуються на використанні безпілотних літальних апаратів (БПЛА), які завдяки своїй універсальності та ефективності впевнено займають провідні позиції у сфері геодезії [5]. Особливу популярність отримали надлегкі БПЛА як літакового, так і вертолітного типів, що отримали загальновизнану назву «дрони» та демонструють значний потенціал для застосування у різноманітних сферах діяльності (рис. 1.).

Для виконання високоточного геодезичного знімання активно використовуються сучасні дрони, такі як DJI Phantom 4 TEO PPK GNSS, який став першим у світі серійним квадрокоптером, оснащеним модулем синхронізації. Цей пристрій, відомий з 2015 року під брендом «Topodron», здатний за один світловий день обробляти площу до 2000 га, що більш ніж удвічі перевищує показники конкурентів. Завдяки вбудованому приймачу ДПСС (диференційної глобальної супутникової системи) значно спрощується

процес знімання, оскільки можна відмовитися від використання наземних знаків для прив'язки знімків [8, с. 271].

Рис. 1. Зовнішній вигляд геодезичного дрона (БПЛА) [7]

Проведемо детальний аналіз відмінностей між традиційними методами геодезичних вимірів та методами, заснованими на застосуванні БПЛА (табл. 1).

Таблиця 1.

Відмінності між традиційними методами проведення геодезичних робіт та методами проведення, заснованими на застосуванні БПЛА (розроблено авторами)

№	Найменування параметра порівняння	Традиційні методи	З використанням БПЛА
1	Швидкість та ефективність	Робота з теодолітами та іншими інструментами вимагає значного часу на встановлення та вимірювання.	Автономний збір даних великих площ за короткий час, мінімальна участь оператора.
2	Точність та дозвіл	Залежить від кваліфікації геодезиста та характеристик обладнання, може бути обмеженою на великих відстанях.	Висока точність завдяки GNSS і камерам високої роздільної здатності, точні координати до 2 см.
3	Доступність та мобільність	Обмежена у важкодоступних районах; встановлення обладнання займає час і зусилля.	Висока мобільність, здатність працювати у важкодоступних місцях і долати перешкоди.
4	Витрати	Значні витрати на обладнання, його обслуговування та навчання персоналу.	Початкові інвестиції в дрони, але зниження витрат у довгостроковій перспективі завдяки економії часу.

Порівняння традиційних методів геодезичних вимірів та методів з використанням БПЛА наголошує, що вибір між цими підходами залежить від конкретних вимог проєкту, умов місцевості та цілей дослідження.

Безпілотні літальні апарати (БПЛА) вже отримали статус визначального інструменту у сфері високоточного геодезичного знімання, обробки та аналізу геопросторових даних. На основі представлених візуальних матеріалів, де

відображено ортофотоплан (рис. 2.) з етапом векторизації та поєднання ортофотоплану з топопланом у масштабі 1:2000 (рис. 3.), можна відзначити, що БПЛА забезпечують високу деталізацію та точність збору даних, що раніше досягалося лише за допомогою значно дорожчих та трудомістких методів.

Рис. 2. Ортофотоплан з етапом векторизації [9]

Етап векторизації, і як видно з рис. 2., це джерело чітких контурів об'єктів, які можна використовувати для інженерних, кадастрових та містобудівних завдань. Завдяки високій роздільній здатності знімків, що надаються БПЛА, геодезисти мають можливість швидко та точно здійснювати вимірювання навіть на великих територіях. Поєднання ортофотоплану з топографічним планом (рис. 3.) у масштабі 1:2000 демонструє ефективність використання БПЛА для створення топографічних карт високої деталізації, що формує технічну можливість не лише візуалізації рельєфу місцевості, але й отримання точних тривимірних моделей.

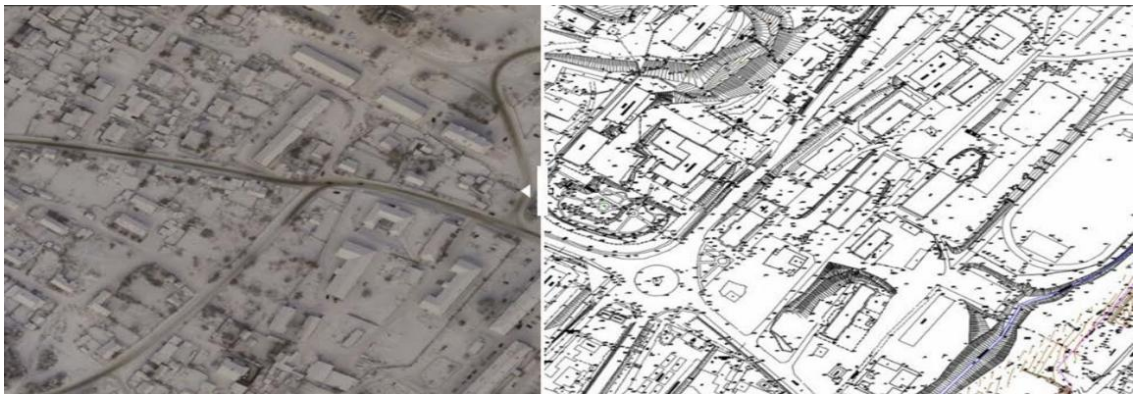


Рис. 3. Ортофотоплан та топоплан у масштабі 1:2000 [9]

Цифрові моделі рельєфу виконані за допомогою БПЛА, слугують надалі цінним фундаментом для виконання високоточних геодезичних робіт, зокрема в оцінці екзогенних процесів, і водночас їх точність прямо залежить від деталізації створених моделей. Використання безпілотних літальних апаратів

дозволяє з високою ефективністю формувати різночасові цифрові моделі рельєфу, що мають виняткову точність та деталізацію. Завдяки таким технологіям було створено високоточні цифрові моделі рельєфу на ключових малих водозборах річки Ташлик, розташованої у Кіровоградській області, що формує підходи до точного моніторингу змін рельєфу, виявлення динаміки екзогенних процесів і підвищення ефективності управління природними ресурсами, що є критично важливим для таких територій (рис. 4.) [10].

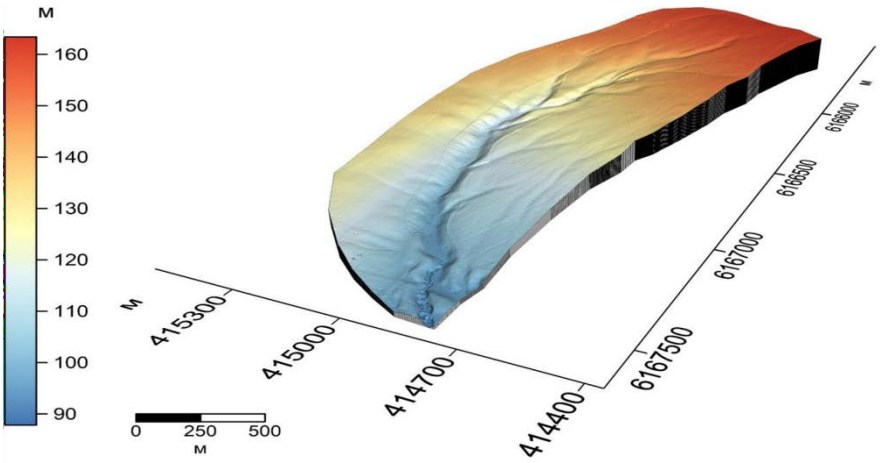


Рис. 4. Цифрова модель рельєфу водозбору балки ділянки р. Ташлик (територія Кіровоградської обл.) (отримано авторами)

На основі тематичних карт, створених із використанням геоданих та знімання, виконаної за допомогою БПЛА, було зібрано значний обсяг детальної інформації про рельєф території фермерського господарства «АСК», що знаходиться в Кіровоградській області, Кропивницькому районі, селище Бокове. Рельєф досліджуваної місцевості характеризується значним діапазоном висот, які варіюються від 295 до 500 м над рівнем моря (рис. 5). Значна частина сільськогосподарських угідь розташована на схилах, орієнтованих у північному, південному та південно-східному напрямках [11].

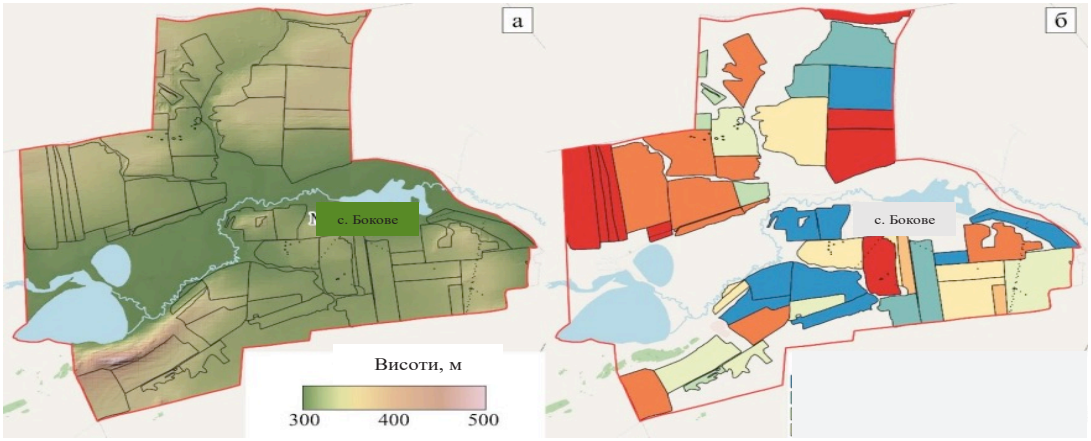


Рис. 5. Тематичні карти по набору даних геодезичних даних: а - карта висот; б – карта переважаючою експозиції полів (отримано авторами)

Знімання за допомогою БПЛА також дозволила ідентифікувати ділянки сільськогосподарських угідь із великими ухилами, що є важливим фактором для планування агротехнічних заходів, а також виявити численні гідрологічні шляхи, які відіграють важливу роль у збереженні водних ресурсів та управлінні земельними угіддями. Використання БПЛА у процесі проведення польових робіт дозволяє значно коригувати та уточнювати дані ЦМР, забезпечуючи вищу точність отриманого геодезичного знімання [12].

Зокрема, створення тематичних карт на основі даних, отриманих за допомогою БПЛА (рис. 6.), дозволило не тільки уточнити розташування та значення ухилів на досліджуваній території, але й виявити нові області, які характеризуються високими показниками ухилів, що раніше могли залишатися непоміченими.

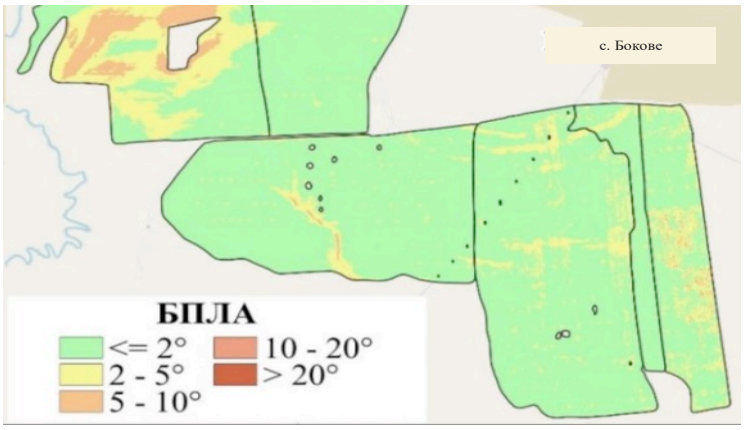


Рис. 6. Фрагменти тематичної геодезичної карти ухилів на прикладі групи полів ФГ «АСК», Кіровоградська обл., Кропивницький р-н, с. Бокове (отримано авторами)

Одним із прикладів ефективного використання БПЛА у геодезичному зніманні є створення тематичних геодезичних карт та поверхневого стоку води (рис. 7), які надають детальну інформацію про напрямки та особливості гідрологічних потоків.

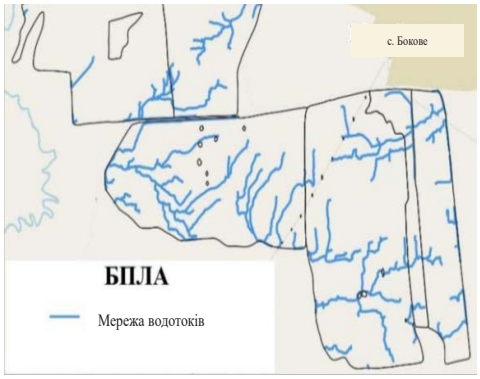


Рис. 7. Фрагменти тематичної геодезичної карти з розподілом шляхів потоків води: карта поверхневого стоку води (отримано авторами)

Тематична карта є особливо корисною для визначення шляхів водних потоків на великих територіях, таких як сільськогосподарські угіддя. При цьому геодезичні карти, побудовані на основі даних, отриманих за допомогою БПЛА, дозволяють значно підвищити точність відображення основних шляхів водних потоків та їх відгалужень, що є важливим для планування водозберігаючих заходів і управління водними ресурсами [13, с. 424].

Висока роздільна здатність аерофотознімків, отриманих за допомогою БПЛА, дозволяє створювати надзвичайно точні тематичні карти, які детально характеризують рельєф досліджуваної території. Проте проведення знімання з використанням БПЛА не завжди можливе для всіх сільськогосподарських угідь через низку чинників, серед яких географічні, економічні та соціальні особливості регіонів. Порівняння морфометричних характеристик рельєфу, отриманих за допомогою даних із ЦМР та знімання з БПЛА, свідчить про високий рівень відповідності між ними, що саме і засвічує доцільність використання цифрових моделей рельєфу як альтернативного методу для отримання необхідних даних у випадках, коли проведення знімання БПЛА є неможливим.

Геодані, отримані з БПЛА, дозволили створити високоточні цифрові моделі рельєфу, а також тематичні карти ухилів для сільськогосподарських угідь, які відрізняються більшою деталізацією порівняно з традиційними методами. Крім того, були побудовані тематичні карти поверхневого стоку та накопичення води, які включають лінійні та майданні об'єкти [14, 15]. Такі карти допомагають візуалізувати напрямки водних потоків, ідентифікувати перезволожені ділянки та визначати області ризику для сільськогосподарської діяльності, що є важливим для раціонального управління водними ресурсами.

Технології, засновані на застосуванні БПЛА, забезпечують отримання високоточних зображень та даних, що дозволяє точно визначати межі земельних ділянок і нерухомості. Це знижує ризик помилок у кадастровій документації та підвищує довіру до якості кадастрових записів. Крім того, безпілотники дозволяють оперативно моніторити зміни на земельних ділянках, що є надзвичайно важливим для своєчасного оновлення кадастрових даних, виявлення незаконного будівництва чи інших змін у використанні землі. Такі можливості сприяють більш ефективному управлінню земельними ресурсами та раціональному геодезичному плануванню територій [16, с. 112].

Використання GPS-обладнання у складі безпілотних літальних апаратів (БПЛА) суттєво покращує процес визначення точних географічних координат окремих ділянок земної поверхні, що дозволяє з високою точністю розраховувати їхні розміри, розташування та геометрію будівель і споруд. Це стало можливим завдяки створенню тривимірних карт місцевості, які

забезпечують детальне відображення рельєфу та інфраструктури. Додатково, оснащення БПЛА спеціалізованим фотографічним обладнанням дозволяє отримувати високоякісні зображення з високою роздільною здатністю, що є важливим для точного аналізу території.

Втім, подальше впровадження БПЛА як універсального інструменту для збору та обробки просторової інформації в кадастровій діяльності стикається з певними труднощами. Для інтеграції подібних технологій у загальну систему геодезичних досліджень потрібна скоординована співпраця між виробниками БПЛА, розробниками фотограмметричних систем і кінцевими користувачами, які експлуатують ці пристрої. Такого характеру співпраця має забезпечити розробку універсальних стандартів, які б гарантували точність, надійність і доступність технології для широкого застосування. Крім того, використання БПЛА надає можливість перевіряти відповідність фактичних меж майна даним, отриманим за допомогою аерофотознімання [17, с. 122-123]. Завдяки таким інструментам можна виявляти ділянки, що зазнають ерозійних процесів, а також землі з недостатнім вмістом поживних речовин. Технології на основі БПЛА забезпечують сучасний підхід до моніторингу та аналізу стану земельних ресурсів, сприяючи раціональному управлінню та геодезичному плануванню територій.

Висновки та рекомендації. У статті було розглянуто підвищення ефективності виробництва геодезичних робіт за допомогою впровадження технологій використання квадрокоптерів. Стаття наголошує на важливості використання безпілотних літальних апаратів для збирання геодезичної інформації, що призводить до суттєвого поліпшення точності та швидкості виконання вимірювань. У процесі проведеного дослідження встановлено, що поєднання GPS-обладнання та спеціалізованих фотограмметричних камер у конструкції безпілотників забезпечує можливість створення детальних тривимірних цифрових моделей рельєфу та тематичних карт із високою роздільною здатністю, які мають велике практичне значення для широкого кола галузей. Встановлено, що автономна робота безпілотників дозволяє охоплювати великі території за короткий час, мінімізуючи потребу в фізичній присутності операторів, що робить їх незамінними для виконання геодезичних кадастрових робіт, планування міської інфраструктури та моніторингу земельних ресурсів.

У дослідженні обґрунтовано, що застосування БПЛА для створення ортофотопланів і тематичних карт забезпечує точну та деталізовану візуалізацію рельєфу, яка має критично важливе значення для оцінки стану інженерних споруд, визначення меж сільськогосподарських земель, моніторингу ерозійних процесів і управління водними ресурсами. Розроблено

методику аналізу морфометричних характеристик рельєфу, що включає дослідження ухилів, водних потоків і зон перезволоження на основі даних, отриманих за допомогою БПЛА. Також запропоновано застосовувати технології БПЛА для систематичного моніторингу стану земельних ресурсів, оновлення кадастрової інформації та виявлення змін у використанні територій, що сприятиме підвищенню ефективності управління природними ресурсами.

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Chabaniuk V., Polyvach K. Critical properties of modern geographic information systems for territory management. Cybernetics and Computer Engineering. 2020. No. 3(201). pp. 5–32.

2. Mostafa M., Sobol S., Hutton J. UAV Multi-Sensor Payloads for High Precision Aerial Surveys. FIG Congress 2022. Volunteering for the future-Geospatial excellence for a better living Warsaw, Poland. 2022. P. 11485.

3. Hematulin W., Kamsing P., Torteeka P., Somjit T., Phisannupawong T., Jarawan T. Trajectory planning for multiple UAVs and hierarchical collision avoidance based on nonlinear Kalman filters. Drones. 2023. № 7. P. 142.

4. Македон В.В., Валіков В.П., Федьора С.С. Удосконалення управління промисловими підприємствами на основі стратегій інноваційного розвитку. Європейський вектор економічного розвитку. 2019. №1. С. 108–125.

5. Baitsar R., Telishevskyi A. Application of unmanned aerial vehicles in construction industry. Energy Engineering and Control Systems. 2024. Vol. 10, No. 1. Pp. 35–42.

6. Suzuki T., Takahashi Y., Amano Y. Precise UAV Position and Attitude Estimation by Multiple GNSS Receivers for 3D Mapping. Waseda University, Japan. URL: http://taroz.net/paper/IONGNSS2016_UAV.pdf.

7. Фоменко В. Технології дронів у геодезії: перспективи та виклики. Наука і техніка сьогодні. 2024. № 9(37). С. 918–930.

8. Браславська О.В., Дець Т.І., Рожі Т.А. Роль геодезії у розвитку дрон-технологій для вимірювання, картографування та моніторингу територій. Геодезія та землевпорядкування. 2023. № 5. С. 268–285.

9. GIS for Land Administration – Esri. URL: www.esri.com/ industries/cadastre/.

10. Могильний С.Г., Хайнус Д.Д., Виноградeнко С.О. Аналіз точності кадастрових зйомок із застосуванням БПЛА. Український журнал прикладної економіки та техніки. 2024. Том 9. № 1. С. 146-151.

11. Maciąg K., Maciąg M., Leń P. Implementation of Unmanned Aerial Vehicles in the Automated Assessment of Geodetic Database Validity. Advances in Science and Technology Research Journal. 2024. Vol. 18, No. 7. Pp. 379–395.

12. Македон В.В., Байлова О.О. Планування і організація впровадження цифрових технологій в діяльність промислових підприємств. Науковий вісник Херсонського

державного університету. Серія «Економічні науки». 2023. Випуск 47. С. 16-26.

13. Панасюк А., Поліщук Д. Обґрунтування вибору оптимального приладу БПЛА для проведення маркшейдерської зйомки. Технічна інженерія. 2024. № 1(93). С. 420–427.

14. Makedon V., Budko O., Salyga K., Myachin V., Fisunenko N. Improving Strategic Planning and Ensuring the Development of Enterprises Based on Relational Strategies. Theoretical And Practical Research In Economic Fields. 2024. No 15(4). pp. 798-811.

15. Доненко П.П., Оболонков Д.Ф. Використання БПЛА у землекористуванні. Збірник наукових праць ДонНАБА. 2024. № 2(33). С. 4.

16. Ситник О., Безлатня Л. Аналіз сучасних методів і засобів для обстеження та виконання великомасштабного геодезичного знімання меліорованих земель. Природничі науки та природокористування. 2024. Вип. 1. С. 112–113.

17. Ямелинець Т. Інформаційне ґрунтознавство: монографія. Львів: ЛНУ ім. Івана Франка, 2022. 352 с.

Candidate of Engineering Sciences, Assistant Professor **Dorozhko Yevhen,**
Kharkiv National Automobile and Highway University,
Candidate of Geographical Science, Associate Professor **Sytnyk Oleksii,**
Pavlo Tychyna Uman State Pedagogical University,
Postgraduate Student **Myroslav Kravchuk,** Lviv Polytechnic National University

USE OF UNMANNED AERIAL VEHICLES (UAVs) FOR HIGH-PRECISION GEODESIC SURVEYING

The article provides a comprehensive analysis of the effectiveness of using unmanned aerial vehicles for precise geodetic surveying, which is becoming increasingly important in modern methods of collecting and processing geospatial data. It is established that the integration of global positioning systems and photogrammetric cameras into the design of these devices allows you to create detailed three-dimensional relief models and thematic maps with high resolution, which have significant practical application in the areas of geodetic support of land cadastres, landscape planning, environmental support and zoning. The article identifies the main differences between classical geodesy methods and modern approaches based on the use of drones, in particular in terms of accuracy, speed of data collection, mobility and costs. It is noted that the autonomy of drones allows you to survey large areas in a short time and minimize the need for the physical presence of operators, which is critically important for working in hard-to-reach areas. It is also noted that the creation of orthophotomaps using UAVs provides a high level of detail and accuracy, exceeding the results that can be obtained using traditional methods. The need to use UAVs to solve the tasks of monitoring the state of land

resources, assessing erosion processes, determining the boundaries of agricultural lands and managing water flows was substantiated. A methodological approach to analyzing the morphometric characteristics of the relief was developed in detail, including assessing slopes, identifying waterlogging zones and determining the directions of water flows, based on data obtained using UAVs. Regular use of UAV technologies for updating cadastral records, monitoring territories and detecting changes in land use is proposed, which allows significantly improving natural resource management and land use planning. It is concluded that the use of UAVs is a cost-effective, technically efficient and promising solution for performing geodetic tasks of varying complexity.

Keywords: unmanned aerial vehicles; high-precision geodetic surveying; digital terrain models; aerial photography; orthophotos; land resources monitoring.

REFERENCES

1. Chabaniuk, V., Polyvach, K. (2020). Critical properties of modern geographic information systems for territory management. Cybernetics and Computer Engineering, No. 3(201), 5–32. DOI:10.15407/kvt201.03.005. {in English}

2. Mostafa, M., Sobol, S., Hutton, J. (2022). UAV Multi-Sensor Payloads for High Precision Aerial Surveys. FIG Congress 2022. Volunteering for the future-Geospatial excellence for a better living Warsaw. Poland. pp. 11485. {in English}

3. Hematulin, W., Kamsing, P., Torteeka, P., Somjit, T., Phisannupawong, T., Jarawan, T. (2023). Trajectory planning for multiple UAVs and hierarchical collision avoidance based on nonlinear Kalman filters. Drones, № 7, 142. {in English}.

4. Makedon, V.V., Valikov, V.P., Fedyora, S.S. (2019). Udoskonalennya upravlinnya promyslovymy pidpryyemstvamy na osnovi stratehiy innovatsiynoho rozvytku [Improving the management of industrial enterprises based on innovative development strategies]. European vector of economic development, No.1. P. 108–125. DOI: 10.32342/2074-5362-2019-1-26-8. {in Ukrainian}.

5. Baitsar, R., & Telishevskyi, A. (2024). Application of unmanned aerial vehicles in construction industry. *Energy Engineering and Control Systems, 10*(1), 35–42. https://doi.org/10.23939/jeecs2024.01.035. {in English}.

6. Suzuki, T., Takahashi, Y., Amano, Y. (2016). Precise UAV Position and Attitude Estimation by Multiple GNSS Receivers for 3D Mapping. Waseda University, Japan. Available at: http://taroz.net/paper/IONGNSS2016_UAV.pdf. {in English}

7. Fomenko, V. (2024). Tekhnolohii droniv u heodezii: perspektyvy ta vyklyky [Drone technologies in geodesy: prospects and challenges]. Nauka i tekhnika sohodni [Science and Technology Today], (9)37, 918–930. {in Ukrainian}

8. Braslavska, O.V., Dets, T.I., & Rozhi, T. A. (2023). Rol heodezii u rozvytku dron-tekhnolohii dlia vymiriuvannia, kartohrafuvannia ta monitorynhu terytorii [The role of geodesy in the development of drone technologies for measurement, mapping, and monitoring of territories]. Heodeziia ta zemlevporiadkuvannia [Geodesy and Land Management], (5), 268–285. https://doi.org/10.32347/2786-7269.2023.5.268-285. {in Ukrainian}

9. GIS for Land Administration – Esri. Retrieved from: www.esri.com/industries/cadastre/. {in English}

10. Mohylnyi, S.H., Khainus, D.D., & Vynohradenko, S. O. (2024). Analiz tochnosti kadastrykh zjomok iz zastosuvanniam BPLA [Analysis of the accuracy of cadastral surveys using UAVs]. Ukrainskyi zhurnal prykladnoi ekonomiky ta tekhniky [Ukrainian Journal of Applied Economics and Technology], 9(1), 146–151. https://doi.org/10.36887/2415-8453-2024-1-24. {in Ukrainian}

11. Maciąg, K., Maciąg, M., Leń, P. (2024). Implementation of Unmanned Aerial Vehicles in the Automated Assessment of Geodetic Database Validity. Advances in Science and Technology Research Journal, 18(7), 379-395. https://doi.org/10.12913/22998624/192264. {in English}.

12. Makedon, V.V., Bailova O.O. (2023). Planning and organizing the implementation of digital technologies in the activities of industrial enterprises. Scientific Bulletin of Kherson State University. Series "Economic Sciences", Issue 47, 16-26. DOI: 10.32999/ksu2307-8030/2023-47-3. {in Ukrainian}.

13. Panasiuk, A., & Polishchuk, D. (2024). Obgruntuvannia vyboru optymalnoho pryladu BPLA dlia provedennia marksheiderskoi zjomky [Justification of the choice of the optimal UAV device for conducting mine surveying]. Tekhnichna inzheneriia [Technical Engineering], (1)93, 420–427. {in Ukrainian}

14. Makedon, V., Budko, O., Salyga, K., Myachin, V., & Fisunenko, N. (2024). Improving Strategic Planning and Ensuring the Development of Enterprises Based on Relational Strategies. Theoretical And Practical Research In Economic Fields, 15(4), 798-811. doi:10.14505/tpref.v15.4(32).02. {in English}

15. Donenko, P.P., & Obolonkov, D.F. (2024). Vykorystannia BPLA u zemlekorystuvanni [Use of UAVs in land use]. Zbirnyk naukovykh prats DonNABA [Collection of Scientific Works of DonNABA], (2)33, 4. {in Ukrainian}

16. Sytnyk O., Bezlatnia L. Analiz suchasnykh metodiv i zasobiv dlia obstezhennia ta vykonannia velykomasshtabnoho heodezychnoho znimannia meliorovanykh zemel. Pryrodnychi nauky ta pryrodokorystuvannia. 2024. Vyp. 1. S. 112–113.{in Ukrainian}

17. Yamelynets, T. (2022) Informatsiyne gruntoznavstvo: monohrafiya [Informational soil science: monograph]. Lviv: LNU named after Ivan Franko. {in English}. {in Ukrainian}.

DOI: 10.32347/2786-7269.2025.11.611-628
УДК 528.4:622
д.т.н., професор **Куліковська О.Є.**,
kulikovskaja13@ukr.net, ORCID: 0000-0002-2168-1445**,**
Львівський національний університет природокористування

ПОТЕНЦІЙНІ РИЗИКИ РОЗВИТКУ ТА ДІЯЛЬНОСТІ ГІРНИЧОДОБУВНИХ РЕГІОНІВ

Показано, що із інтенсивним розвитком техногенезу, всебічними змінами природних процесів та явищ, кількість надзвичайних ситуацій невпинно зростає і єдиним шляхом до їх мінімізації є пізнання законів та закономірностей їх виникнення, що є актуальною проблемою. Визначено закономірності виникнення небезпечних і надзвичайних процесів та явищ на прикладі Криворізького гірничодобувного регіону. Підкреслена необхідність виходити з даних оцінювання геологічного середовища, як багатофункціональної системи, виділяючи повільно- та швидкозмінні чинники для різних геоструктурних районів, зон, блоків тощо.

*Ключові слова**:** гірничодобувний регіон**;** Криворізький басейн; потенційний ризик; геологічне середовище; надзвичайна ситуація; розломно-блокова тектоніка; маркшейдерсько-геодезичний моніторинг.*

Проблема і її зв'язок із науковими і практичними завданнями. Виникнення надзвичайних ситуацій здебільшого пояснюється випадковим збігом обставин у певному місці та в певний час [24]. Проте за цими випадковими стихійними збігами, очевидно, стоять більш глибокі причинно-наслідкові зв'язки, пізнання яких можуть допомогти знизити потенційний ризик виникнення надзвичайних ситуацій, а в деяких випадках і запобігти їх проявленню [16]. Прогрес, який людина поставила на вершину еволюційної піраміди, сьогодні виражений, передусім, у концентрації на невеликій території значних запасів енергії, людей, складної техніки, видобутих із надр і знову синтезованих речовин. Все це призводить до того, що в таких місцях фізичні і хімічні потенціали та неоднорідність природних систем різного рівня організації збільшуються, а, відповідно, зростає і ризик катастрофічних зривів виникнення надзвичайних ситуацій. Як свідчить статистика, основна кількість надзвичайних ситуацій виникає в місцях інтенсивного розвитку промисловості, зростаючого навантаження техногенезу на довкілля, суттєвого порушення екологічного стану навколишнього середовища тощо.

Із інтенсивним розвитком техногенезу, всебічними змінами природних процесів та явищ, кількість надзвичайних ситуацій невпинно зростає і єдиним

шляхом до їх мінімізації є пізнання законів та закономірностей їх виникнення, що є актуальною проблемою.

Аналіз останніх публікацій. Вагомий внесок у розв'язання поставлених проблем моніторингу природних, техногенних і технологічних процесів внесли провідні українські вчені: О.М. Адаменко, Ю.Г. Вілкул, Ю.М. Гавриленко, С.Г. Могильний, В.О. Назаренко, М.С. Четверик [8-14, 18]. Безпосередньо в умовах Кривого Рогу великої уваги заслуговують роботи О. І. Денисова, В.М. Здешиця, В.І. Кузьміна, О.Є, Куліковської, Є.О. Несмашного, Ю.М. Ніколашина, І.С. Паранька, В.Д. Сидоренка, П.Й. Федоренка, О.І. Чирви та ін. [19-23, 25].

Із останніх публікацій заслуговують на увагу такі. У роботах [7, 16] встановлено, що сучасний пришвидшений розвиток техногенних виробництв призвів до росту концентрації шкідливих викидів та їх об'єму в екосередовище, зріс рівень забруднення цілих регіонів. Ускладнення технологічних процесів переобтяжило процеси управління, що призвело до зниження в певних галузях рівня безпеки їх функціонування та підвищило ризики аварій та катастроф. При цьому рівень ризиків аварій і техногенних катастроф залежить від багатьох факторів і компонент надійності систем: надійність і якість проектів техногенних систем тощо. Автори [17] показують, що рішення проблеми поліпшення параметрів процесів попередження надзвичайних ситуацій різного характеру в реальних умовах ґрунтується на аналізі стану та особливостей загроз небезпек техногенного, природного та соціального характеру в регіонах держави на основі статистичних даних моніторингу з метою їх недопущення або ліквідації можливих наслідків. У праці [4] порушується питання конструювання екологічного ризику як соціальної проблеми. Розкривається поняття ризику як феномена з істотною компонентою майбутнього, стану передчуття, усвідомлення катастрофи. Наголошується на неспроможності практики подолання локальних проблем без можливості широкого доступу членів суспільства до сталого розвитку і чистого довкілля. Kaliukh, Yu.I., та Yu.I. Ishchenko [2] описують глобальні кліматичні зміни і триваюче збільшення землекористування, які викликають помітне збільшення частоти та інтенсивності зсувів від антропогенного навантаження. Зазначають, що такі руйнування від них можуть перевищувати всі інші збитки від загальної катастрофи. Протягом останнього десятиліття стихійні лиха пошкодили та зруйнували близько одного мільйона об'єктів, що безпосередньо торкнулося майже 2,5 млрд людей в усьому світі. Дослідники [6] висвітлили деякі питання надзвичайних ситуацій техногенного та природного характеру на основі вивчення літературних джерел. Показали значне антропогенне і техногенне навантаження території України, зростання ризиків виникнення надзвичайних

ситуацій техногенного та природного характеру, Підкреслили, що забезпечення сталого соціально-економічного розвитку України має супроводжуватися формуванням безпечного для суспільства і кожної людини стану життєвого довкілля, забезпеченням сучасної системи безпеки, яка би ґрунтувалася на принципах міжнародного прав. Шульц Р.В. [6] розглядає методику розроблення проекту спостережень за зсувами, а саме – попередній розрахунок точності під час виконання геодезичних спостережень за зсувними процесами.

Про зв'язок між багатством природних ресурсів і погіршенням навколишнього середовища, який має важливі екологічні наслідки зазначається у публікаціях [1, 5]. Разом з тим, науковці визнають, що ця область недостатньо досліджена, і в літературі є різноманітні висновки. На прикладі Китаю показують, що значне економічне зростання разом із швидкою урбанізацією та індустріалізацією збільшило видобуток і споживання природних ресурсів. Автори також дослідили вплив видобутку корисних копалин, людського капіталу та урбанізації на екологічну ситуацію, запропонували комплексні заходи для покращення якості навколишнього середовища.

Мета. Визначити основні чинники геодинамічних, геологічних і гідрогеологічних процесів, які впливають на розвиток і безпечне функціонування гірничорудного регіону.

Виклад матеріалу і результати. Виходячи з загального розуміння катастрофи, як системного явища, надзвичайна ситуація виправдано розглядається в якості складової загального поняття «катастрофа». З формальної позиції поняття «катастрофа» є синонімом по відношенню до понять «аварія», «криза», «стихійне лихо». Розмежування цих понять досить умовне, в часі та просторі вони можуть переходити одне в інше. Однак, в усіх випадках мова йде про втрату стійкості системи. У нашому випадку системою виступає геологічне середовище. Згідно з сучасним баченням, ця система знаходиться в області стійкості та рівноваги в просторі змінних, якби обмежується областю нестійкої рівноваги, у якій система втримується зовнішніми силами. Якщо при зміні яких-небудь умов, область рівноваги розширюється і накладається на область нестійкості, тоді система миттєво переходить у нову область рівноваги. Зазвичай, ці області відповідають більш низьким енергетичним рівням та мають більшу ентропію. У даному випадку різкий перехід системи з однієї області в іншу можна тлумачити як катастрофу.

Таким чином, катастрофа – це поняття, яке відображає певний тип змін та перетворень у будь-якій системі. Цей тип перетворень є обов’язковою складовою діалектичного розвитку природних систем. У зв’язку з цим, катастрофу можна розглядати, як нормальну форму природних процесів розвитку, а якщо виходити з законів діалектики, то саме катастрофа є

свідченням переходу кількісних змін у якісні.

У теперішній час існує низка тлумачень терміну «катастрофа» [15, 24]. Проаналізувавши їх можна прийти до висновку, що природна катастрофа – це швидкий природний процес, зумовлений дією гравітації земного обертання або різницею температур, який уражає гео-, гідро- або атмосферу. Поняття «катастрофа», в основному, в цих випадках підмінюється поняттям «стихійне лихо». Стихійне лихо розглядається, як часто непередбачене явище природи, яке раптово створює катастрофічну ситуацію і призводить до порушення умов життєдіяльності населення, руйнування будівель споруд, знищення матеріальних цінностей і загибелі людей [18]. Найчастіше стихійне лихо пов'язують з екстремальними, несприятливими і небезпечними природними процесами та явищами і дуже часто використовують як синонім надзвичайної ситуації. Відділ секретаріату ООН із координування надзвичайних ситуацій і подібні до нього національні організації не роблять принципової різниці між стихійними лихами та надзвичайними ситуаціями, класифікуючи їх за кількістю людських жертв і розмірами економічних збитків. З позиції теорії ризику природних і технологічних катастроф, лихо розглядається, як вплив на суспільство і економіку, який призводить до порушення стійкості регіональної соціально-економічної системи. Межа між стихійним лихом і надзвичайною ситуацією залежить від конкретної обстановки і не може бути визначеною тільки абсолютними величинами спричиненого збитку. Враховуючи зазначене, під стихійним лихом слід розуміти такий вплив небезпечних природних процесів та явищ на населення і господарство окремої території, які відчутно порушують нормальну соціально-економічну обстановку і призводять до жертв серед населення або значних економічних збитків. Проте, навіть з цієї позиції, висловленої [12], до кінця не ясно де починається надзвичайна ситуація, яка спричинена природними силами, і в яких випадках стихійне лихо можна трактувати, як надзвичайну ситуацію, яка може призвести до катастрофи.

Слід зазначити, що не зважаючи на існуючу низку визначення поняття «надзвичайна ситуація», всі вони зводяться до одного, що надзвичайна ситуація це: стан об'єкту (території) управління, по відношенню до якого частково або повністю втрачена можливість контролю та реалізації керованих дій; стан об'єкту (території), при якому він знаходиться на межі можливостей самопідтримання своєї стійкості і може бути виведений із області стійкості навіть внаслідок відносно незначних зовнішніх впливів; непередбачене, швидке порушення режиму функціонування об'єкту (території) при його зовнішньому благополучному стані.

Перший і другий варіанти визначають надзвичайну ситуацію через сприйняття неблагонадійності, третій – як прояв цього сприйняття.

При тлумаченні визначення терміну «надзвичайна ситуація», кожен з дослідників керується перш за все тим, відносно якого механізму або процесу він передбачає виникнення такої ситуації. Міністерство надзвичайних ситуацій України на перше місце ставить безпеку життєдіяльності людини і матеріальний аспект проблеми, що й знайшло своє відображення в трактуванні терміну. Згідно з останнім надзвичайна ситуація – це порушення нормальних умов життя і діяльності людей на об'єкті або в межах певної території, яке спричинене дією техногенного, природного або соціального характеру, які призвели (або можуть призвести) до людських і матеріальних втрат [9, 14].

Враховуючи зазначене, серед ознак, які визначають будь-яку надзвичайну ситуацію у гірничодобувних регіонах можна виділити наступні: загибель або загроза загибелі людей і значне погіршення умов їх життєдіяльності; нанесення економічних збитків; суттєве погіршення стану екологічного та геологічного середовища. В основі оцінки характеру надзвичайної ситуації лежать групи взаємопов'язаних показників: територія розповсюдження; масштаби потенційних економічних збитків; класифікаційні ознаки надзвичайних ситуацій.

За масштабами території розповсюдження та обсягами матеріальних ресурсів, необхідних для ліквідації надзвичайних ситуацій, останні діляться на чотири рівні:

1) загальнодержавний, який характеризується проявленням надзвичайних ситуацій на території двох або більше адміністративних областей і для їх ліквідації необхідні матеріальні та технічні ресурси в обсягах, що перевищують існуючі можливості (потужності) області, але не менше від 1% витрат відповідного бюджету;

2) регіональний, до якого відносяться надзвичайні ситуації, які розвиваються на територіях двох і більше адміністративних районів, а також міст обласного підпорядкування, АР Крим, областей, міст Київ, Севастополь, або загрожують перенесенням на території сусідніх областей України, а також у випадку коли для їх ліквідації необхідні матеріально-технічні ресурси в обсягах, що перевищують існуючі можливості району, але не менше від 1% витрат відповідного бюджету;

3) міський рівень включає надзвичайні ситуації, які виходять за межі потенційно небезпечного об'єкту, загрожують розповсюдженням самої ситуації або її наслідків на довкілля, сусідні населені пункти, інженерні споруди, а також у випадку, коли для їх ліквідації необхідні матеріальні ресурси в обсягах, що не перевищують існуючих можливостей потенційно небезпечного об'єкту, але не менше 1% від витрат відповідного бюджету; до даного рівня відносяться також всі надзвичайні ситуації, які виникли на об'єктах житлово-комунальної

сфери та інших, що не входять у затверджений перелік потенційно небезпечних об’єктів;

4) об’єктів (локальний) рівень об’єднує всі надзвичайні ситуації, які не попадають під зазначені вище категорії і стосуються виключно певних локальних об’єктів [15].

Прогнозування розвитку будь-яких природних, техноприродних явищ загалом, і надзвичайних ситуацій, зокрема, базується на групі чинників і ознак, які спричиняють і визначають ці явища. Всі чинники, які лежать в основі проявлення неотектоніки можна розділити на дві групи – природні і техногенні. До природних чинників слід віднести геодинамічні і геологічні особливості регіонів, а техногенні включають господарську діяльність людини в межах геологічного середовища. Враховуючи, що геологічне середовище, в межах якого зосереджені всі родовища корисних копалин, це природно-техногенна система, то й при прогнозуванні розвитку неотектонічних явищ у гірничодобувних регіонах слід враховувати як природні, так і техногенні чинники. Окрім того, слід зазначити, що природні чинники відносяться до категорії регіональних, а техногенні носять локальний характер. Провідне місце в формуванні структури земної кори загалом і геологічного середовища, як її верхньої частини, зокрема належать тектонічним процесам. Найпоширенішим їх відображенням є порушення первинних фізико-механічних властивостей порід, утворення на окремих ділянках земної кори зон розущільнення, підвищеної проникності, тріщинуватості тощо. Вони відіграють певну роль складових структури земної кори, суть якої полягає у відновленні природної рівноваги в земній корі, як самостійній системі відповідного рівня організації речовини. Таким чином, тектонічні процеси та явища є невід’ємною складовою еволюції земної кори і негативного впливу на природне середовище не несуть. Іншого змісту набувають природні тектонічні порушення, які зазнали впливу діяльності людини.

Гірничодобувні регіони загалом і Криворізький, зокрема, характеризуються високим ступенем ураженості геологічного середовища, що обумовлено видобутком корисних копалин і техногенним навантаженням на довкілля, спричиненим складуванням відходів гірничодобувної та переробної промисловості. Цей чинник виникнення надзвичайних ситуацій має техногенно-природний характер, пов’язаних з суттєвими змінами природного стану геологічного середовища [22]. Криворізький залізорудний басейн приурочений до потужної зони Криворізько-Кременчуцького глибинного розлому. А це означає, що у регіоні природні тектонічні процеси зумовили суттєві порушення монолітності масивів докембрійських гірських порід, утворивши густу мережу розломів, зон підвищеної тріщинуватості,

подрібнення порід тощо [19]. Завдяки розломній тектоніці докембрійський фундамент розбитий на низку рівновеликих блоків, відокремлених один від одного зонами відкритої тріщинуватості, що позбавляє їх жорсткого зчеплення та знижує ступінь сейсмостійкості в регіоні (рис. 1).

Рис. 1. Вихід тріщинуватих сланців серед малорудних кварцитів.
Горизонт ±0 м, південна частина

Своєрідним «покривалом», яке приховує тектонічну мозаїку фундаменту слугує малопотужний осадовий чохол кайнозойських порід, які залягають субгоризонтально. Серед них переважають суглинки (здебільшого лесоподібні), глини, піски та вапняки. Практично всі розломи перетинаються підземними і поверхневими гірничими виробками, а окремі виробки безпосередньо закладені в межах потужних розломних зон. Таке «сусідство» кар'єрів і шахт з розломами, як природними тектонічними об'єктами, негативно відображається на їх властивостях. Відомо, що розробка залізорудних родовищ із залученням вибухових і вібраційно-відбійних технологій призводить до поновлення природної тріщинуватості й формування техногенної. При цьому слід зазначити, що техногенна тріщинуватість наявна також і в осадовому чохлі, що сприяє формуванню зон розущільнення порід Як наслідок, суттєво знижується ступінь сейсмостійкості території регіону, виникають техногенні зони підвищеної водопроникності і, враховуючи переміщення значних мас гірських порід, внаслідок видобутку залізних руд відкритим та підземним способами, зростає ймовірність вертикальних і горизонтальних переміщень окремих блоків, які через поновлення природної тріщинуватості і формування техногенної позбавлені жорсткого зчеплення. Потенційною основою останнього явища може бути надмірне техногенне навантаження на блоки і зони тріщинуватості, зумовлене спорудженням відвалів, шламосховищ і ставків-накопичувачів. Сюди також слід віднести порожнини в масивах

гірських порід, створені в результаті підземної розробки родовищ і поглиблення та розширення кар'єрів.

До таких структур розвантаження належить і Криворізька структура, до Саксаганського блоку якої приурочені родовища багатих залізних руд шахти «Ювілейна» і шахти ім. Фрунзе, які можна вважати потенційно сейсмонебезпечними з позиції геодинамічного чинника прогнозування неотектонічних явищ. Цей факт необхідно враховувати при проектуванні гірничодобувних робіт, але також слід зазначити, що знизити ступінь впливу геодинамічного чинника на проявлення сейсмічних явищ в районі родовищ не можливо, так як цей процес підпорядкований природному перебігу геодинамічних процесів в межах тектоносфери. Таким чином, до природних чинників виникнення надзвичайних ситуацій слід відносити: геологічну будову земної кори; розломно-блокову тектоніку; мінералого-петрографічні особливості породних комплексів; природні тектонічні рухи земної кори.

Враховуючи, що родовища зосереджені в межах геологічного середовища, яке являє собою природно-техногенну систему, суттєвий вплив на проявлення неотектоніки має група техногенних чинників, серед яких слід розрізняти ті, що спричинені безпосередньо гірничодобувними роботами і ті, які породжені діяльністю людини на земній поверхні. Серед них особливе місце слід відвести застосуванню при видобутку руди застосування вібро-відбійних і вибухових технологій. Як у першому, так і другому випадку відбувається породження техногенних сейсмічних хвиль, які негативно впливають на фізико-механічні властивості гірських порід, що призводить до формування техногенних зон розущільнення і тріщинуватості в масивах останніх на кшталт природних розривних порушень. Такі зони одночасно стають місцями розвантаження тектонічних напружень, що створює потенційно сприятливі умови для розвитку сейсмічних явищ. З другої сторони, такі техногенні сейсмічні хвилі сприяють поновленню «залічених» продуктами гідротермального, метасоматичного і гіпергенного процесів природних тріщин, що призводить до їх розкриття і суттєвого зниження фізико-механічних властивостей.

Враховуючи високу ступінь розвитку розривної тектоніки на родовищах, можна припускати, що технології, які застосовуються при проходженні гірничих виробок і видобутку руди, через зміни фізико-механічних властивостей гірських порід перетворюють масиви покладів багатих руд на зони розвантаження полів тектонічних напружень, чим суттєво знижують ступінь їх сейсмостійкості і підвищують ступінь ризику виникнення сейсмічних явищ.

Найбільш активно техногенна тріщинуватість буде розвиватися в

сланцевих породах, у складі яких будуть переважати мінерали групи силікатів. Відповідно, ці чинники необхідно враховувати при проведенні вибухових і відвальних робіт, особливо при виборі схеми закладки вибухових матеріалів і розрахунках потужності вибухів. Породи докембрійського кристалічного фундаменту перекриваються породами осадового чохла, серед яких переважають глини, піски, супіски і суглинки, а в південній частині Кривбасу нижня частина кайнозойського розрізу складена органогенними вапняками. Ці утворення, які на відміну від гранітоїдів і метаморфічних утворень характеризуються значно вищим показником пластичності і низьким коефіцієнтом крихкості. Будь-які вертикальні переміщення докембрійських блоків будуть формувати в них не зони тріщинуватості, а зони розтягу з високим показником проникності атмосферних опадів і вод підземних водоносних горизонтів. Інфільтрація зазначених вод до підошви кайнозойського розрізу буде сприяти їх проникненню в тріщинуваті зони масивів кристалічних порід, що підсилить процес їх руйнування через розчинення карбонатів і, таким чином, спричинить техногенний карст, а також суттєві водопритоки в підземні гірничі виробки. Це позначиться на фізико-механічних властивостях кристалічних гірських порід і підсилить процес формування в них тріщинуватості, а, відповідно, призведе до зниження ступеня сейсмостійкості.

Над підземними виробками на земній поверхні знаходяться численні споруди, відвали відходів гірничодобувної промисловості, склади видобутої руди тощо. Тобто, з поверхні створюється додаткове навантаження на геологічне середовище, що сприяє зміні літостатичного тиску в масивах гірських порід. В окремих випадках таке навантаження з поверхні на окремі блоки кристалічного фундаменту може спричинити виникнення техногенних вертикальних рухів. Наявність по-сусідству розташованих двох блоків, розділених розривним порушенням, з різним навантаженнями вже створює загрозу виникнення потенційних умов розвитку сейсмічних явищ, так як різношвидкісне переміщення блоків і наявність зони розлому є передумовою формування так званих «зачіпів», що сприятиме накопиченню напруги і, у випадку руйнування останніх – до вивільнення її з переходом у кінетичну енергію та утворенням сейсмічних хвиль. Уникнення створення подібної ситуації можливе тільки при відсутності над гірничими виробками значних за масою будівельних споруд, складів розкривних порід і руд.

Таким чином, техногенними чинниками виникнення неотектонічних явищ в районах розробки родовищ корисних копалин, на відміну від природних, можна керувати, але для цього потрібен моніторинг фізико-механічних властивостей гірських порід, маркшейдерсько-геодезичний

моніторинг у межах території родовищ і гідрогеологічні спостереження за рівнем води в підземних горизонтах осадового чохла та тріщинуватих горизонтів у кристалічних породах. Тільки при таких умовах можна мінімізувати вплив розробки родовищ на неотектонічні процеси та пов'язані з ними сейсмічні явища і знизити ступінь екологічного ризику і ризику виникнення надзвичайних ситуацій.

Слід також зазначити, що техногенні чинники, перш за все, впливають на зміни властивостей геологічного середовища і його компонентів, а останнє відіграє основну роль при формуванні потенційних передумов виникнення надзвичайних ситуацій.

Можна припускати, що на території Криворізького басейну слід очікувати проявлення надзвичайних ситуацій практично всіх зазначених категорій. На користь такого припущення свідчить не тільки значна масштабність території басейну, але й природні чинники виникнення надзвичайних ситуацій такі, як проявлення неотектонічних рухів, будова, склад і технотектонічні зміни геологічного середовища, площі яких збільшуються пропорційно до розвитку залізодобувних об'єктів.

Статистичні дані свідчать про те, що на кар'єрах Кривбасу не рідше одного разу на 5-7 років виникають крупні зсуви або самообвалення обсягом до декількох млн. $м^3$ та десятки дрібніших, які фіксуються службами охорони праці підприємств гірничодобувного комплексу. Наведемо декілька прикладів таких небезпечних геологічних явищ. У 1963 р. на ш. Центральна відбулося раптове самообвалення порід із виходом повітряної хвилі та викидом шматків породи на поверхню. Масове обвалення порожнин з утворенням воронки на денній поверхні виникало у 1978 р. на ш. ім. Фрунзе. За період з 1984 по 1995 р. на бортах кар'єру Інгулецького ГЗК відбулося 8 зсувів, а у 1996 р. у районі с. Широке раптово було зруйновано обвідний канал та частково перекрито р. Інгулець. За час експлуатації (з 1976 року) накопичувач шахтних вод балки Свистунова тричі наповнювався і в результаті фільтрації спорожнювався, незважаючи на посилення протифільтраційних заходів. Після кожної втрати води виявлялося значне деформування основи у вигляді лійок, тріщин та промоїн внаслідок суфозійного виносу ґрунтів у закарстовані сарматські вапняки, що залягають у ложі ставка на глибині 15-20 м від поверхні й перекриті шаром піску та суглинку. Внаслідок фільтраційних втрат сталося забруднення підземних вод промисловими скидами. До людських жертв у 2001 р. на Інгулецькому ГЗК (загинув черговий позавідомчої воєнізованої охорони) призвело підняття ґрунту на 15 м в районі с. Миколаївка. У 2007 р. загинуло четверо та травмовано двоє гірників на ш. Ювілейна із-за обвалення покрівлі камери.

Події 2010 та початку 2011 років свідчать про посилення впливу антропогенних чинників на виникнення надзвичайних ситуацій у регіоні. 13.06.2010 р. на ш. імені Орджонікідзе безпосередньо після планових вибухових робіт почалося інтенсивне обвалення денної поверхні, що знаходилася в зоні гірничого відводу шахти в маркшейдерських осях(- 37)-(+45). Загальна площа обвалення склала 16,5 га (рис. 2). 17.08.2010 року у Центрально-Міському району м. Кривого Рогу на вулиці Урицького, 5 відбулося часткове обвалення земної поверхні з утворенням воронки між 3.00-6.00 годинами в районі маркшейдерських осей 57-58 і ЛСП +30 ... +50 (ЛСП-лінія середнього простягання). Ділянка, на якій відбулося провалля, знаходиться у шахтному полі шахти «ГПУ», закритої у1972 р. і розташована над гірничими виробками, що утворилися в результаті виїмки залізних руд у період роботи шахти. Виконана зйомка спеціалістами ДП «Кривбаспроект» показала, що воронка має діаметр 18 м, а її обсяг досягає 1500-1600 м^3, тобто близько 1700-1800 м^3 підземних пустот було заповнено у процесі обвалення (рис. 3). В табл. 1, 2 узагальнено виникнення негативних явищ, що відбулися на підприємствах Кривбасу та в регіоні починаючи з 1963 року до теперішнього часу.

Таблиця 1

Розвиток небезпечних геологічних процесів на території Криворізького гірничодобувного регіону

(аналіз даних з 1963 р. по теперішній час)

Площа басейну, км^2	Зсуви, провали				Підтоплення	
	Загальне число зсувів, провалів, д	Площа зони зрушення гірських порід над відпрацьованим простором, тис. га	Ураженість басейна зсувами, провалами, %	Число зсувів, занесених до регіональних кадастрів, явище	Підтоплення площі (в тому числі техногенне), тис. км^2	Ураженість басейну катастрофічним підтопленням, км^2
430	29	3,47	42	7	330	50

З упевненістю можна говорити, що гірничодобувна діяльність людини сьогодні призводить до формування нової техногенної тектоніки, яка в подальшому буде визначати характер будови земної поверхні і яка є одним з основних потенційних чинників виникнення надзвичайних ситуацій через зниження ступеня сейсмостійкості територій, утворення техногенних високопроникних для атмосферних і підземних вод зон, виникнення вертикальних і горизонтальних переміщень окремих блоків гірських порід,

створення передумов для зсувоутворення.

Враховуючи вищевикладене, для характеристики комплексу умов і факторів, які визначають закономірності виникнення небезпечних та надзвичайних процесів та явищ у гірничодобувному регіоні, треба виходити з даних оцінювання геологічного середовища, як багатофункціональної системи, підкреслюючи повільно- та швидкозмінні чинники для різних геоструктурних районів, зон, блоків тощо.

Таблиця 2

Динаміка небезпечних геологічних явищ Кривбасу

№№	Назва підприємства, об'єкт	Рік виникнення	Кількість/ обсяг явища, тис. м^3, тис. т	Розміри (довжина/ глибина), м	Наслідки
1	**2**	**3**	**4**		**5**
1.	Ш. Центральна	1963	1/-		Раптове самообвалення порід з виходом повітряної хвилі та викидом шматків породи на поверхню
2.	Ш. ім. Фрунзе	1978	1/-		Масове обвалення порожнин з утворенням воронки на денній поверхні
3.	ПАТ «Південний ГЗК»	1981	1/500	380х18	Порушена технологія розробки
4.	Новокриворізький комплекс*	1981	1/ -		Порушена технологія розробки
5.	ПАТ «Інгулецький ГЗК»	1984-1995	8/5000	800	Порушена технологія розробки
6.	Новокриворізький комплекс*	1985	6/ -		Порушена технологія розробки
7.	ПАТ «Центральний ГЗК»	1986	1/ -	400х160	Порушена технологія розробки
8.	Новокриворізький комплекс*	1990	1/2300	350	Порушена технологія розробки
9.	ПАТ «Південний ГЗК» Район с. Рудничне	1995	1/80-130 тис. т	80-130	Порушена технологія розробки
10.	ПАТ «Інгулецький ГЗК» Район с. Широке	1996	1/12000/ 200-230 тис. т	-	Зруйновано обвідний канал, частково перекрито р. Інгулець.
11.	ПАТ «Північний ГЗК»	1996	1/	500х50	Порушена технологія розробки
12.		1998	1/	1000х70	-
13.	ПАТ «Інгулецький ГЗК», район с. Миколаївка	2001	1/2500	-	Виникло підняття ґрунту на 15м, загинув черговий позавідомчої воєнізованої охорони

1	2	3	4		5
14.	ПАТ «Суха балка» ш. Ювілейна	2007	1/ -		Обвалення покрівлі камери. Загинуло четверо гірників, двоє травмовано
15.	Район Центрального ринку, вул. Урицького, 5	17 серпня 2010	4700 м^3		Глибина 20м, діаметр 15 м
16.	Ш. Орджонікідзе (ПАТ «Центральний ГЗК»)	13 червня 2010	16,5 га	Обваленн я денної поверхні 800х500 , глибина до 100 м	Загинув водій, в провалі опинились 4 автомобіля, частково пошкоджено будівлі шахти, дорогу від шахти та порушено газопостачання, електропостачання і водопостачання до поблизу розташованого с. Горького (мешкає 2710 осіб)
17.	Район Західного кладовища. Поблизу шахтоуправління ім. Артема ПАТ «АрселорМіттал Кривий Ріг», шахти «Батьківщина» ПАТ «Криворізький залізорудний комбінат «	14 січня 2011	70 тис. м^3	50х70, глибина 20м	Порушена технологія розробки

*Примітка: *ПАТ «АрселорМіттал Кривий Ріг»; - інформація відсутня*

Рис. 2. Обвалення денної поверхні, що знаходилася в зоні гірничого відводу шахти ім. Орджонікідзе (13.06.2010 р.)

Рис. 3. Обвалення земної поверхні з утворенням воронки на вулиці Урицького, 5 (17.08.2010 р.)

Висновки. Криворізький регіон відповідає всім зазначеним ознакам, що робить його потенційним об’єктом виникнення надзвичайних ситуацій. В цілому, безпечне функціонування гірничодобувного регіону у межах техноприродної системи можна визначити групами таких чинників: ризик виникнення техногенних аварій та катастроф; ризик впливу на організм забрудненої води; ризик матеріальних втрат внаслідок розвитку небезпечних геологічних явищ; ризик негативного впливу на параметри ландшафтно-геохімічних, геофізичних, геодинамічних, радіологічних процесів.

Список літератури

1. Ahmed Z. et.al. Moving towards a sustainable environment: the dynamic linkage between natural resources, human capital, urbanization, economic growth, and ecological footprint in China //Resources Policy. – 2020. – Т. 67. – С. 101677.

2. Kaliukh, Yu I., та Ishchenko, Yu I. «Теоретична концепція та практична реалізація нової інтегрованої методології систем раннього попередження про зсувну небезпеку». *Наука та будівництво* 23, № 1, 2020: 3–17. http://dx.doi.org/10.33644/scienceandconstruction.v231.122.

3. Li Y., Pang D., Cifuentes-Faura J. Time-Varying linkages among financial development, natural resources utility, and globalization for economic recovery in China //Resources Policy. – 2023. – Т. 82. – С. 103498.

4. Pavlik, Yuliia. «Екологічний ризик як складна соціальна ситуація». *Scientific Studios on Social and Political Psychology*, № 43(46) (15 липня 2019): 158–65. http://dx.doi.org/10.33120/ssj.vi43(46).35.

5. Pazynych, L.M., Sytenko, O.R. та Smirnova, T.M. «Деякі питання надзвичайних ситуаій техногенного та природного характеру в Україні (огляд літератури)» . *Вісник соціальної гігієни та організації охорони здоров'я України*, № 1 (17 липня 2018). http://dx.doi.org/10.11603/1681-2786.2018.1.9242.

6. Shults, R.V., Annenkov, A.O., & Khailak, A.M. (2013). Osoblyvosti realizatsii proektku sposterezhen za zsuvnymy protsesamy na prykladi budivnytstva zhytlovoho kompleksu u m. Kyievi. Mistobuduvannia ta terytorialne planuvannia, 49, 632– 646.

7. Sikora, L.S., Lysa, N.K., Tkachuk, R.L., Fedyna, B.I. та Kunchenko-Kharchenko V.I. «Інтеграція ігрових, системних та інформаційно-ресурсних концепцій оцінки енергоактивної взаємодії техногенних і екологічних систем (Ч.1)» . *Scientific Bulletin of UNFU* 28, № 11 (27 грудня 2018): С. 112–24. http://dx.doi.org/10.15421/40281121.

8. Адаменко О., Рудько Г. Екологічна геологія. Київ: Манускрипт, 1998. 340 с.

9. Багрій І., Білоус А., Вілкул Ю. Досвід комплексної оцінки та картографування факторів техногенного впливу на природне середовище міст Кривого Рогу та Дніпродзержинська. Київ: Фенікс, 2000. 145 с.

10. Вилкул Ю. Проблемы и перспективы развития железорудного Кривбасса. *Разработка рудных месторождений*. 2002. № 80. С. 18–22.

11. Гавриленко Ю. Изучение сдвижений и деформаций земной поверхности в сложных горно-геологических условиях Донбасса. *Наукові праці Донецького національного технічного університету*. 2003. № 62. С. 34–47.

12. Гавриленко Ю. Исследования факторов, влияющих на деформацию земной поверхности при подработке разрывных нарушений пологими пластами. *Горно-металлургические проблемы Донбасса*. 1995. № 76. С. 91–100.

13. Гавриленко Ю., Могільний С., Креніда Ю. Проблеми сучасної маркшейдерії і тенденції її розвитку. *Вісник геодезії та картографії*. 2001. № 3(22). С. 29–34.

14. Гавриленко Ю., Назаренко Н. Геометрические параметры динамической мульды сдвижения в западном Донбассе. *Наукові праці Донецького національного технічного університету.* 2002. № 54. С. 126–131.

15. Державне регулювання користування надрами / І. Андрієвський та ін. Київ: УкрДГРІ, 2010. 504 с.

16. Дронова, О.Л. «Техногенні чинники ризику виникнення надзвичайних ситуацій у геосистемі». *Український географічний журнал*, № 4 (2009): 47–50.

17. Іванець, Г., Горєлишев С., Іванець М., Баулін Д. «Аналіз факторів небезпеки та ризиків виникнення надзвичайних ситуацій на території харківської області». *збірник наукових праць Національної академії Державної прикордонної служби України. Серія: військові та технічні науки* 82, № 1 (2 лютого 2021): 87–105. http://dx.doi.org/10.32453/3.v82i1.532.

18. Кулібаба С., Рожко М. Розподіл осідань земної поверхні у мульді зрушення. *Наукові праці УкрНДМІ НАН України*. 2008. № 3. С. 141–152.

19. Куліковська О., Сидоренко В., Паранько І. До методики виявлення потенційних зон екологічного ризику в геологічному середовищі зі складною розломно-блоковою тектонікою. *Наукові праці ДонНТУ*. 2010. № 12(173). С. 244–253.

20. Несмашный Е., Ткаченко Г., Болотников А. Обзор технологий и технических средств для геомеханического мониторинга состояния бортов карьеров и отвалов. *Разработка рудных месторождений*. 2010. № 93. С. 89–94.

21. Николашин Ю., Корчагин Н., Палий Д. Применение иммитационного моделирования поверхностей скольжения в откосах для интерпретации инструментальных наблюдений за оползневыми деформациями отвалов. *Вісник Криворізького технічного університету*. 2009. № 23. С. 21–24.

22. Паранько І., Смирнова Г., Іванова О. Кривий Ріг – потенційна зона виникнення техногенно-природних і техногенних надзвичайних ситуацій. *Геолого-мінералогічний вісник*. 2005. № 1. С. 5–9.

23. Плотников А. Тектоническое строение и развитие Криворожского рудного района как зоны глубинного разлома. *Геотектоника*. 1994. № 2. С. 33–48.

24. Рудько Г.І. Ресурси геологічного середовища і екологічна безпека техноприродних геосистем. Київ: ЗАТ «Нічлава», 2006. 480 с.

25. Смирнов А., Зорин В. К вопросу о воронках в Кривбассе. *Металлургическая и горнорудная промышленность*. 1989. № 1. С. 46–48.

Doctor of Technical Sciences, Professor **Kulikovska Olha.,**
Lviv National Environmental University

POTENTIAL RISKS OF DEVELOPMENT AND OPERATION OF MINING REGIONS

The article shows that with the intensive development of techno genesis, comprehensive changes in natural processes and phenomena, the number of emergencies is constantly growing and the only way to minimize them is to understand the laws and patterns of their occurrence, which is an urgent problem. The regularities of occurrence of dangerous and emergency processes and phenomena are determined on the example of the Kryvyi Rih mining region. The necessity to proceed from the data of the geological environment assessment as a multifunctional

system, highlighting slowly and rapidly changing factors for different geostructural areas, zones, blocks, etc. is emphasized.

Among the signs that define any emergency in mining regions are the following: death or threat of death of people and significant deterioration of their living conditions; economic losses; significant deterioration of the ecological and geological environment. The assessment of the nature of an emergency is based on a group of interrelated indicators: the area of spread; the scale of potential economic losses; and the classification features of emergencies.

Tectonic processes and phenomena are an integral part of the evolution of the Earth's crust and do not have a negative impact on the environment. Natural tectonic disturbances that have been affected by human activity take on a different meaning. Taking into account the high degree of development of discontinuous tectonics at the deposits, it can be assumed that the technologies used in the course of mine workings and ore extraction, due to changes in the physical and mechanical properties of rocks, turn massive deposits of rich ores into zones of unloading tectonic stress fields, which significantly reduces their seismic resistance and increases the risk of seismic events.

Man-made factors of neotectonic phenomena in the areas of mineral deposits development, unlike natural ones, can be controlled, but this requires monitoring of physical and mechanical properties of rocks, surveying and geodetic monitoring within the territory of deposits and hydrogeological observations of water levels in underground horizons of the sedimentary cover and fractured horizons in crystalline rocks. Only under such conditions can the impact of field development on neotectonic processes and related seismic events be minimized and the degree of environmental and emergency risk be reduced.

Keywords: mining region; Kryvyi Rih basin; potential risk; geological environment; emergency; fault-block tectonics; surveying and geodetic monitoring.

REFERENCES

1. Ahmed Z. et.al. Moving towards a sustainable environment: the dynamic linkage between natural resources, human capital, urbanization, economic growth, and ecological footprint in China //Resources Policy. – 2020. – T. 67. – S. 101677. {in English}.

2. Kaliukh, Yu.I., ta Ishchenko, Yu.I. Teoretychna kontseptsiia ta praktychna realizatsiia novoi intehrovanoi metodolohii system rannoho poperedzhennia pro zsuvnu nebezpeku. Nauka ta budivnytstvo 23, № 1, 2020: 3 17. http://dx.doi.org/10.33644/scienceandconstruction.v23i1.12. {in Ukrainian}.

3. Li Y., Pang D., Cifuentes-Faura J. Time-Varying linkages among financial development, natural resources utility, and globalization for economic recovery in China //Resources Policy. – 2023. – T. 82. – S. 103498. {in English}.

4. Pavlik, Yuliia. «Ekolohichnyi ryzyk yak skladna sotsialna sytuatsiia». Scientific Studios on Social and Political Psychology, № 43(46) (15 lypnia 2019): 158–65. http://dx.doi.org/10.33120/ssj.vi43(46).35. {in Ukrainian}.

5. Pazynych, L.M., Sytenko, O.R. ta Smirnova, T.M. «Deiaki pytannia nadzvychainykh sytuatsii tekhnohennoho ta pryrodnoho kharakteru v Ukraini (ohliad literatury)». Visnyk sotsialnoi hihiieny ta orhanizatsii okhorony zdorovia Ukrainy, № 1 (17 lypnia 2018). http://dx.doi.org/10.11603/1681-2786.2018.1.9242. {in Ukrainian}.

6. Shults, R.V., Annenkov, A.O., & Khailak, A.M. (2013). Osoblyvosti realizatsii proektku sposterezhen za zsuvnymy protsesamy na prykladi budivnytstva zhytlovoho kompleksu u m. Kyievi. Mistobuduvannia ta terytorialne planuvannia, 49, 632– 646. {in Ukrainian}.

7. Sikora, L.S., Lysa, N.K., Tkachuk, R.L., Fedyna, B.I. ta Kunchenko-Kharchenko, V.I. «Intehratsiia ihrovykh, systemnykh ta informatsiino-resursnykh kontseptsii otsinky enerhoaktyvnoi vzaiemodii tekhnohennykh i ekolohichnykh system (Ch.1)». Scientific Bulletin of UNFU 28, № 11 (27 hrudnia 2018): 112–24. http://dx.doi.org/10.15421/40281121. {in Ukrainian}.

8. Adamenko O., Rudko H. Ekolohichna heolohiia. Kyiv: Manuskrypt, 1998. 340 s. {in Ukrainian}.

9. Bahrii I., Bilous A., Vilkul Yu. Dosvid kompleksnoi otsinky ta kartohrafuvannia faktoriv tekhnohennoho vplyvu na pryrodne seredovyshche mist Kryvoho Rohu ta Dniprodzerzhynska. Kyiv: Feniks, 2000. 145 s. {in Ukrainian}.

10. Vylkul Yu. Problemы y perspektyvы razvytyia zhelezorudnoho Kryvbassa. Razrabotka rudnыkh mestorozhdenyi. 2002. № 80. S. 18–22. {in Russian}.

11. Havrylenko Yu. Yzuchenye sdvyzhenyi y deformatsyi zemnoi poverkhnosty v slozhnыkh horno-heolohycheskykh uslovyiakh Donbassa. Naukovi pratsi Donetskoho natsionalnoho tekhnichnoho universytetu. 2003. № 62. S. 34–47. {in Russian}.

12. Havrylenko Yu. Yssledovanyia faktorov, vlyiaiushchykh na deformatsyiu zemnoi poverkhnosty pry podrabotke razrыvnыkh narushenyi polohymy plastamy. Horno-metallurhycheskye problemы Donbassa. 1995. № 76. S. 91–100. {in Russian}.

13. Havrylenko Yu., Mohilnyi S., Krenida Yu. Problemy suchasnoi marksheiderii i tendentsii yii rozvytku. Visnyk heodezii ta kartohrafii. 2001. № 3(22). S. 29–34. {in Russian}.

14. Havrylenko Yu., Nazarenko N. Heometrycheskye parametrы dynamycheskoi muldы sdvyzhenyia v zapadnom Donbasse. Naukovi pratsi Donetskoho natsionalnoho tekhnichnoho universytetu. 2002. № 54. S. 126–131. {in Russian}.

15. Derzhavne rehuliuvannia korystuvannia nadramy / I. Andriievskyi ta in. Kyiv: UkrDHRI, 2010. 504 s. {in Ukrainian}.

16. Dronova, O.L. «Tekhnohenni chynnyky ryzyku vynyknennia nadzvychainykh sytuatsii u heosystemi». Ukrainskyi heohrafichnyi zhurnal, № 4 (2009): 47–50. {in Ukrainian}.

17. Ivanets, H., Horielyshev S., Ivanets M., Baulin D. «Analiz faktoriv nebezpeky ta ryzykiv vynyknennia nadzvychainykh sytuatsii na terytorii kharkivskoi oblasti». zbirnyk naukovykh prats Natsionalnoi akademii Derzhavnoi prykordonnoi sluzhby Ukrainy. Seriia: viiskovi ta tekhnichni nauky 82, № 1 (2 liutoho 2021): 87–105. http://dx.doi.org/10.32453/3.v82i1.532. {in Ukrainian}.

18. Kulibaba S., Rozhko M. Rozpodil osidan zemnoi poverkhni u muldi zrushennia. Naukovi pratsi UkrNDMI NAN Ukrainy. 2008. № 3. S. 141–152. {in Ukrainian}.

19. Kulikovska O., Sydorenko V., Paranko I. Do metodyky vyiavlennia potentsiinykh zon ekolohichnoho ryzyku v heolohichnomu seredovyshchi zi skladnoiu rozlomno-blokovoiu tektonikoiu. Naukovi pratsi DonNTU. 2010. № 12(173). S. 244–253. {in Ukrainian}.

20. Nesmashnыi E., Tkachenko H., Bolotnykov A. Obzor tekhnolohyi y tekhnycheskykh sredstv dlia heomekhanycheskoho monytorynha sostoianyia bortov karerov y otvalov. Razrabotka rudnыkh mestorozhdenyi. 2010. № 93. S. 89–94. {in Russian}.

21. Nykolashyn Yu., Korchahyn N., Palyi D. Prymenenye ymmytatsyonnoho modelyrovanyia poverkhnostei skolzhenyia v otkosakh dlia ynterpretatsyy ynstrumentalnыkh nabliudenyi za opolznevыmy deformatsyiamy otvalov. Visnyk Kryvorizkoho tekhnichnoho universytetu. 2009. № 23. S. 21–24. {in Russian}.

22. Paranko I., Smyrnova H., Ivanova O. Kryvyi Rih – potentsiina zona vynyknennia tekhnohenno-pryrodnykh i tekhnohennykh nadzvychainykh sytuatsii. Heoloho-mineralohichnyi visnyk. 2005. № 1. S. 5–9. {in Ukrainian}.

23. Plotnykov A. Tektonycheskoe stroenye y razvytye Kryvorozhskoho rudnoho raiona kak zonы hlubynnoho razloma. Heotektonyka. 1994. № 2. S. 33–48. {in Russian}.

24. Rudko H.I. Resursy heolohichnoho seredovyshcha i ekolohichna bezpeka tekhnopryrodnykh heosystem. Kyiv: ZAT «Nichlava», 2006. 480 s. {in Ukrainian}.

25. Smyrnov A., Zoryn V.K voprosu o voronkakh v Kryvbasse. Metallurhycheskaia y hornorudnaia promыshlennost. 1989. № 1. {in Russian}.

DOI: 10.32347/2786-7269.2025.11.629-641
УДК 528.85:332.3

к.т.н., доцент **Нестеренко С.В.**,
NesterenkoS2208@gmail.com, ORCID: 0000-0002-2288-3524,
Бас Д.О.,
daniilbas2006@gmail.com, ORCID: 0009-0002-2985-2461,
Національний університет
«Полтавська політехніка імені Юрія Кондратюка»

МЕТОДИ ДИСТАНЦІЙНИХ ДОСЛІДЖЕНЬ ДЛЯ ВИЗНАЧЕННЯ РУЙНУВАНЬ УРБОЛАНДШАФТІВ

Використання сучасних методів дослідження територій є особливо важливим елементом відслідковування змін урболандшафтів. Наявність супутникових знімків надає можливість детального визначення динаміки змін дистанційним методом, виявлення особливостей цих змін, чинників, наслідків утворених змін за певний період. Процес збирання, отримання, опрацювання та поширення даних досліджень є основою для виділення цього методу як окремого виду моніторингу. Є базою для створення кадастру зруйнованих територій та їх змін. Подальшим використанням цього кадастру є встановлення закономірностей, варіантів рішення проблем, плану щодо відновлення та зменшення загальних втрат тощо.

В науковій роботі за допомогою дистанційного зондування Землі визначено динаміку урбанізації прикордонних міст Харківщини до лютого 2022 року. За допомогою радарних даних виявлено зони руйнувань урболандшафтів від впливу військових дій в період 2022-2024 років. Виконана оцінка наслідків руйнувань урболандшафтів. Метою цього дослідження також є створення певного пласту вчення для майбутнього започаткування системи автоматичного аналізу територій та їх класифікації за певними ознаками. Можливе створення особливого реєстру системи для збирання даних та їх обробки для полегшення праці у вибраній темі дослідження. Глибокі, систематичні та адаптовані дані сприятимуть зростанню інформативності, правильності, правдоподібності створених моделей в результаті характеристики отриманих матеріалів. Правильна інтерпретація та уміле вирішення перелічених проблем допоможе у загальній систематизації методу дистанційного дослідження.

Ключові слова: дистанційні методи; супутникові спостереження; радарні дані; урболандшафти; руйнування; прикордонні території.

Постановка проблеми. Дистанційні методи дослідження поверхні земного еліпсоїду залишаються одним з головних напрямів практичних досліджень, що здійснюються у космічній галузі України. Приділяючи увагу розвитку цієї сфери, було сформовано важливі науково-технічні установи зі своїми методами використання цих даних. Спеціалістів цієї галузі на даний час не так багато, тому у багатьох сучасних навчальних закладах було прийнято рішення про створення основи щодо надання знань майбутнім спеціалістам, які допоможуть в подальшому у вивченні дистанційних методів та особливостей їх використання. Наявність більшої кількості залучених спеціалістів стане полегшенням в опрацюванні та дослідженні аспектів ландшафтно-дистанційних методів. Існує гостра необхідність у вирішенні питання розпізнавання, класифікації вибірки, яка на даний момент не є досконалою та є причиною неправильного сприйняття інформації, що призводить до некоректних результатів досліджень.

Нестача спеціалістів не є єдиною причиною недосконалості цього методу у подібному способі використання. Присутнє значення фізичного обмеження кількості та якості отриманих даних супутникових знімків, яке залежить від швидкості руху по орбіті Землі та способу збирання інформації з датчиків та сенсорів її поверхні. Через це метод не набув повного інтегрування у сучасну наукову діяльність та сферу моніторингу за змінами урболандшафтів країни. Але навіть такий набір інформації, які надають супутникові знімки, є достатніми для їх використання та отримання результатів.

Мета роботи – практичне використання методів дистанційного дослідження урболандшафтів та аналіз існуючого законодавчого поля, у якому зазначається план моніторингу щодо оцінки руйнувань урболандшафтів для подальшого їх відновлення.

Виклад основного матеріалу. Війна, яка відбувається на території України, призвела до використання нового вектору використання методів дистанційного дослідження. Набір даних, які можна отримати таким чином, підходить для класифікації типу руйнувань та міри пошкоджень території. Згідно одних з таких досліджень було визначено, що на момент 24 лютого 2024 року було зруйновано понад 213 тисяч об’єктів на території України під час війни [1]. Найбільшої шкоди було нанесено житловому, торгівельному та промисловому секторам. Також існує такий тип впливу, який може виникнути при руйнуванні або пошкодженні одного виду урболандшафтів і викликати зміну інших. Такими об’єктами можна назвати техногенно-навантаженні території з інженерними спорудами типу дамби, електростанції, промисловість з використанням хімікатів тощо. Масштаб ураження від пошкоджень цих об’єктів може бути катастрофічним та сильно вплинути на всі сфери життя в

Україні. Тому існують державні органи, які виконують функції та задачі по моніторингу загальних змін територій та екології. З основних можна виділити Міндовкілля, МНС, МОЗ, Мінагрополітики, Мінжитлокомунгосп, Держводгосп, Держкомлісгосп, Держгеокадастр. Усі вони вже використовують методи дистанційного зондування Землі (ДЗЗ), але у покритті своїх потреб.

Так як до війни використання супутникових спостережень показало ефективність та перспективність розвитку, тож і в активних військових умовах використання дистанційних методів дослідження стало сучасним напрямом у розвитку загального моніторингу змін урболандшафтів [2].

Прикордонні території на Півночі і Сході України зазнали найбільшого нищівного удару від ворожої агресії. Харківщина протягом періоду ведення війни постійно потерпає від обстрілів. Протягом березня 2022 року 22 територіальні громади Харківської області були окуповані, значна частина з них деокуповані у вересні-жовтні того ж року. Лінія фронту продовжує проходити в Куп'янському районі, а також у Вовчанському і Липецькому напрямках (рис. 1). Харків – четверте за кількістю населення місто в Україні, в 2021 році складало близько 1,5 млн осіб. Найбільші міста Харківської області – Лозова, Чугуїв, Ізюм, Куп'янськ, Вовчанськ. В результаті війни з них три останніх постраждали найбільше і майже повністю були зруйновані. Тож додатковими об'єктами дослідження змін територій будуть ці міста.

Рис. 1. Прикордонні території Харківської області із зазначеними територіями, які зазнають найбільшого руйнування

Почнемо з огляду історичного формування урбанізованої території на північному сході України (на прикладі міста Харків). Для дослідження динаміки змін на території міста отримано набір знімків з 1985 року до

2020 року за допомогою функції «зображення в часі» додатку Google Earth Pro [3].

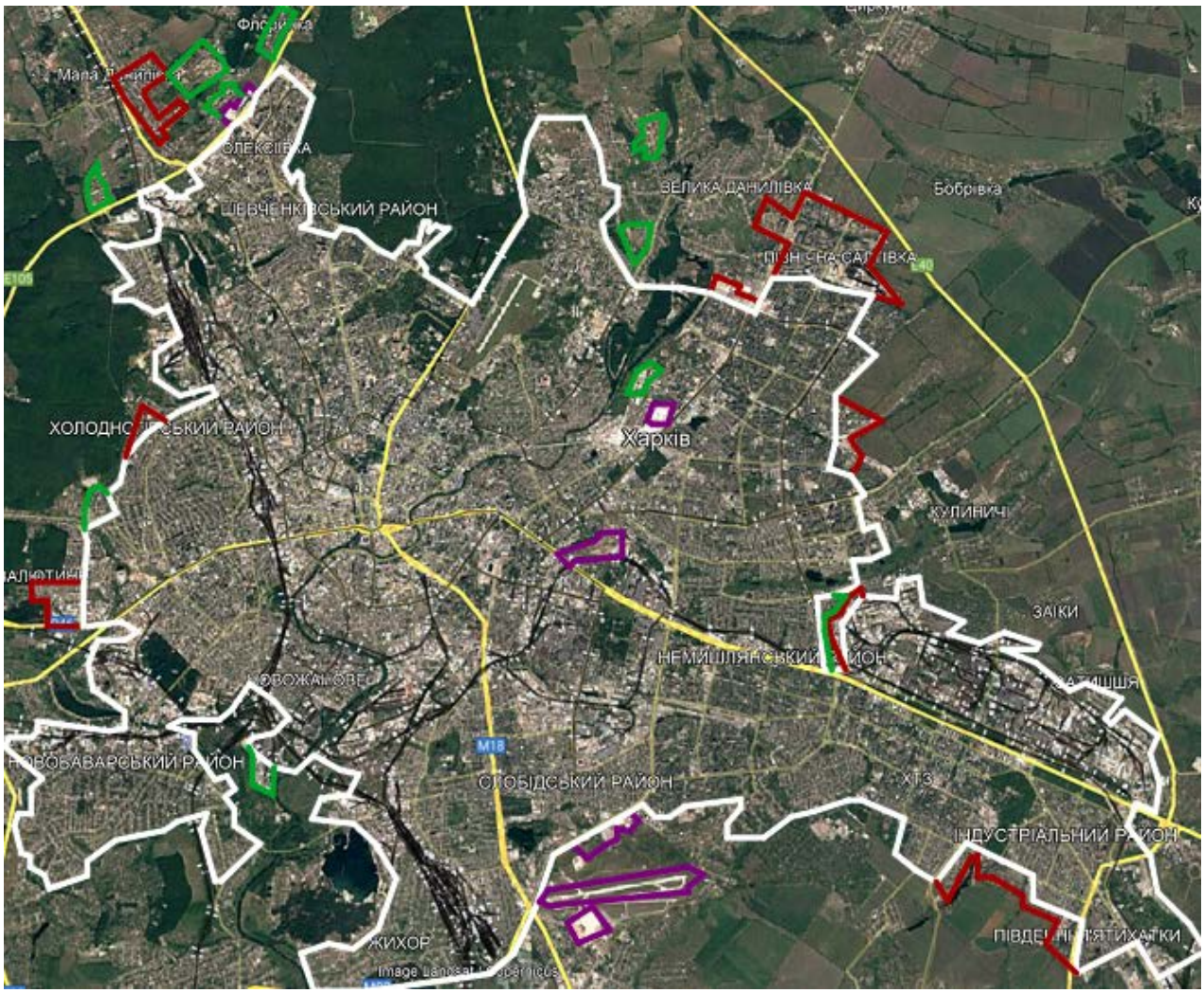


Рис. 2. Урбанізація м. Харкова за період з 1985 по 2020 роки

На рис. 2 динаміка урбанізації виділена кольором: з 1985 р. до 2000 р. – червоним, з 2000 р. до 2010 р. – фіолетовим, з 2010 р. до 2020 р. – зеленим. Можна помітити активні зміни на території таких районів, як Північна Салтівка, Мала Данилівка, Олексіївка, Південна П'ятихатка, Велика Данилівка.

Процес визначення впливу військових дій на територію, особливо на прикордонних територіях, дозволяє детальніше дізнатися про ситуацію та масштаб уражень і втрат від них. За допомогою сучасних технологій обробки супутникових знімків руйнівний вплив на урболандшафти можна визначати дистанційно, навіть з дому. Так, використовуючи дані отримані з супутників, маємо можливість детально дослідити всі зміни за певний час із використанням програм для обробки даних цього виду.

Супутникові знімки, які були використані для подальшої роботи, були завантажені за допомогою ресурсу Alaska Satellite Facility [4]. Подальша

обробка була виконана в ПЗ SNAP [5] за певним алгоритмом. Радіометрична калібровка перетворює цифрові числа у фізичні одиниці супутникової зйомки: Radiometric – Calibrate – Run. Визначення коефіцієнту зворотного розсіювання при кожній поляризації прибирає лишній шум з знімків та нормалізує яскравість: Radar – SAR – Utiilities – Multilooking (багатопотоковість для прискорення процесу обробки) – Run. Корекція місцевості компенсує вплив топографічних змін території зйомки та нахилу супутникового датчика: Radar – Geometric – Terrain Correction – Range – Doopler Terrain Correction – Run. Спільна реєстрація зображень є фундаментальною для отримання зображень інтерферометрії SAR (InSAR) і її застосувань, таких як створення та аналіз карти DEM. Щоб отримати високоякісне зображення InSAR, окремі складні зображення потрібно об'єднати з точністю до субпікселя. Для цього використовуємо інструмент Coregistering, Radar – Coregistration – Coregistration – Run [6-7]. Далі для аналізу змін територій було застосовано інструмент класифікації Random Forest: Raster – Classification – Supervised Classification – Random Forest Classification. У SNAP цей алгоритм часто використовується для класифікації типів земельного покриву, наприклад, для розрізнення лісів, водойм, сільськогосподарських угідь або міських територій.

Готові знімки з розширенням *kmz для візуалізації завантажили в додатку Google Earth Pro, результат наклали на поверхню Землі з відповідною геоприв'язкою (рис. 3).

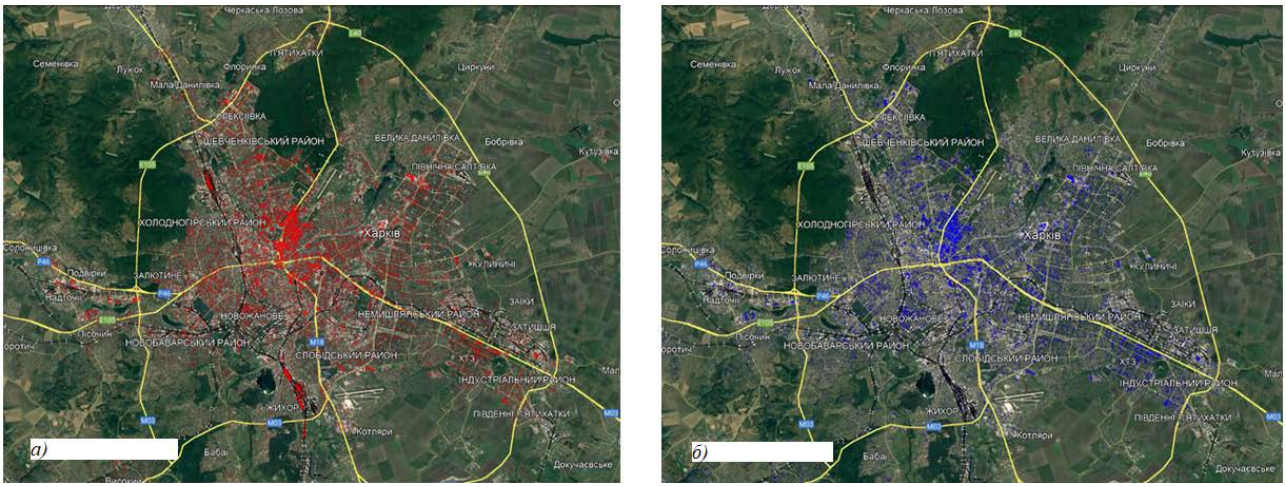


Рис. 3. Забудова м. Харкова на 2021 рік (червоним), на 2024 рік (синім)

На основі обробки знімків за 2021 (рис. 3, а) та 2024 (рис. 3, б) роки, можна зробити висновок, що відбувається поступовий процес руйнації на даній території, відсоток забудованої території зменшився з 6.2 % до 5.1 %. При накладанні знімків добре спостерігаються території, де червоний колір не перекриває синій, отже, ці території були зруйновані або пошкоджені (рис. 4).

Ці зміни вказують на значний вплив військових дій на територію міста. Зміна відсотку забудови на 1,1 % є суттєвим показником зменшення рівня інфраструктури та рівня урбанізації в цілому.

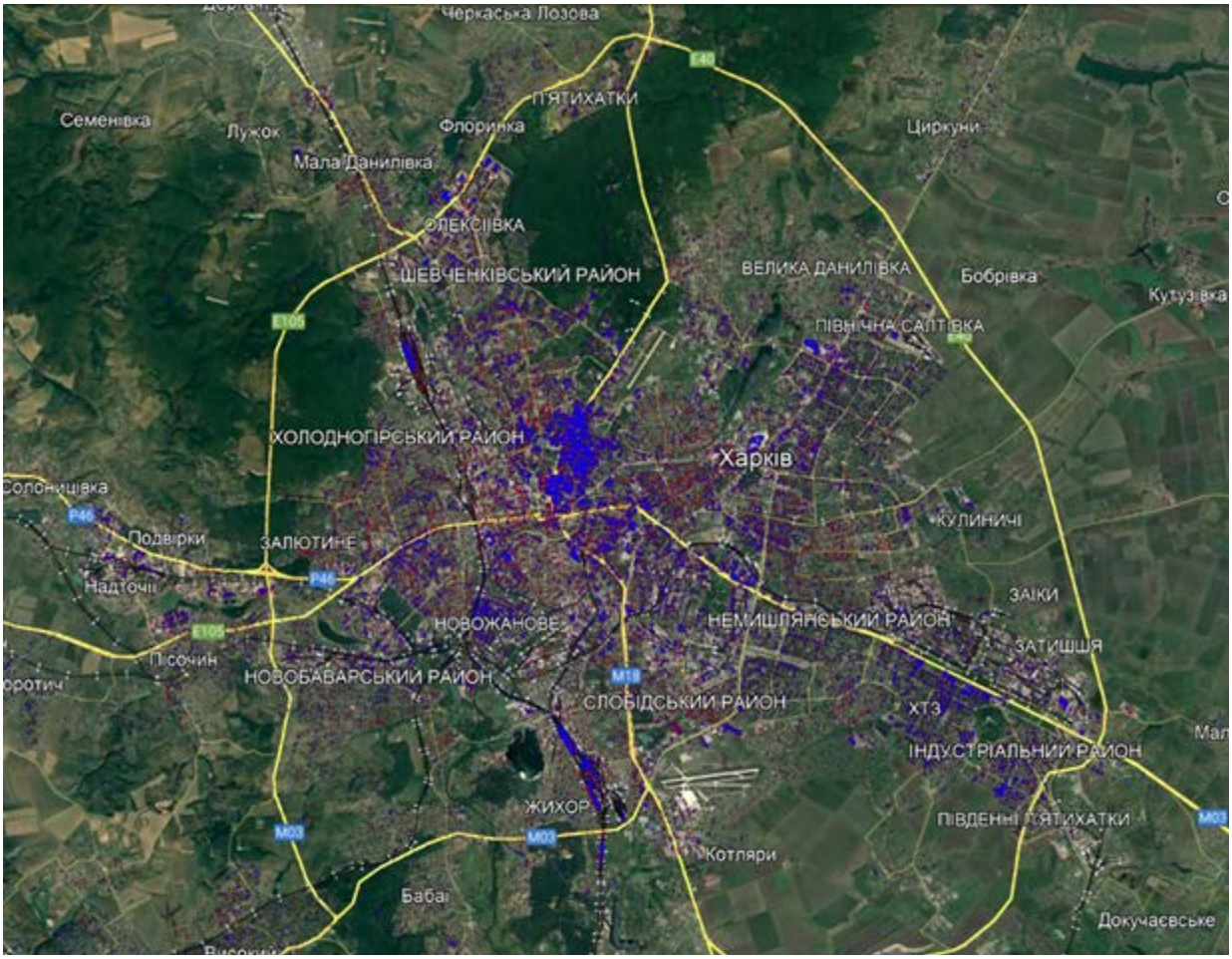


Рис. 4. Накладання шарів забудови м. Харкова: синій (за 2024 рік) на червоний (2021 рік)

Також було досконало досліджено рівень руйнації міста Ізюм Харківської області. Знімки були завантажені на сайті Copernicus [8]. На початок війни м. Ізюм одне з найперших стало в числі тих, що було майже повністю зруйновано. На рис. 5 можна побачити ступінь руйнації і пошкодження самого міста та територій біля нього (близько 85 %).

Додатково були завантажені знімки інших міст Харківської області і порівняні зі знімками за 2021 рік. Найбільших втрат зазнало місто Вовчанськ, яке повністю зруйноване. Інші знімки теж показують повне або часткове руйнування міст унаслідок війни.

Радарні дані можуть збирати сигнали з різною поляризацією, збираючи і контролюючи поляризацію під час передачі та прийому. Таку здатність можна використати для визначення масштабів руйнації. Таким чином в ПЗ SNAP за радарними даними можна визначити не тільки урбанізовані території, а й

порушені ділянки. На прикладі міста Попасне Харківської області з населенням 20 600 людей було досліджено територію на наявність порушених ділянок. За липень-травень 2022 року місто було майже повністю зруйноване, а згодом окуповане.

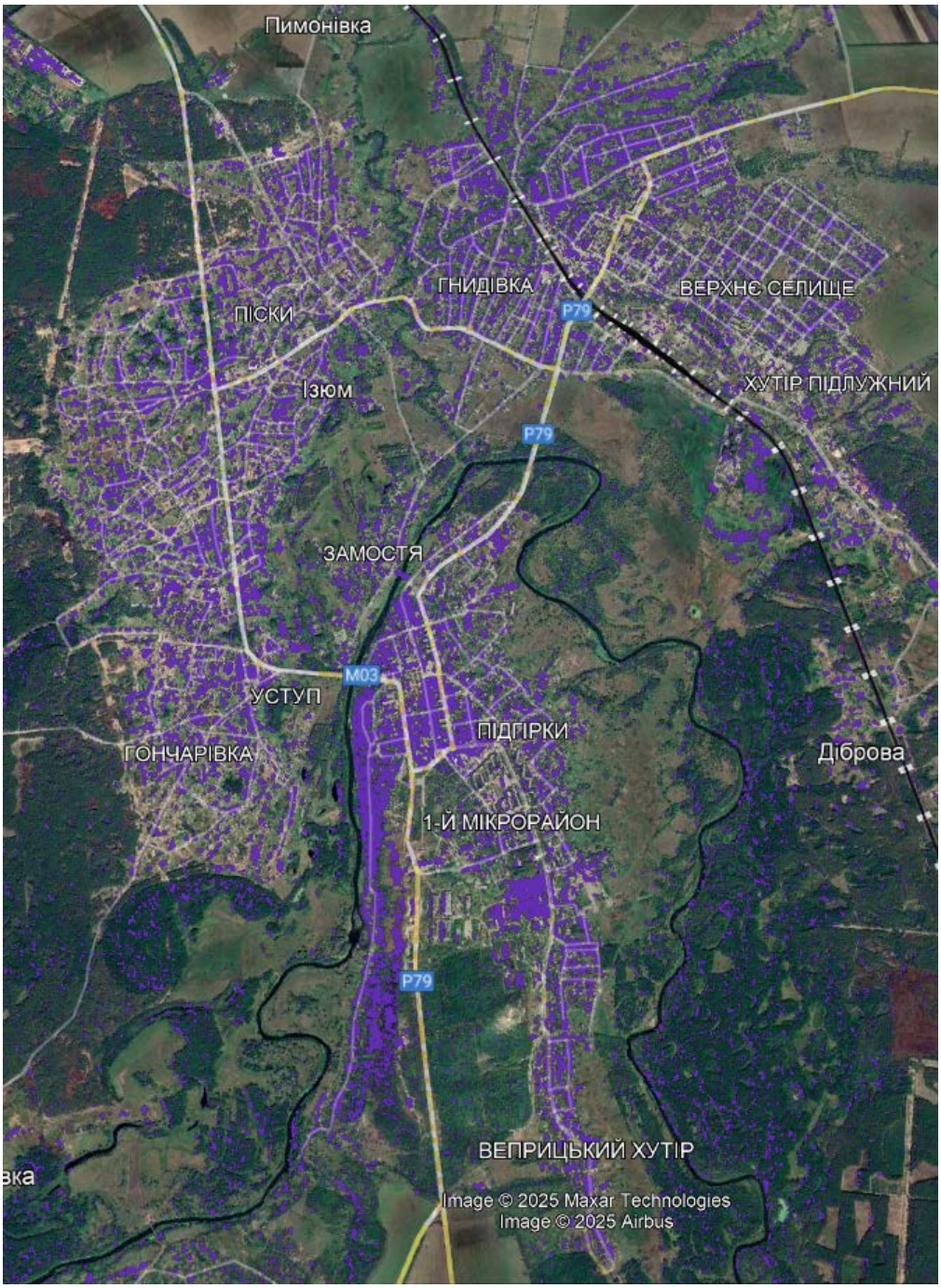


Рис. 5. Місто Ізюм Харківської області на 29 квітня 2022 року
(фіолетовим зазначено зони часткового або повного руйнування)

На рис. 6, а) червоним кольором показано масштаб руйнування міста Попасне. На рис. 6, б) в результаті обробки космічних знімків Sentinel-1 показано ступінь руйнації міста Куп'янськ Харківської області.

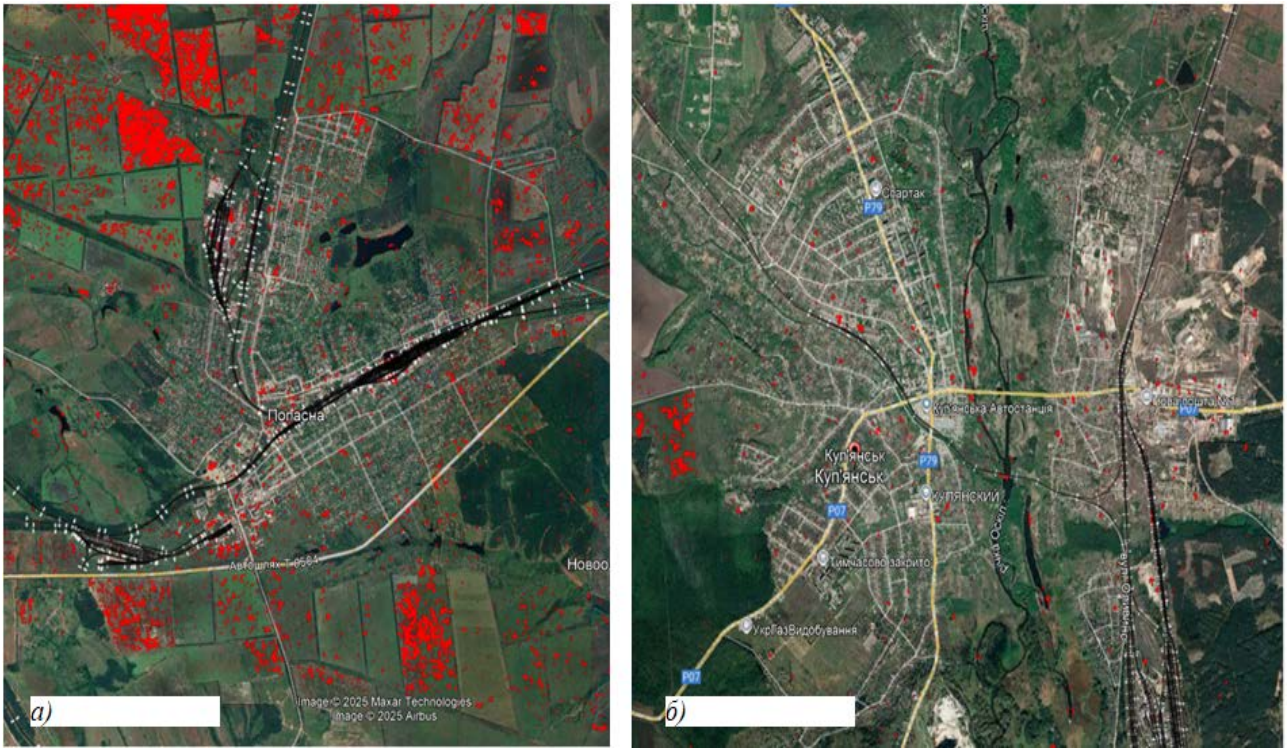


Рис. 6. Виявлення порушених ділянок дистанційним методом:
а) м. Попасне, б) м. Куп’янськ
(червоним - зруйновані або сильно пошкоджені території)

Оцінка наслідків руйнування урболандшафтів є складним процесом, що охоплює екологічні, соціальні, економічні та інфраструктурні аспекти. Руйнування міських екосистем та природних процесів може спричинити погіршення якості повітря через зменшення зелених зон, забруднення водних ресурсів внаслідок руйнування водовідведення, а також збільшення шумового і світлового забруднення. Крім того, деградація ґрунтів та зниження біорізноманіття створюють додаткові екологічні проблеми.

Соціальні наслідки руйнування урболандшафтів проявляються у втраті житла, що залишає людей без домівок і збільшує кількість внутрішньо переміщених осіб. Психологічний стрес, спричинений зміною звичного середовища, впливає на якість життя мешканців. Втрата культурної спадщини через руйнування історичних пам'яток позбавляє громаду її ідентичності. Крім того, залишені руїни знижують рівень безпеки та можуть стати місцем антисоціальної діяльності.

Економічні наслідки включають значні витрати на відновлення зруйнованих будівель, доріг і зелених зон. Руйнування підприємств та інфраструктури призводить до втрати робочих місць, зниження інвестиційної привабливості міста та збільшення витрат на соціальну підтримку постраждалих мешканців, погіршуються умови для бізнесу.

Інфраструктурні проблеми, які виникають через руйнування, включають порушення транспортної системи, що ускладнює мобільність населення. Проблеми з водо- та енергопостачанням залишають мешканців без доступу до основних ресурсів. Руйнування комунікаційних систем ускладнює зв'язок і координацію дій у кризових ситуаціях.

Для мінімізації наслідків руйнування та створення стійких міських систем необхідно вжити низку заходів. По-перше, варто створювати зелені насадження, які сприяють відновленню екологічної рівноваги. По-друге, при відновленні інфраструктури необхідно використовувати сучасні матеріали та технології, щоб зробити її більш стійкою до можливого майбутнього руйнування. Не менш важливою є соціальна підтримка постраждалих мешканців, зокрема надання тимчасового житла, а також психологічної та медичної допомоги. У довгостроковій перспективі необхідно розробити плани сталого розвитку, які враховують можливі руйнування та спрямовані на зменшення їх наслідків у майбутньому. Тому оцінка наслідків руйнування міського ландшафту є складним завданням, яке потребує системного підходу та залучення фахівців різних галузей. Це не тільки дозволить нам зрозуміти масштаби проблеми, а й розробити ефективні стратегії відновлення та сталого розвитку майбутніх міських територій.

З початку повномасштабного вторгнення на територію України в законодавчому полі було закладено початок формування документів щодо характеристики та класифікації зруйнованих або пошкоджених об'єктів. Акт Міністрів України від 20 березня 2022 року № 326 «Про затвердження Порядку визначення шкоди та збитків, завданих Україні внаслідок збройної агресії Російської Федерації» [9] можна вважати першим з таких. В Постанові зазначено напрями, за якими потрібно визначити параметри та тип ушкоджень та на підставі цього встановити відповідального за визначення типу ушкоджень та відповідального за проведення методики по відновленню. Для конкретного прикладу візьмемо план дій щодо об'єктів житлового, комунального господарства (об'єкти у сфері теплопостачання, об'єкти водопостачання і водовідведення і решта об'єктів житлово-комунального господарств). Згідно цього типу об'єктів параметрами оцінки є: вартість знищених або пошкоджених об'єктів житлового та комунального господарства, фактичні витрати для відновлення об'єктів житлового комунального господарства, витрати на демонтаж зруйнованих споруд, їх утилізацію, інші показники та параметри. Відповідальним за проведення оцінки та проведення методики зазначено Мінрегіон. На прикладі такої оцінки можна зробити висновок про необхідність створення переліку характеристик для класифікації видів ушкоджень.

На початку реалізації проєкту були затверджені не всі акти. Але аналіз затверджених і проєктних документів дав змогу сформувати достатньо повний перелік типів пошкоджених і зруйнованих об'єктів, інформація щодо яких має бути в базі даних руйнувань територіальної громади й може бути використана під час майбутнього розроблення документів стратегічного і просторового планування територіальної громади (програми комплексного відновлення, стратегії розвитку, комплексного плану просторового розвитку тощо).

Спочатку, за відсутності переліку пошкоджених або зруйнованих об'єктів, існувала нестача інформації про порядок проведення та послідовність дій у таких обставинах. При формуванні переліку було визначено, що у складі бази пошкоджених і зруйнованих об'єктів мають бути усі об'єкти, а не тільки житлового та соціального сектору. Виникла необхідність у створенні бази про земельні ділянки, об'єкти навколишнього середовища, промислового та виробничого сектору. За результатами аналізу було сформовано перелік із шести категорій: цивільні будівлі та споруди, виробничі будівлі та споруди, транспортні будівлі, інженерні мережі, землекористування, об'єкти навколишнього середовища. Створення детального списку класифікованих споруд, поділених на класи та типи, є необхідним для аналізу ступені руйнування та для подальшого планування процесу відновлення. Також такий список дозволить класифікувати характер пошкоджень і використовувати їх у документах стратегічного та просторового планування відновлення.

На сьогоднішній день вже існує певний порядок дій та процесів, які проводяться залежно від класу пошкоджень та ступені руйнувань. Існує певний список критеріїв, за яким наведена будова відноситься до ступеню руйнування. Наявність такого виду інформації надає змогу точнішого прогнозування переліку завдань та розрахунку втрат на відновлення та виконання робіт.

Також існує необхідність у визначені оптимального способу дослідження певних територій або надання інформації про найкращий метод визначення характеру та виду руйнувань певних територій. Вибір методу може залежати від розміру територій руйнувань, кількості та масштабу пошкоджень, особливостей території та місцевості. Для загального виду ідентифікації руйнувань необхідне використання ресурсів дистанційного дослідження. До них відносяться зазначені супутникові знімки, аерофотознімки, матеріали отримані з БПЛА (безпілотних літальних апаратів), матеріали наземних способів збору. Їх використання значною мірою полегшить завдання створення бази даних про руйнування та пошкодження. Початком процесу її створення можна вважати появу постанов про внесення змін у чинні закони щодо моніторингу довкілля, прийняття законів щодо збору, обробки та обліку

інформації про пошкоджені території, створення порядку проведення робіт по ліквідації наслідків ушкоджень.

Висновки та пропозиції. Застосування радарних технологій з подвійною поляризацією через різницю їх даних надало змогу визначити конкретні зони руйнувань та оцінити масштаб уражень міст прикордонних областей, побачити зруйновані території та інші пошкоджені населені пункти. Проведена оцінка наслідків руйнувань також підтверджує важливість дистанційних методів моніторингу для подальшого відновлення та планування післявоєнної реконструкції. Розроблені методики готові для використання та для подальшого відслідковування змін, загального масштабу впливу на довкілля та формування стратегії по відновленню цих територій. Для розвитку існує потреба у корегуванні правового та законодавчого процесу до методів ДЗЗ у визначенні зруйнованих територій. Необхідна характеристика для визначення найкращих дистанційних методів у різних задачах, виходячи з особливостей місцевості або процесу зйомки та дослідження. Це дозволить інтегрувати його як сучасний та досконалий процес у майбутньому відновленні країни.

Список використаних джерел:

1. Внаслідок війни на Хмельниччині пошкоджено й зруйновано понад 6 тисяч об’єктів - дослідження - ХМ-ІНСАЙД. *ХМ-ІНСАЙД*. URL: https://www.xm-inside.com/news/vnaslidok-vijny-na-hmelnychchyni-poshkodzheno-j-zrujnovano-ponad-6-tysyach-obyektiv-doslidzhennya/.

2. Geomatic monitoring of environmental hazards in technogenic-loaded territories / S. Nesterenko et al. *Zemleustrìj, kadastr ì monìtorìng zemel'*. 2023. Vol. 2023, no. 2. URL: DOI:10.31548/zemleustriy2023.02.03.

3. Google Earth Pro. https://www.google.com/intl/ru_ALL/earth/versions/.

4. Alaska Satellite Facility. https://asf.alaska.edu/.

5. SNAP. https://step.esa.int/downloads/6.0/installers/esa-snap_all_unix_6_0.sh.

6. Gabriele M., Previtali M. A GIS and Remote Sensing Approach for Desertification Sensitivity Assessment in Basilicata Region (Italy). Conference: ICGDA 2020: 2020 3rd International Conference on Geoinformatics. April 2020. DOI:10.1145/3397056.3397079.

7. InSAR Technology: An effective tool for ground deformation monitoring. Home - insar. space. Retrieved from https://insar.space/.

8. Copernicus. https://browser.dataspace.copernicus.eu/.

9. Про затвердження Порядку визначення шкоди та збитків, завданих Україні внаслідок збройної агресії Російської Федерації: Постанова Каб.

Міністрів України від 20.03.2022 № 326: станом на 20 груд. 2024 р. URL: https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/326-2022-п#Text.

PhD, Associate Professor **Nesterenko Svitlana**, Student **Bas Daniil**,
National University «Yuri Kondratyuk Poltava Polytechnic»

APPLICATION OF REMOTE SENSING METHODS RESEARCHED FOR PREDICTION OF POST-WAR RECOVERY OF URBOLANDSCAPES

The use of modern methods of territorial research is a particularly important element of tracking changes in urban landscapes. The availability of satellite images makes it possible to determine in detail the dynamics of changes remotely, identify the features of these changes, factors, and consequences of the changes formed over a certain period of time. The process of collecting, receiving, processing and disseminating research data is the basis for identifying this method as a separate type of monitoring. It is the basis for creating a cadastre of destroyed territories and their changes. Further use of this cadastre is to establish patterns, options for solving problems, a plan for restoration and reducing overall losses.

In a scientific paper, using remote sensing of the Earth, the dynamics of urbanization of border cities in the Kharkiv region until February 2022 was determined. Using radar data, zones of urban landscape destruction due to military actions in the period 2022-2024 were detected. The consequences of urban landscape destruction were assessed. The purpose of this study is also to create a certain layer of teaching for the future creation of a system for automatic analysis of territories and their classification by certain characteristics. It is possible to create a special register of the system for data collection and processing to facilitate work in the selected research topic. Deep, systematic and adapted data will contribute to the growth of information content, correctness, plausibility of the created models as a result of the characteristics of the obtained materials. Correct interpretation and skillful solution of the listed problems will help in the general systematization of the remote sensing method.

Keywords: remote sensing methods; satellite observations; radar data; urban landscapes; destruction; border areas.

REFERENCES

1. As a result of the war in the Khmelnytskyi region, more than 6 thousand objects were damaged and destroyed - research - XM-INSAID. *XM-INSAID*. URL: https://www.xm-inside.com/news/vnaslidok-vijny-na-hmelnychchyni-

poshkodzheno-j-zrujnovano-ponad-6-tysyach-obyektiv-doslidzhennya/. {in Ukrainian}

2. Geomatic monitoring of environmental hazards in technogenic-loaded territories / S. Nesterenko et al. *Zemleustrìj, kadastr ì monìtorìng zemel'*. 2023. Vol. 2023, no. 2. URL: DOI:10.31548/zemleustriy2023.02.03. {in Ukrainian}

3. Google Earth Pro. https://www.google.com/intl/ru_ALL/earth/versions/.{in English}

4. Alaska Satellite Facility. https://asf.alaska.edu/.{in English}

5. SNAP. https://step.esa.int/downloads/6.0/installers/esa-snap_all_unix_6_0.sh. {in English}

6. Gabriele M., Previtali M.A. GIS and Remote Sensing Approach for Desertification Sensitivity Assessment in Basilicata Region (Italy). Conference: ICGDA 2020: 2020 3rd International Conference on Geoinformatics. April 2020. DOI:10.1145/3397056.3397079. {in English}

7. InSAR Technology: An effective tool for ground deformation monitoring. Home - insar. space. Retrieved from https://insar.space/.{in English}

8. Copernicus. https://browser.dataspace.copernicus.eu/.{in English}

9. On approval of the Procedure for determining damage and losses caused to Ukraine as a result of the armed aggression of the Russian Federation: Postanova Kab. Ministriv Ukrainy vid 20.03.2022 № 326. URL: https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/326-2022-п#Text. {in Ukrainian}

DOI: 10.32347/2786-7269.2025.11.642-653
УДК: 528.8+332.2

к.т.н, доцент **Пілічева М.О.,**
maryna.pilicheva@kname.edu.ua., ORCID: 0000-0003-1733-7534,
Гамаюн І.В.,
innavl2002@gmail.com, ORCID: 0000-0002-8730-1580,
Харківський національний університет
міського господарства імені О. М. Бекетова

ОЦІНКА НАПОВНЕННЯ БАЗИ ГЕОПРОСТОРОВИХ ДАНИХ КОМПЛЕКСНОГО ПЛАНУ ПРОСТОРОВОГО РОЗВИТКУ ТЕРИТОРІЇ З ВІДКРИТИХ ДЖЕРЕЛ

У дослідженні проаналізовано особливості використання відкритих геопросторових даних при формуванні бази геоданих комплексного плану просторового розвитку. Встановлено, що процес наповнення бази геоданих даними з відкритих джерел включає в себе наступні етапи: пошук і аналіз відкритих джерел, збір даних та їх уніфікацію, приведення до єдиної системи координат, валідацію даних та усунення помилок. На прикладі села Івашки визначено, що з відкритих джерел (QuickOSM, Overpass, HGT-файл) можна отримати геопросторові дані від 10 % до 70 % наявних об'єктів. В середньому ж для населеного пункту доступно тільки близька 30–40 % геопросторових даних. Для забезпечення максимальної точності та повноти даних необхідно використовувати додаткові джерела інформації.

Ключові слова: просторове планування; комплексний план просторового розвитку; геоінформаційна система; база геопросторових даних; відкриті джерела; уніфікація та верифікація геоданих.

Актуальність теми дослідження. В умовах стрімкої урбанізації та розвитку децентралізації в Україні особливої актуальності набуває питання ефективного просторового планування територій. Визначальним документом сталого розвитку та стратегічного планування на територію громади є комплексний план просторового розвитку території територіальної громади. На законодавчому рівні даний вид документації був запроваджений у 2021 р., але на сьогодні розробка комплексних планів ще не набула усталеної практики. І це, перш за все, пов'язано з проблемами формування актуальних та якісних геопросторових даних, що характеризують стан землекористування, наявну інфраструктуру, обмеження та природні характеристики. Для отримання зазначеної інформації застосовують традиційні геодезичні методи, дані дистанційного зондування та лазерного сканування, які є трудомісткими та

вартісними. На заміну їм можна використовувати інформацію з відкритих недержавних джерел, які представляють собою краудсорсингові проєкти, які запроваджені на волонтерських засадах або в рамках грантових програм.

Постановка проблеми. Сьогодні найпоширенішими веб-джерелами картографічних даних на всю планету Земля є сервіси Google Maps, Google Earth, Open Street Map тощо. Вони містять набори геопросторових даних з векторним представленням будинків, вулиць, адрес тощо. При використанні веб-картографічних ресурсів можуть виникати ряд проблемних питань [1]:

− відсутність відповідальної особи, а відповідно відсутність гарантії якості даних;

− точність та детальність даних з відкритих джерел значно поступається точності топографічних карт та планів, бо в більшості випадків не можливо визначити масштаб геопросторових даних з відкритих джерел;

− відсутність атрибутивних даних;

− отримання даних у визначених форматах, тому виникає необхідність у додатковій перевірці та перетворенні даних у необхідний замовнику формат;

− відкриті джерела даних можуть мати певні технічні обмеження на отримання.

Тому питання використання геопросторових даних з відкритих джерел для просторового планування потребує додаткового дослідження.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Теоретико-методологічні та практичні аспекти використання геопросторових даних у територіальному плануванні досліджено як у працях вітчизняних науковців, так і закордонних. Фундаментальні засади інтелектуального аналізу геопросторових даних для завдань сталого розвитку територій представлено в дослідженні [2], де запропоновано алгоритмічні підходи до обробки просторової інформації та обґрунтовано необхідність використання відкритих джерел геоданих. Геопросторові дані потребують додаткового опрацювання в геоінформаційних системах, тому вченими розробляються методи їх інтеграції та оновлення [3]. Додатково підіймаються питання формування інфраструктури геопросторових даних для забезпечення сталого розвитку територій [4].

Цікавими є наукові роботи, в яких автори порівнюють різні відкриті джерела даних, такі як Google Places, Bing Maps, Yellow Pages та OpenStreetMap, з метою визначення їх точності та придатності для детального картографування територій [5], оцінюють можливість використання геопросторових даних про туристичні об’єкти [6], населені пункти [7, 8] та об’єкти будівництва (будівлі та будинки) [9]. При цьому всі науковці приходять до висновку, що, з одного боку, оприлюднена інформація являється цінною для просторового аналізу, але, з іншого боку, між відкритими геоданими та даними з

офіційних джерел існують великі розбіжності, також не всі дані з відкритих джерел є високоякісними, узгодженими та з наявною повною атрибутивною інформацією.

Проведений аналіз свідчить про активний розвиток методологічної бази використання відкритих геопросторових даних у територіальному плануванні, проте питання оцінки кількісних показників повноти відкритих даних про територію потребує подальшого дослідження.

Мета дослідження (статті). Дослідження спрямоване на розробку методичного підходу до оцінювання повноти та достовірності наповнення бази геопросторових даних, отриманих з відкритих джерел, для забезпечення якісної картографічної основи комплексного плану просторового розвитку території.

Виклад основного матеріалу. Комплексний план просторового розвитку території розробляється на основі бази геопросторових даних (БГД), структура якої є уніфікованою, стандартизованою та затвердженою наказом [10]. БГД повинна забезпечувати інтеграцію різноманітних джерел інформації, що включають дані про використання земель, обмеження, інфраструктуру, об’єкти будівництва, природні ресурси, а також соціальні й економічні характеристики території.

Для розробки БГД комплексного плану найчастіше використовують програмне забезпечення QGIS, яке є у вільному доступі та надає можливість вільно використовувати усі налаштування та плагіни [11]. Ініціативною групою Julies Data був розроблений плагін UA_MBD_Tools [12], що призначений для пакетного імпорту обмінних файлів в форматах: *geojson, *gdb, *gpkg, *shp у БГД містобудівної документації на місцевому рівні. Плагін дає змогу користувачу забезпечити вільний доступ до наборів даних, стилів, атрибутивних даних, а також інтегрувати нові дані, коригувати та оновлювати інформацію в розроблених шарах БГД.

Процес наповнення БГД даними з відкритих джерел включає в себе три основні етапи:

1. пошук і аналіз відкритих джерел для вільного експорту різноформатних даних та їх оцінку;

2. збір даних, їх уніфікацію, приведення до єдиної системи координат (УСК-2000) та формату даних;

3. валідація даних, усунення топологічних/технічних помилок та перевірка повноти атрибутивних даних.

На рисунку 1 представлена схема процесу уніфікації різноформатних вихідних даних в єдину базу геоданих.

Дослідження проводилося для села Івашки Полтавського району Полтавської області. Для оцінки повноти відкритих даних використана

інформація з містобудівної документації на місцевому рівні, а саме з генерального плану с. Івашки, який було завантажено з Порталу відкритих даних України [13].

Рис. 1. Схема уніфікації вихідних даних в формат єдиної БГД

На початку дослідження проаналізовано інформацію про межу населеного пункту, оскільки саме цей елемент відіграє ключову роль у просторовому плануванні, бо визначає територію реалізації містобудівних заходів. За результатами аналізу встановлено, що межі населеного пункту можуть значно варіюватися залежно від джерела геопросторових даних. Результат векторизації межі та площі села Івашки згідно різних картографічних основ, таких як: Генеральний план, Google Map, OSM, Visicom представлено на рисунку 2.

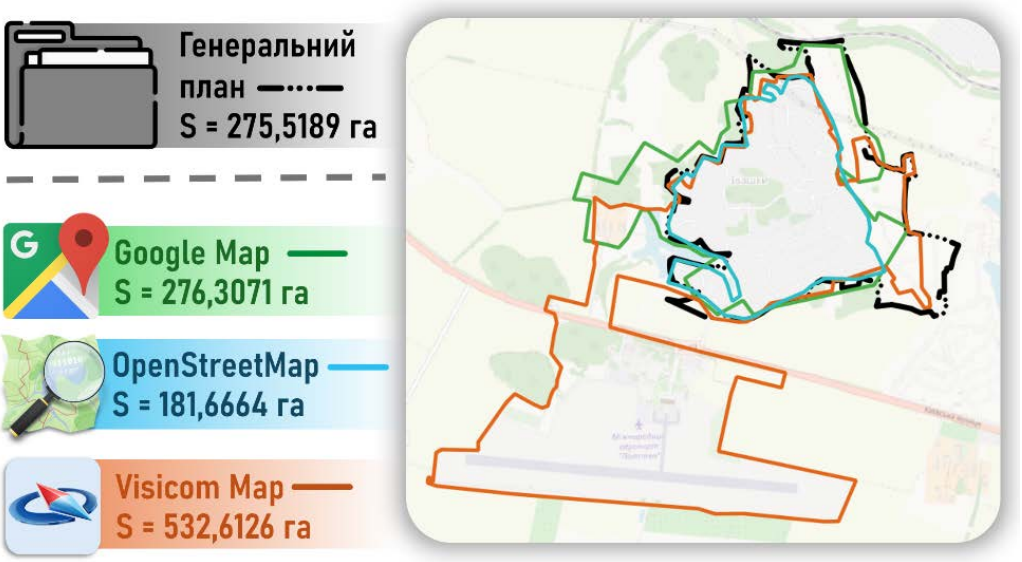


Рис. 2. Аналіз відмінностей меж с. Івашки та їх площ відповідно до різних картографічних ресурсів

Результати показують, що кожен із зазначених вище ресурсів містить певні відмінності у відображенні меж населеного пункту, що пояснюється

різними підходами до збору та оновлення даних, а також можливими похибками, пов'язаними з їхнім узагальненням.

Площа с. Івашки згідно з даними Google Map (276,3071 га) та Генерального плану (275,5189) є майже однаковими. Водночас їхнє просторове розташування відрізняється, що може впливати на аналіз територіального планування. Оскільки 2 інші ресурси (OSM та Visicom) продемонстрували велику розбіжності у визначенні меж села Івашки, використання будь-якого з них як основного джерела, могло б призвести до некоректного визначення території населеного пункту. З огляду на це варто використовувати офіційну містобудівну документацію.

Наступним етапом формування бази геоданих є наповнення шару будівлі та споруди. Для експорту геопросторових даних про будівлі обрано плагін QuickOSM, який вирізняється своєю функціональністю, можливістю експорту векторних даних, зручністю використання, а також гарною інтеграцією з картографічною підложкою OSM [14]. Цей інструмент дозволяє здійснювати вибірку даних з OpenStreetMap за допомогою простих запитів, що значно спрощує процес отримання необхідної інформації Приклад експорту будівель та споруд наведено на рисунку 3.

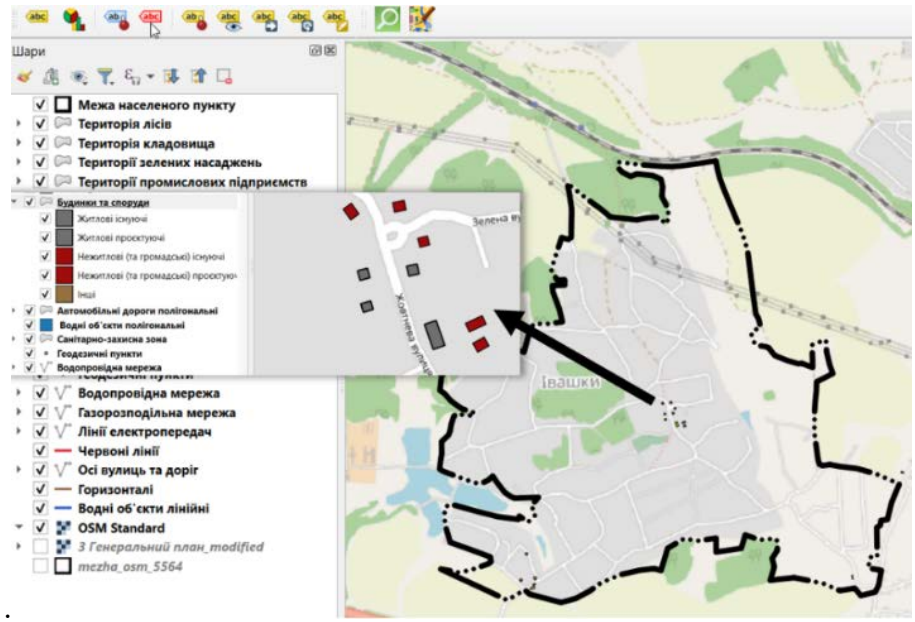


Рис. 3. Експорт об'єктів для шару «Будівлі та споруди»

У процесі аналізу виявлено, що на території села Івашки в базі OSM було знайдено лише 17 будівель/споруд, тоді як відповідно до картографічних матеріалів Google Maps та містобудівної документації їх має бути значно більше.

Це факт свідчить про те, що дані в OSM для даного населеного пункту є:

1) неповними, бо значна частина забудови відсутня в базі;

2) недостатньо оновленими, тобто внесені об’єкти можуть бути застарілими або не враховувати нову забудову;

3) залежними від спільноти користувачів, тому деталізація картографічної інформації напряму пов’язана з активністю волонтерів, які наповнюють БГД.

Основна причина такої ситуації полягає в тому, що невеликі населені пункти мають значно менше активних користувачів OSM, які займаються додаванням та оновленням даних. На відміну від великих міст, де активно працюють спільноти картографів, у сільській місцевості оновлення здійснюється рідше, що може призводити до значних прогалин у базі даних.

Однак, при переході до роботи з більшими обсягами даних ефективнішим підходом є використання Overpass [15]. На відміну від QuickOSM, він дозволяє формувати складні запити, які дають змогу гнучко налаштовувати пошук, відбираючи лише потрібні об’єкти за атрибутами та географічними обмеженнями. Однією з ключових переваг Overpass є можливість експорту даних у форматі GeoJSON. Для експорту даних використовується функція Wizard, яка допомагає формувати легкі запити/теги для користувачів. Перелік використаних тегів для наповнення певних шарів БГД наведено у таблиці 1. Таким чином було експортовано геопросторову інформацію про ліси, автомобільні дороги, водні об’єкти.

Горизонталі, або ізолінії, є важливим елементом для відображення рельєфу місцевості в базах геоданих. Незважаючи на те, що за допомогою платформ QuickOSM та Overpass неможливо отримати дані щодо горизонталей, існують альтернативні можливості для отримання висотної інформації. Одним із таких варіантів є завантаження висотних даних у форматі HGT/DEM з відкритого джерела Earth Data Search. Ця платформа надає доступ до широкого спектру висотних даних, включаючи цифрові моделі рельєфу (DEM), що дозволяє створювати точні моделі ландшафтів і аналізувати висоти різних територій.

Таблиця 1

Перелік використаних тегів використаних для наповнення БГД

Тег	Опис тегу	Приклад Overpass-запиту з використанням тегу	Шар бази геоданих для якого використано тег
natural=wood	території, що покриті лісами	[out:json];(node,way,relation[natural=wood];);out;	Територія лісів
highway=*	усі види доріг та вулиць	[out:json];(way[highway];);out;	Автомобільні дороги
landuse=cemetery	території кладовищ	[out:json];(way[landuse=cemetery];);out;	Територія кладовищ
natural=water	Водні об’єкти	[out:json];(node,way,relation[natural=water];);out;	Водні об’єкти

Висотні дані HGT/DEM забезпечують достатньо хорошу основу для аналізу рельєфу, їхня точність значно нижча порівняно з даними, отриманими з генерального плану. Наприклад, дані HGT/DEM можуть мати похибки внаслідок низької роздільної здатності, що робить їх менш точними при деталізованому відтворенні місцевості. Також вони можуть бути недостатньо актуальними. Проте в ситуаціях, коли немає доступу до більш точних джерел, використання даних HGT/DEM може стати хорошим варіантом для відтворення рельєфу на території, зокрема на великих площах.

Враховуючи важливість використання актуальної та точної інформації для формування комплексного плану просторового розвитку, проведено аналіз даних для кожного шару шляхом порівняння з даними генерального плану. У таблиці 2 представлена оцінка наповнення окремих шарів БГД за допомогою відкритих джерел для с. Івашки. Для кожного шару проведено оцінювання за такими характеристиками, як кількість експортованих об’єктів, відсоткове співвідношення до загальної кількості об’єктів згідно з Генеральним планом, законодавча чинність та джерело вихідних даних.

Таблиця 2

Оцінка наповнення окремих шарів БГД за допомогою відкритих джерел для с. Івашки

Назва шару	Кількість експорто-ваних об’єктів	Відсоткове співвідношення до загальної кількості об’єктів згідно Генерального плану, %	Законо-давча чинність, %	Джерело вихідних даних
Межа населеного пункту	1	100%	100%	Генеральний план
Будівлі та споруди	17	10%	50%	QuickOSM
Автодороги	350	70%	70%	QuickOSM
Осі доріг	71	70%	70%	QuickOSM
Водні об’єкти	2	70%	70%	QuickOSM
Території лісів	8	40%	70%	Overpass
Горизонталі	66	30%	20%	HGT-файл

За результатами таблиці 2 визначено, що можна отримати з відкритих джерел геопросторові дані від 10 % до 70 % наявних об’єктів в залежності від території, найменшу кількість даних (10 %) отримано для шару «Будівлі та споруди», найбільшу (70 %) – для шарів «Автодороги», «Осі доріг» та «Водні об’єкти».

На основі таблиці 2 на рисунку 4 наведена загальна оцінка якості наповнення бази геоданих с. Івашки за допомогою відкритих джерел, де

зазначено усереднені показники проведеного дослідження. За результатами рисунку 4 визначено, що наповнити геопросторовими даними з відкритих джерел (QuickOSM, Overpass, HGT-файл) БГД комплексного плану просторового розвитку території можна тільки на 30-40 % для сільських населених пунктів.

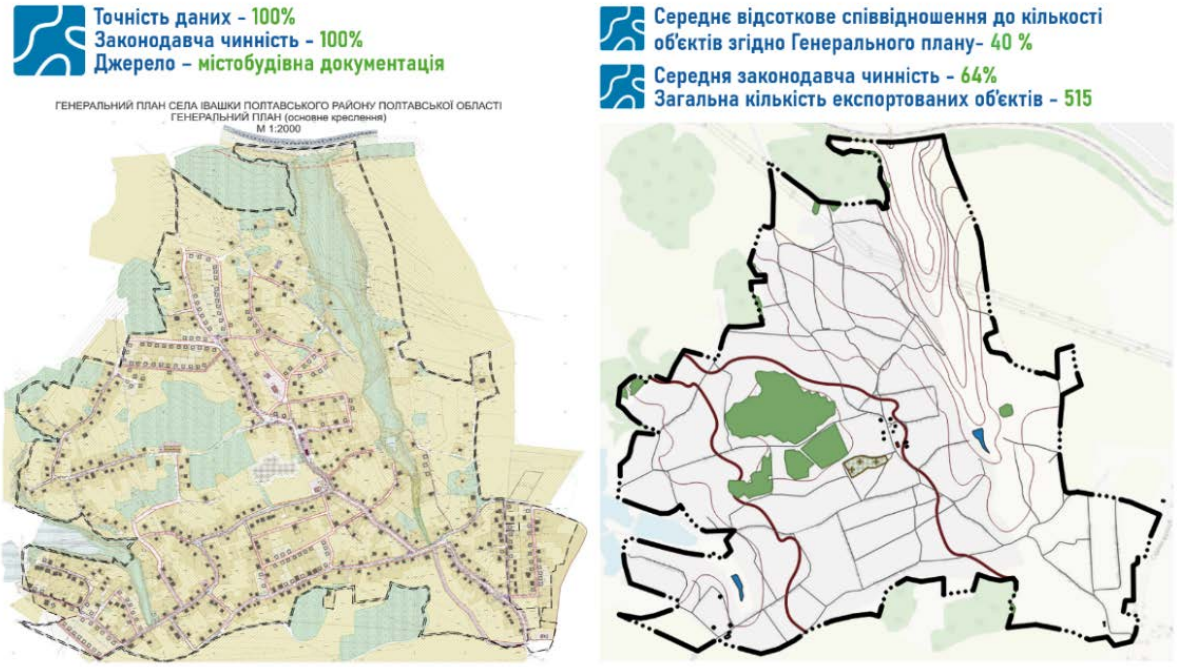


Рис. 4. Загальна оцінка якості наповнення бази геоданих с. Івашки за допомогою відкритих джерел

При аналізі відкритих джерел геоданих було виявлено як значні переваги, так і суттєві недоліки. Серед переваг варто відзначити постійно зростаючу доступність геопросторових даних через такі платформи як OpenStreetMap, Overpass та інші відкриті геопортали. Ці ресурси надають безкоштовний доступ до базових наборів геопросторових даних, що оптимізує процес створення та наповнення баз геопросторових даних. Платформи відкритих даних надають значні можливості різноформатного експорту для геоінформаційних систем, що оптимізує роботу з великими обсягами просторової інформації.

На противагу перевагам використання відкритих джерел геопросторових даних, дослідження виявило ряд суттєвих обмежень, зокрема неповноту та фрагментарність даних для віддалених сільських територій, недостатню актуальність інформації та точність просторової прив’язки об’єктів.

Висновок. Таким чином, встановлено, що використання відкритих джерел геопросторових даних є ефективним інструментом інформаційного забезпечення розроблення комплексних планів, але потребує обов’язкової верифікації та валідації даних.

Дослідження виявило значну нерівномірність у повноті та якості даних між різними територіями. Якщо для міст характерна висока деталізація та регулярне оновлення даних, то для сільських територій часто спостерігається недостатнє покриття та застарілість інформації.

Проведена комплексна оцінка наповнення окремих тематичних шарів бази геоданих комплексного плану просторового розвитку території виявила різний рівень повноти та достовірності даних для різних об'єктів. Найбільшу кількість даних з відкритих джерел можна отримати тільки для об'єктів транспортної інфраструктури. В середньому ж для населеного пункту доступно тільки близька 30–40 % геопросторових даних з QuickOSM, Overpass, HGT-файл. Для забезпечення максимальної точності та повноти даних необхідно використовувати додаткові джерела, зокрема містобудівну документацію, яка містить офіційно затверджену інформацію. Таким чином, поєднання відкритих картографічних ресурсів з офіційною документацією є оптимальним підходом до формування БГД комплексного плану просторового розвитку території.

Отримані результати мають практичне значення для вдосконалення процесу просторового планування територій та можуть бути використані при розробленні БГД комплексних планів просторового розвитку інших населених пунктів України. Подальші дослідження доцільно спрямувати на розроблення автоматизованих інструментів верифікації геопросторових даних та розширення переліку джерел відкритих даних для підвищення повноти інформаційного забезпечення документації з просторового розвитку.

Список джерел

1. Карпінський Ю.О., Кінь Д.О. Методичні рекомендації щодо діяльності органів місцевого самоврядування у сфері НІГД: практ. посіб. Київ: КНУБА, 2023. 276 с. URL: https://land.gov.ua/wp-content/uploads/2024/03/posibnyk-gromadam-nigd_fin.pdf (дата звернення: 23.02.2025).

2. Путренко В.В. Методологія інтелектуального аналізу геопросторових даних для задач сталого розвитку: дис. … д-ра техн. наук: 01.05.04. Київ, 2020. 449 с.

3. Ясінецька І.А., Кушнірук Т.М., Лобанова О.П. Створення муніципальної інформаційної системи міста за допомогою ГІС-технологій. *Науковий вісник Ужгородського національного університету*. 2018. Вип. 17. Ч. 2. С. 158–161.

4. Лященко А., Карпенко О., Черін А. Інфраструктура геопросторових даних та геоінформаційне забезпечення сталого розвитку територіальних громад. *Містобудування та територіальне планування*. 2021. № 78. С. 343–355.

5. Deng X., Newsam S. Quantitative comparison of open-source data for fine-grain mapping of land use. *UrbamGIS'17: Proceedings of the 3rd ACM SIGSPATIAL Workshop on Smart Cities and Urban Analytics*. 2017. P. 1–8. DOI: https://doi.org/10.1145/3152178.3152182.

6. Kusnirakova D., Ge M., Walletzky L., Buhnova B. Interoperability-oriented Quality Assessment for Czech Open Data. 11th International Conference on Data Science, Technology and Applications, Lisbon, Portugal, 11–13 July 2022. DOI: https://doi.org/10.48550/arXiv.2303.01950.

7. Biljecki F., Chew L.Z.X., Milojevic-Dupont N., Creutzig F. Open government geospatial data on buildings for planning sustainable and resilient cities. 2021. DOI: https://doi.org/10.48550/arXiv.2107.04023.

8. Mobasheri A. An Introduction to Open Source Geospatial Science for Urban Studies. *Open Source Geospatial Science for Urban Studies*. 2020. P. 1–8. DOI: http://dx.doi.org/10.1007/978-3-030-58232-6_1.

9. Using open data and open-source software to develop spatial indicators of urban design and transport features for achieving healthy and sustainable cities / G. Boeing et al. *The Lancet Global Health*. 2022. Vol. 10, no. 6. P. e907-e918.

10. Про затвердження структури Бази геоданих містобудівної документації на місцевому рівні: Наказ Міністерства розвитку громад та територій від 22 лютого 2022 р. № 56. URL: https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/z0432-22#Text (дата звернення: 23.02.2025).

11. Web Site «Spatial without Compromise QGIS». URL: https://qgis.org/. (дата звернення: 23.02.2025).

12. Plagin UA_MBD_TOOLS. URL: https://plugins.qgis.org/plugins/ua_mbd_tools/. (дата звернення: 23.02.2025).

13. Портал відкритих даних. URL: https://data.gov.ua/ (дата звернення: 23.02.2025).

14. QuickOSM. *3Liz Documentation*. URL: https://docs.3liz.org/QuickOSM/. (дата звернення: 17.02.2025).

15. Overpass turbo. URL: https://overpass-turbo.eu/. (дата звернення: 23.02.2025).

PhD in Technical Sciences, Associate Professor **Maryna Pilicheva,**
master's student **Inna Gamayun,**
O.M. Beketov National University of Urban Economy in Kharkiv

ASSESSMENT OF GEOSPATIAL DATABASE CONTENT OF THE COMPLEX SPATIAL DEVELOPMENT PLAN OF THE TERRITORY FROM OPEN SOURCES

This article presents a comprehensive study of methods for evaluating geospatial database content from open sources for developing an complex spatial development plan for settlements. The research analyzes the specifics of using open geospatial data in the context of territorial planning under Ukraine's decentralization conditions. Using the example of Ivashky village in the Poltava district of Poltava region, a structured scheme for organizing geospatial data in the QGIS environment and a methodology for their unification in Geopackage format (.gpkg) were

developed and tested. The study proposes an algorithm for populating the geodatabase, which includes stages of collection, processing, and verification of spatial information using the QuickOSM plugin and Overpass platform. The effectiveness of these tools for obtaining various categories of geospatial data was investigated. A detailed analysis of thematic layers' content was conducted, including settlement boundaries (100% correspondence according to the General Plan), buildings and structures (10% content), roads (70% content), water bodies (70% content), forest areas (40% content), and contour lines (30% content based on HGT data). The research revealed significant disparities in data quality and completeness between urban and rural areas. Specifically, using Ivashky village as an example, it was found that the OSM database recorded only 17 buildings, which is significantly less than their actual number according to urban planning documentation. A methodology was developed for unifying heterogeneous geospatial data into a single geodatabase format, enabling the integration of information from various open sources and ensuring its consistency. It was established that the use of open sources is an effective tool for information support in developing comprehensive plans, but requires mandatory data verification and validation. The proposed methodological approaches have practical significance for improving the spatial planning process and can be used in developing geodatabases for comprehensive spatial development plans of other Ukrainian settlements. Further research should focus on developing automated tools for geospatial data verification and expanding the list of open data sources.

Keywords: spatial planning; complex spatial development plan; geographic information system; geospatial database; open sources; unification and verification of geospatial data.

REFERENCES

1. Karpinsky Yu.O., Kin D.O. Methodological recommendations for the activities of local government bodies in the field of NIHD: practical manual. Kyiv: KNUBA, 2023. 276 p. URL: https://land.gov.ua/wp-content/uploads/2024/03/posibnyk-gromadam-nigd_fin.pdf (access date: 23.02.2025). {in Ukrainian}

2. Putrenko V.V. Methodology of intellectual analysis of geospatial data for sustainable development tasks: dissertation ... Doctor of Technical Sciences: 01.05.04. Kyiv, 2020. 449 p. URL: https://ela.kpi.ua/items/75c2fcbb-eb40-4e49-91f4-e8d331772488 (access date: 23.02.2025).{in Ukrainian}

3. Yasynecka I.A., Kushniruk T.M., Lobanova O.P. Creation of a municipal information system for the city using GIS technologies. Scientific Bulletin of Uzhhorod National University. 2018. Vol. 17, Issue 2. P. 158–161. {in Ukrainian}

4. Lyashchenko A., Karpenko O., Cherin A. Geospatial data infrastructure and geoinformation support for sustainable development of territorial communities. Urban Planning and Territorial Development. 2021. No. 78. P. 343–355. DOI: https://doi.org/10.32347/2076-815x.2021.78.343-355. {in Ukrainian}

5. Deng, Xueqing; Newsam, Shawn. Quantitative comparison of open-source data for fine-grain mapping of land use. In: Proceedings of the 3rd ACM SIGSPATIAL Workshop on Smart Cities and Urban Analytics. 2017. P. 1-8. DOI: https://doi.org/10.1145/3152178.3152182. {in English}

6. Kusnirakova D., Ge M., Walletzky L., Buhnova B. Interoperability-oriented Quality Assessment for Czech Open Data. 11th International Conference on Data Science, Technology and Applications, Lisbon, Portugal, 11–13 July 2022. DOI: https://doi.org/10.48550/arXiv.2303.01950. {in English}

7. Biljecki F., Chew L.Z.X., Milojevic-Dupont N., Creutzig F. Open government geospatial data on buildings for planning sustainable and resilient cities. 2021. DOI: https://doi.org/10.48550/arXiv.2107.04023. {in English}

8. Mobasheri A. An Introduction to Open Source Geospatial Science for Urban Studies. *Open Source Geospatial Science for Urban Studies*. 2020. P. 1–8. DOI: http://dx.doi.org/10.1007/978-3-030-58232-6_1. {in English}

9. Boeing, G., et al. Using open data and open-source software to develop spatial indicators of urban design and transport features for achieving healthy and sustainable cities. The Lancet Global Health. 2022. Vol. 10, no. 6. P. e907-e918. {in English}

10. Approval of the structure of the urban planning documentation geodatabase at the local level: Order of the Ministry of Communities and Territories Development, 22.02.2022, No. 56. URL: https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/z0432-22#Text (accessed: 17.02.2025). {in Ukrainian}

11. Web Site «Spatial without Compromise QGIS». URL: https://qgis.org/ (access date: 23.02.2025). {in English}

12. Plagin UA_MBD_TOOLS. URL: https://plugins.qgis.org/plugins/ua_mbd_tools/. (access date: 23.02.2025). {in English}

13. Open Data Portal. URL: https://data.gov.ua/. (access date: 23.02.2025). {in English}

14. QuickOSM. 3Liz Documentation. URL: https://docs.3liz.org/QuickOSM/. (access date: 23.02.2025). {in English}

15. Overpass turbo. URL: https://overpass-turbo.eu/. (access date: 23.02.2025). {in English}

DOI: 10.32347/2786-7269.2025.11.654-669
УДК 528.8:581.9(477.4)

к.п.н., доцент **Рожі І.Г.,**
inna.rozhi.93@gmail.com, ORCID: 0000-0002-7950-525X,
Рожі Т.А.,
tomas.rozhi.94@gmail.com, ORCID: 0000-0002-6794-9662,
Мандебура С.В.,
eko14b.mandebura@gmail.com, ORCID: 0000-0001-7952-5974,
Уманський державний педагогічний університет імені Павла Тичини

ГЕОІНФОРМАЦІЙНІ ТЕХНОЛОГІЇ ТА ЕЛЕКТРОННІ ГЕОДЕЗИЧНІ ПРИЛАДИ ДЛЯ МОНІТОРИНГУ ПОШИРЕННЯ ІНВАЗІЙНИХ РОСЛИН У ЛАНДШАФТАХ ЦЕНТРАЛЬНОЇ УКРАЇНИ

Розглядається одна з найактуальніших сучасних проблем, пов'язаних із застосуванням геоінформаційних технологій та сучасного геодезичного обладнання для вивчення та моніторингу поширення інвазійних рослин у природних ландшафтах Центральної України. У процесі наукового дослідження було детально виявлено основні закономірності просторового розповсюдження інвазійних рослинних видів, що сформувало процес оцінювання їхнього впливу на природні екосистеми, але й проаналізувати зміни, що відбуваються у теренах, які піддалися значному антропогенному впливу. Наведені результати дають можливість краще зрозуміти механізми взаємодії чужорідних рослин з довкіллям. Дослідження також фокусується на сучасних методах дистанційного зондування, які широко використовуються для аналізу динаміки поширення інвазійної флори. Застосування таких технологій надає можливість вивчити спектральні характеристики рослинності, що значно поліпшує точність ідентифікації інвазійних видів серед інших рослинних угруповань. Ефективність геоінформаційних систем для візуалізації даних про розповсюдження інвазійних рослин була перевірена на практиці. Використання ГІС дозволило інтегрувати просторові характеристики рослинного покриву з географічними та кліматичними факторами, що мають ключовий вплив на процеси інвазії та сам підхід забезпечує комплексне розуміння причин та наслідків поширення інвазійних видів. Наукова робота акцентує увагу на необхідності комплексного підходу до моніторингу інвазійних процесів і базується на застосуванні супутникових знімків, геоінформаційних технологій та електронних геодезичних інструментів, що дозволяє проводити високоточне картографування та глибокий аналіз змін у структурі рослинного покриву. Такий інтегрований підхід гарантує точніший та ефективніший контроль над інвазійними процесами. Крім того, було розроблено алгоритм

автоматизованого визначення територій, де виявляється найвища концентрація інвазійних рослин, який може враховувати просторові та кліматичні умови, що сприяють поширенню цих видів. Ці аспекти допоможуть підвищити ефективність природоохоронних заходів шляхом концентрації зусиль саме у найкритичніших зонах.

Ключові слова: геоінформаційні технології; електронні геодезичні прилади; інвазійні рослини; моніторинг рослинного покриву; дистанційне зондування землі; ландшафти.

Постановка проблеми. Виклики в галузі екологічної безпеки та збереження біорізноманіття вимагають негайного впровадження інноваційних підходів до комплексного моніторингу та детального дослідження процесів експансії інвазійних видів рослин, які можуть призводити до значних порушень екологічної рівноваги як у природних, так і в антропогенно змінених ландшафтах. Особливу загрозу для Центральної України становить швидке та неконтрольоване поширення чужорідних рослин, здатних витісняти місцеві екосистеми, спричиняти зниження врожайності сільськогосподарських угідь, погіршувати стан природних територій із супутніми економічними витратами на їхнє стримування.

У цьому контексті застосування геоінформаційних систем та сучасних геодезичних технологій є ключовим для розробки комплексного підходу до оцінки масштабів експансії інвазійних видів, проведення просторового аналізу трансформації ландшафтів та прогнозування майбутніх напрямків їхнього поширення на основі точної візуалізації даних. Важливість цього дослідження також обумовлена потребою у створенні ефективних екологічних стратегій, спрямованих на зменшення ризиків шляхом інтеграції цифрових технологій для відстеження змін, спричинених природними та антропогенними чинниками. В умовах глобальних кліматичних змін, посилення антропогенного впливу та обмежених можливостей контролю динаміки інвазійних видів використання точних методів моніторингу стає критично важливим для покращення природоохоронних заходів, розробки ефективних управлінських рішень та забезпечення екологічної стабільності регіону.

Аналіз останніх досліджень та публікацій. У наукових дослідженнях активно висвітлюються питання, пов’язані з поширенням інвазійних видів, їхнім впливом на екосистеми та методами протидії цим процесам. Зокрема, дослідження Токарюк А.І. та інші [6] доводять, що інвазійні рослини здатні радикально трансформувати структуру природних ландшафтів, витісняючи місцеві види та порушуючи екологічний баланс. Натомість робота від Мосякіна А. [14] наголошує на широкому впровадженні інноваційних підходів до

моніторингу, серед яких ключове місце посідають геоінформаційні системи (ГІС) та супутникові технології.

Методи дистанційного зондування і ГІС-технології давно визнані ефективними для аналізу динаміки рослинного покриву. Наприклад, за даними Цепенди М., Данілової О., Заблотовської Н. [19], спектральний аналіз знімків Sentinel-2 дозволяє виявляти зони поширення інвазійних видів на основі унікальних спектральних ознак. Дослідження Фаснахт Ф.Е., Уайт Дж.К., Вулдер М.А., Нессет Е. [21], Луців Н., Чухна П. [11], доповнюють цей підхід, демонструючи, що комбінація мультиспектрального аналізу з геостатистикою підвищує точність оцінки масштабів інвазії та прогнозування її подальшого розвитку.

Окрему увагу приділено використанню сучасних геодезичних інструментів. Так, роботи авторської групи Лозінська Т., Задорожний А., Масальський В. [25] і групи Триснюк В. та інші [10] описують застосування дронів і GPS-обладнання для детального картографування зон інвазії. Визначені наукові результати дійсно забезпечують оперативний збір даних про зміни рослинності та дозволяють оцінювати вплив антропогенних факторів на поширення чужорідних видів. Проте інтеграція цих методів у єдину аналітичну систему залишається невирішеним завданням, особливо в контексті управління екосистемами Центральної України.

Мета і задачі дослідження. Мета статті – є розробка та обґрунтування методичних підходів, які забезпечать ефективне використання геоінформаційних технологій та електронних геодезичних приладів для вивчення та моніторингу інвазійних рослин у ландшафтах Центральної України.

Завдання дослідження:

– виявити ключові закономірності розповсюдження інвазійних рослин у ландшафтах Центральної України;

– обґрунтувати заходи щодо інтеграції даних отриманих від супутникової інформації, аерофотознімання для створення точних карт виділених інвазійних територій;

– оцінити практичний потенціал розвитку впровадження електронних геодезичних приладів з метою фіксації змін у рослинному покриві та визначення просторових особливостей інвазійних видів на теренах Центральної України;

– обґрунтувати впровадження комплексної системи проведення моніторингу інвазійних рослин на засадах саме електронних геодезичних методів.

Матеріали та методи. Сучасні можливості дистанційного зондування, зокрема використання супутникових даних «Sentinel-2», дозволяють отримувати інформацію про стан рослинного покриву з високою частотою оновлення, що забезпечує безперервний моніторинг лісових і природних екосистем. Завдяки багатоспектральним каналам знімання, що охоплюють широкий спектр хвильових діапазонів, а також високій просторовій роздільній здатності, можна з високою точністю визначати площі поширення інвазійних видів, оцінювати їхній вплив на місцеві екосистеми та прогнозувати подальшу динаміку їхнього розповсюдження.

З метою оцінки змін у структурі рослинного покриву використовуються спеціальні аналітичні методи, зокрема гістограмний аналіз спектральних характеристик рослинності, що дозволяє визначати не лише якісний, а й кількісний розподіл інвазійних видів у досліджуваних ландшафтах. Для отримання точних даних щодо змін у площах, зайнятих чужорідною рослинністю, проводиться ретроспективний аналіз, який передбачає порівняння сучасних супутникових знімків з архівними даними попередніх періодів картографування. Це дає змогу оцінити швидкість поширення інвазійних видів, визначити основні фактори, що сприяють їхньому розповсюдженню, та розробити ефективні заходи для стримування їхнього неконтрольованого зростання.

Ретроспективний аналіз, що базується на детальному математичному моделюванні та обробці геопросторових даних, дозволяє реконструювати динаміку змін територій, визначити найуразливіші до інвазій зони, а також виявити потенційні шляхи подальшого поширення чужорідних видів у регіоні.

Результати та їх обґрунтування. Геоінформаційні технології, які базуються на використанні даних дистанційного зондування Землі, є одними з найефективніших методів збору, обробки та аналізу просторових даних, що дозволяють оперативно оцінювати масштаби поширення інвазійних рослин у різних типах ландшафтів. Особливо ефективним є використання фенологічних змін рослинного покриву для ідентифікації інвазійних видів, оскільки певні етапи життєвого циклу, такі як зміна кольору листя або його опадання, можуть слугувати ключовими ознаками для дешифрування та класифікації рослинності на супутникових знімках [26].

У процесі дистанційного зондування територій, що піддаються інвазійному поширенню рослин, особливу увагу слід приділяти сезонним змінам спектральних характеристик рослинного покриву, що дозволяє виявити закономірності змін фототону зображень та простежити специфіку динаміки розвитку інвазійних видів. Оскільки кожен вид рослинності має характерні морфологічні та геометричні особливості, їх можна використовувати як

ключові ознаки для дешифрування на супутникових знімках, що дає змогу ідентифікувати та картографувати ареали поширення інвазійних деревних порід. Для проведення моніторингу таких насаджень доцільно використовувати космічні знімки, зроблені у період пізньої весни та початку літа, оскільки в цей час листяні види досягають максимальної активності, що значно покращує точність їх дешифрування [26, с. 19-20].

Для підвищення ефективності розпізнавання ареалів поширення окремих видів інвазійних рослин доцільно застосовувати фенологічний підхід, що базується на аналізі змін, які відбуваються в різні фази життєвого циклу рослин. Зокрема, важливими фенологічними показниками для дешифрування є період розцвічування рослинного покриву та фаза опадання листя, оскільки саме ці зміни є найбільш помітними на мультиспектральних знімках. Використання багатоспектрального аналізу дозволяє розширити спектр дешифрувальних ознак, адже різні види рослин мають специфічні характеристики відображення електромагнітного випромінювання у різних спектральних діапазонах, що дає змогу диференціювати їх відповідно до вмісту хлорофілу та інших біохімічних параметрів [22].

У межах дослідження поширення інвазійних рослин, зокрема акація біла (Robinia preudoacacia), було обрано експериментальну ділянку Знам'янського лісництва (Чорноліського лісгоспу), Кіровоградської області, для детального аналізу змін просторової структури насаджень із використанням супутникових технологій та наземних методів збору даних (рис. 1).

Рис. 1. Ділянка «1». Літній знімок [12]

Географічні координати місць зростання виду було визначено на основі наземних обстежень із застосуванням електронних геодезичних приладів, зокрема GPS-приймачів Garmin, що забезпечили високу точність просторової

прив'язки отриманих результатів. Дані, зібрані у польових умовах, були оброблені у геоінформаційній системі та перетворені у цифровий формат, що дало змогу створити shape-файли (*.shp) для подальшого аналізу змін територіального поширення інвазійного виду в часі (рис. 2).

Рис. 2. Ділянка «1». Осінній знімок [12]

На основі проведених польових досліджень було створено цифрові фотоеталони зображень інвазійної деревної породи акація біла (Robinia preudoacacia), що дозволяють ідентифікувати цей вид у природних умовах та використовувати отримані дані для подальшого аналізу за допомогою геоінформаційних технологій. Було встановлено, що у 2021 році в умовах природних ландшафтів Знам'янського лісництва масова осіння зміна кольору листя цього інвазійного виду, яка проявлялася у переважному забарвленні крони в жовті відтінки, спостерігалася в останній декаді вересня, що може бути ключовим фенологічним показником для його дешифрування за даними ГІС спостереження [12].

З метою отримання детальних аерофотознімків території, що досліджується, у зазначений період було застосовано сучасні геодезичні безпілотні літальні апарати, зокрема квадрокоптер «Phantom», який забезпечив високоточне знімання з високою просторовою роздільною здатністю. Використання дронів дозволило отримати актуальні дані щодо ареалу поширення вже акації білої (Robinia preudoacacia) та дубу червоного (Quercus rubra), і оцінити їх вплив на навколишні природні та агроландшафти [5].

Аналіз геоданих свідчить, що на загальній площі території у 72 га, інвазійний вид зайняв вже близько 13 га, що відповідає приблизно 17,8 % загальної площі досліджуваної території (рис. 3). Визначений рівень поширення свідчить про високу адаптивність інвазійної рослинності та її активне розповсюдження в Центральній Україні [18].

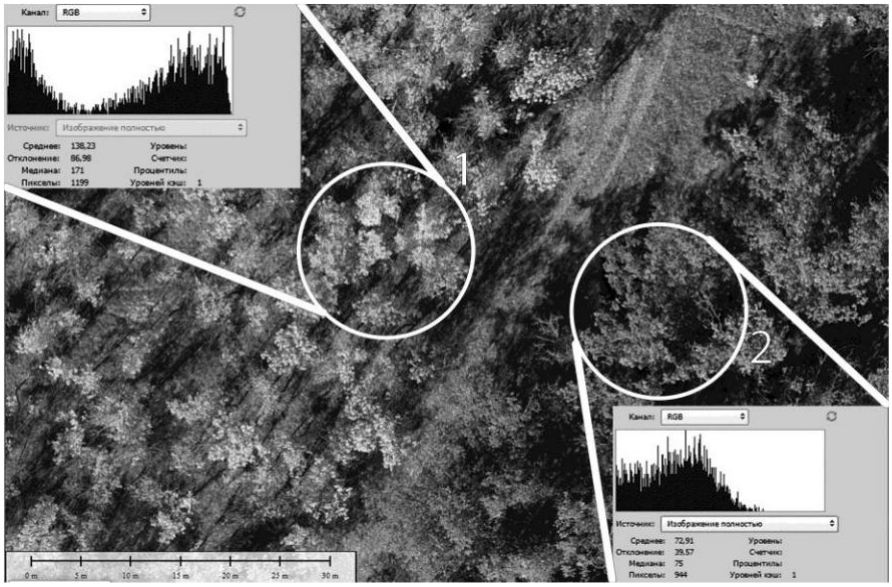


Рис. 3. Фенологічна індикація: акація біла (1) та дуб червоний (2) на території Знам'янського лісництва (Чорноліського лісгоспу), Кіровоградської області [14]

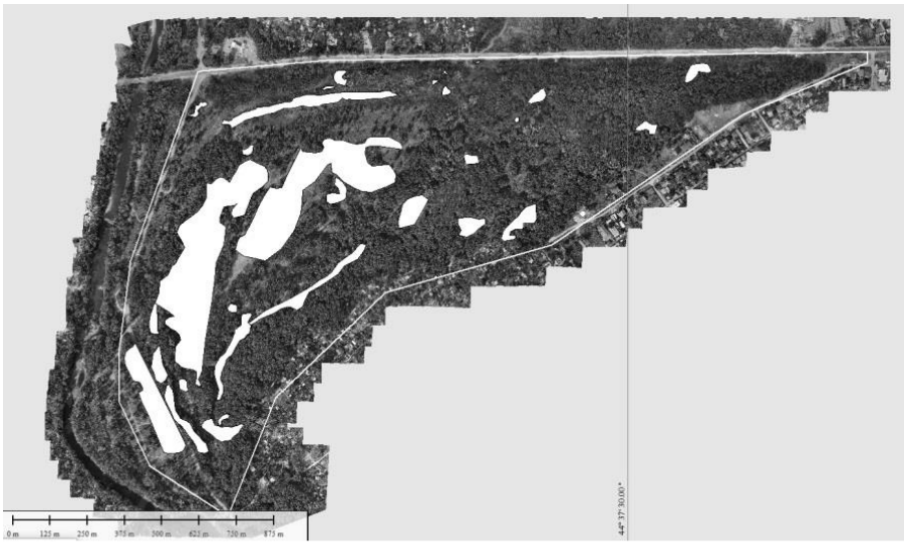


Рис. 4. Геоінформаційний картографічний шар «ареали» акації білої на території Знам'янського лісництва (Чорноліського лісгоспу), Кіровоградської області [14]

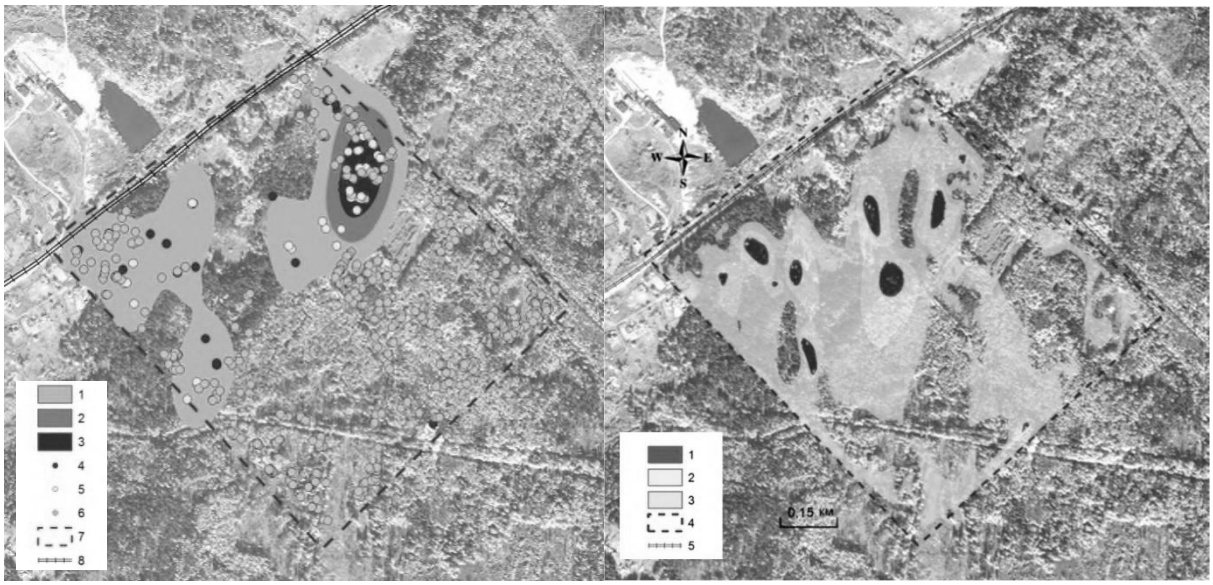
Використання фенологічних ознак, які базуються на відмінностях у вегетативному розвитку різних видів рослин, є важливим інструментом для ідентифікації інвазійних порід за допомогою дистанційного зондування Землі. Однією з ключових характеристик, що дозволяє відрізняти інвазійну деревну рослинність, є сезонні зміни кольору листя, які особливо яскраво проявляються в осінній період. Восени багато деревних порід набувають специфічних відтінків, які можуть бути використані як маркери для дешифрування видового складу лісових насаджень за супутниковими або аерофотознімками [24]. Отримані осінні знімки, зроблені з використанням аерофотознімання та космічних сенсорів, дозволили зафіксувати відмінності у спектральних

характеристиках крон дерев, що суттєво підвищило точність картографування інвазійних видів [8, с. 30].

Практичний досвід застосування локального геоінформаційного аналізу підтверджує його високу ефективність у процесі дослідження просторових характеристик осередків поширення інвазійних рослин, що дозволяє здійснювати детальну оцінку масштабів їхнього розповсюдження та прогнозувати подальшу динаміку змін у рослинному покриві. Одним із методів, що ілюструє ефективність застосування сучасних геоінформаційних технологій, є комплексний аналіз стану рослинності на модельних пробних майданчиках за допомогою аерофотознімання, що дозволяє отримувати високоточні просторові дані [13, 15].

Отримані у ході дистанційного зондування ортофотознімання в спектральному діапазоні RGB були проаналізовані та дешифровані на основі зовнішніх морфологічних ознак крони, що дозволило встановити особливості формування та поширення осередків інвазійних видів у ландшафтах досліджуваної території. Завдяки геоінформаційному моделюванню вдалося визначити просторові межі інвазійних угруповань та провести візуалізацію результатів у цифровому форматі. На відповідних картографічних матеріалах було відображено динаміку змін у структурі рослинного покриву, що дало можливість оцінити ступінь інвазії та визначити найбільш уразливі до її впливу ділянки. Аналіз отриманих даних шляхом геостатистичної інтерполяції дозволив не лише детально описати поточний стан рослинності на обраній ділянці, а й здійснити прогнозні розрахунки щодо подальшого поширення інвазійних рослин у межах ландшафтів Центральної України [2]. Валідність прогнозу підтверджена порівнянням даних наступного вегетаційного періоду, що було підтверджено натурними спостереженнями та перевірочними обстеженнями в польових умовах (рис. 5).

Додатковий порівняльний аналіз результатів, отриманих у ході аерофотознімання, та матеріалів наземного геодезичного обстеження показав високу кореляцію між дистанційними даними та безпосередніми польовими спостереженнями. Так, при оцінці відсотка поширення інвазійних видів результати, отримані на основі дешифрування аерофотознімків, засвідчили, що загальна площа, зайнята інвазійною рослинністю, становить 93,2% від загального рослинного покриву ділянки, водночас як результати наземних досліджень за допомогою геодезичних приладів показали аналогічне значення на рівні 93,6%, що свідчить про мінімальну похибку, яка не перевищує 1% [9].



а) б)

Рис. 5. Оцінка рівня пошкоджень лісових масивів через вплив інвазійних видів, за допомогою геоінформаційних технологій (Знам'янське лісництво (Чорноліський лісгосп), Кіровоградська область) [23]

а) Рівень пошкодження деревних насаджень внаслідок поширення інвазійних рослин: 1 – насадження із сильним ступенем ураження; 2 – дерева, що мають незначні пошкодження; 3 – ділянки, де відсутні ознаки ураження; 4 – межі досліджуваної території; 5 – транспортні комунікації.

б) Просторове зонування території за рівнем впливу інвазійної рослинності на деревний покрив: 1 – ділянки з високою щільністю поширення інвазійних видів; 2 – території із середнім рівнем заселення; 3 – зони з найвищим ступенем інвазійного впливу; оцінка стану деревних насаджень; 4 – загиблі дерева; 5 – ослаблені насадження з ознаками деградації; 6 – здорові дерева без видимих пошкоджень; 7 – межі району дослідження; 8 – транспортні комунікації.

Висновки та рекомендації. За результатами дослідження статті було виявлено визначальні закономірності стосовно поширення інвазивних рослин на ареалі Центральної України. Зокрема, здійснено виділення такого роду факторів, що сприяють активному розповсюдженню цих видів на території регіону, а також оцінили конкретний вплив інвазивних рослин на структуру і функціонування природних екосистем окремих територій. Окрім того, у процесі наукової роботи було проведено вивчення особливостей застосування нових видів геоінформаційних технологій та електронних геодезичних інструментів для вирішення завдань просторового аналізу, моніторингу та картографування ареалів поширення інвазивних видів рослин. За допомогою цих інструментів була значно підвищена точність визначення просторової структури насаджень, їх натуральних меж та ступеня ураження природних територій інвазивними організмами і кожен крок аналізу був обґрунтованим і базувався на конкретних методах вимірювання, що гарантувало надійність отриманих результатів.

На основі всієї отриманої інформації було розроблено обґрунтовані практичні шляхи подальшого впровадження та використання геоінформаційних систем (ГІС) для автоматичного виявлення зон максимальної концентрації інвазивної рослинності. При цьому було враховано широкий спектр впливових факторів, включаючи географічні, кліматичні та антропогенні умови що сформувало доцільні напрямки формування ефективних стратегій забезпечення екологічної безпеки на окремих територіях Центральної України.

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Браславська О.В., Дець Т.І., Рожі Т.А. Роль геодезії у розвитку дрон-технологій для вимірювання, картографування та моніторингу територій. *Просторовий розвиток*: Науковий збірник / Головн. ред. О. Ковальчук. Київ, КНУБА, 2023. Вип. 5. С. 268–285. DOI: https://doi.org/10.32347/2786-7269.2023.5.268-285.

2. ГІС Карти: Види та застосування цифрової картографії. URL: https://eos.com/uk/blog/gis-karty/.

3. Дець Т.І., Кирилюк В.П., Рожі Т.А. Вивчення відображення і дослідження об'єктів, явищ та процесів у навколишньому середовищі шляхом картографічних зображень та топографо-геодезичних вимірювань. *Містобудування та територіальне планування*: наук.-техн. Збірник. Київ: КНУБА, 2024. Вип. 85. С. 133–145. DOI: https://doi.org/10.32347/2076-815x.2024.85.133-145

4. ДП «Ліси України». URL: https://e-forest.gov.ua/.

5. Знахідки чужорідних видів рослин та тварин в Україні. (Серія: «Conservation Biology З-75 in Ukraine». – Вип. 29). Київ; Чернівці: Друк Арт, 2023. 520 с.

6. Інвазійні рослини в Буковинському Передкарпатті: монографія / А.І. Токарюк, І.І. Чорней, В.В. Буджак, В.В. Протопопова, М.В. Шевера, К.В. Коржан, О.Д. Волуца ; наук. ред. І. . Чорней. Чернівці: Друк Арт, 2018. 176 с

7. Кирилюк, В., Рожі, Т., Харів, В. Геодезичне планування в агроландшафті: створення цифрових карт та моделей для оптимізації землекористування. *Просторовий розвиток*, (6), (2023). С. 293–308. DOI: https://doi.org/10.32347/2786-7269.2023.6.293-308.

8. Кисельов Ю.О., Черниш В.І. Особливості інвазійної флори Центрально-Придніпровської височинної області. Нау*ковий вісник НЛТУ України*. 2022. Т. 32, № 2. С. 27–32. DOI: https://doi.org/10.36930/40320204.

9. Кочеригін Л.Ю., Кімейчук І.В. Геоінформаційний моніторинг змін вкритих лісовою рослинністю лісових ділянок Черкаської області за радарними даними. Вісник Малинського фахового коледжу: наукове видання. 2023. Вип. 2.

С. 157–174.

10. Лозінська Т.П., Задорожний А.І., Масальський В.П. Дослідження нових технологій та інновацій у сфері лісового господарства. Агробіологія. 2024. № 1. С. 268–276. DOI: https://doi.org/10.33245/2310-9270-2024-187-1-268-27

11. Луців Н.Г., Чухна П.В. Геоінформаційні системи та їхнє значення у формуванні політик щодо управління лісами. Лісова освіта та наука: сучасні виклики та перспективи розвитку. *Матеріали міжнародної науково-практичної конференції*, 23–25 жовтня 2024 р., Львів, Україна. DOI: https://doi.org/10.36930/conf150.5.15.

12. Македон В.В., Байлова О.О. Планування і організація впровадження цифрових технологій в діяльність промислових підприємств. *Науковий вісник Херсонського державного університету*. Серія «Економічні науки». 2023. Випуск 47. С. 16-26. DOI: 10.32999/ksu2307-8030/2023-47-3

13. Македон В.В., Валіков В.П., Федьора С.С. Удосконалення управління промисловими підприємствами на основі стратегій інноваційного розвитку. *Європейський вектор економічного розвитку*. 2019. №1. С. 108–125. DOI: 10.32342/2074-5362-2019-1-26-8.

14. Мосякін А.С. Сучасні методи біологічного контролю (біологічного регулювання) активності інвазійних рослин: приклади й перспективи застосування. *Наукові основи збереження біотичної різноманітності*. 2012. Т. 3(10), № 1. С. 93–109.

15. Поліщук Є.А., Гойванюк М.П., Василишен Ю.В. Лісництво як напрям смарт спеціалізації регіону: європейський досвід. *Ефективна економіка*. 2020. № 7. DOI: 10.32702/2307-2105- 2020.7.22.

16. Рожі І.Г., Рожі Т.А., Федій О.А. Геодезичні аспекти створення цифрових моделей рельєфу для потреб геоінформаційних систем. *Просторовий розвиток,* Вип. 8, 2024. С. 477–491. DOI: https://doi.org/10.32347/2786-7269.2024.8.477-491.

17. Рожі Т.А. Врахування ландшафтної структури територій громад для раціонального природокористування. *Ландшафтознавство*: науково-теоретичний журнал. / головн. ред. Г. Денисик. Вінниця, ВДПУ ім. Михайла Коцюбинського, 2023. Вип. 4 (2). С. 85–91. DOI: https://doi.org/10.31652/2786-5665-2023-4-85-91.

18. Савков П., Левінськова Н., Бондарчук Г., Постарниченко Н. Геоінформаційні системи в моніторингу лісових ресурсів. *Вісник Київського національного університету імені Тараса Шевченка*. Військово-спеціальні науки. 2021. № 1(45). С. 71–74. DOI: https://doi.org/10.17721/1728-2217.2021.45.71-74.

19. Цепенда М., Данілова О., Заблотовська Н. Застосування ГІС-технологій для оцінювання лісорекреаційних площ урбанізованих територій. *Науковий вісник Чернівецького університету*: Географія. 2024. № 849. С. 154–163. DOI: https://doi.org/10.31861/geo.2024.849.154-163

20. Шевчук С.М., Прокопенко Н.І., Рожі Т.А. Аналіз використання геодезичних даних при плануванні та моніторингу агроландшафтів: оптимізація землекористування та охорони природи. *Просторовий розвиток,* Вип. 7, 2024. С. 445–458. DOI: https://doi.org/10.32347/2786-7269.2024.7.445-458

21. Fassnacht F.E., White J.C., Wulder M.A., Næsset E. Remote sensing in forestry: current challenges, considerations and directions. Forestry: An International Journal of Forest Research. 2024. 97(1):11–37. https://doi.org/10.1093/forestry/cpad024.

22. Foster A., Rahimzadeh-Bajgiran P., Daigneault A., Weiskittel A. Cost-effectiveness of remote sensing technology for spruce budworm monitoring in Maine, USA. Forests Monitor. 2024. 1(1):66–98. https://doi.org/10.62320/fm.v1.i1.14.

23. GIS for Land Administration – Esri. URL: www.esri.com/industries/cadastre/.

24. Makedon V., Myachin V., Plakhotnik O., Fisunenko N., Mykhailenko O. Construction of a model for evaluating the efficiency of technology transfer process based on a fuzzy logic approach. Eastern-European Journal of Enterprise Technologies. 2024. no 2(13(128)). p. 47-57. https://doi.org/10.15587/1729-4061.2024.300796.

25. Trysnyuk V., Demydenko O., Trysnyuk T., Horoshkova L., Khlobystov Ie., Holovan Y. GIS technologies for monitoring forest plantations. Geoinformatics. 2021. Volume 2021. pp. 1–6. https://doi.org/10.3997/2214-4609.20215521062.

26. Xing J., Sun S., Huang Q., Chen Z., Zhou Z. Application of Geoinformatics in Forest Planning and Management. Forests. 2024. 15(3). pp. 439. https://doi.org/10.3390/f15030439.

Candidate of Pedagogical Sciences, Docent **Rozhi Inna,**
Lecturer **Rozhi Tomas**, Lecturer **Mandebura Sviatoslav,**
Pavlo Tychyna Uman State Pedagogical University

GEOINFORMATION TECHNOLOGIES AND ELECTRONIC GEODESIC DEVICES FOR MONITORING THE SPREAD OF INVASIVE PLANTS IN THE LANDSCAPES OF CENTRAL UKRAINE

The article focuses on the current problem of using geoinformation technologies and modern geodetic devices to study and monitor the spread of

invasive plants in the landscapes of Central Ukraine. This direction is of key importance for modern ecological and geoinformation research. During the study, the main patterns of spatial distribution of invasive plant species were identified, which made it possible to assess their impact on both natural and anthropogenically modified ecosystems of the region. Modern remote sensing methods used to analyze the dynamics of the spread of invasive flora were studied. The results obtained allowed us to study the spectral characteristics of vegetation in more detail, which significantly improves the accuracy of deciphering invasive species among other plant groups. The effectiveness of using geographic information systems for data visualization has been tested in practice, which ensured the integration of spatial characteristics of plant cover with geographical and climatic factors that affect invasion processes. Retrospective analysis of long-term remote sensing data made it possible to assess trends in the areas occupied by alien plant species, as well as identify the most active centers of invasions and predict the directions of their further spread. The scientific work justifies the need for an integrated approach to monitoring invasive processes, which is based on the use of satellite images, geographic information technologies and electronic geodetic instruments, which allows for high-precision mapping and in-depth analysis of changes in the structure of plant cover. An algorithm for automated determination of areas with the highest concentration of invasive plants, taking into account spatial and climatic conditions, has been developed, which will contribute to increasing the efficiency of environmental management. Scientists have proposed scientifically sound approaches to managing the spread of invasive plants, which are based on the integration of GIS analysis, remote sensing methods and ground geodetic surveys.

Keywords: geoinformation technologies; electronic geodetic instruments; invasive plants; plant cover monitoring; remote sensing of the earth; landscapes.

REFERENCES

1. Braslavska O.V., Dets T.I., Rozhi T.A. Rol heodezii u rozvytku dron-tekhnolohii dlia vymiriuvannia, kartohrafuvannia ta monitorynhu terytorii. Prostorovyi rozvytok: Naukovyi zbirnyk / Holovn. red. O. Kovalchuk. Kyiv, KNUBA, 2023. Vyp. 5. S. 268–285. DOI: https://doi.org/10.32347/2786-7269.2023.5.268-285. {in Ukrainian}

2. GIS Maps: Types and Applications of Digital Cartography. Retrieved from: https://eos.com/uk/blog/gis-karty/. {in Ukrainian}.

3. Dets T.I., Kyryliuk V.P., Rozhi T.A. Vyvchennia vidobrazhennia i doslidzhennia obiektiv, yavyshch ta protsesiv u navkolyshnomu seredovyshchi shliakhom kartohrafichnykh zobrazhen ta topohrafo-heodezychnykh vymiriuvan. Mistobuduvannia ta terytorialne planuvannia: nauk.-tekhn. Zbirnyk. Kyiv: KNUBA,

2024. Vyp. 85. S. 133–145. DOI: https://doi.org/10.32347/2076-815x.2024.85.133-145. {in Ukrainian}

4. DP "Lisy Ukrainy" [SE "Forests of Ukraine"]. Available at: https://e-forest.gov.ua/. {in Ukrainian}.

5. Znakhidky chuzhoridnykh vydiv roslyn ta tvaryn v Ukrayini [Findings of alien plant and animal species in Ukraine]. (Series: "Conservation Biology in Ukraine", Issue 29). Kyiv; Chernivtsi: Druk Art, 2023. 520 p. {in Ukrainian}.

6. Tokariuk, A.I., Chornei, I.I., Budzhak, V.V., Protopopova, V.V., Shevera, M.V., Korzhan, K.V., Volutsa, O.D. (2018). Invaziini roslyny v Bukovynskomu Peredkarpatti: monohrafiia [Invasive plants in the Bukovinian Pre-Carpathians: monograph]. Edited by I. I. Chornei. Chernivtsi: Druk Art. 176 p. {in Ukrainian}.

7. Kyryliuk, V., Rozhi, T., Khariv, V. Heodezychne planuvannia v ahrolandshafti: stvorennia tsyfrovykh kart ta modelei dlia optymizatsii zemlekorystuvannia. Prostorovyi rozvytok, (6), (2023). S. 293–308. DOI: https://doi.org/10.32347/2786-7269.2023.6.293-308. {in Ukrainian}

8. Kyseliov, Yu.O., Chernysh, V.I. (2022). Osoblyvosti invaziinoi flory Tsentralno-Prydniprovskoho vysochynnoho rehionu [Features of the invasive flora of the Central Dnieper Upland region]. Naukovyi Visnyk NLTU Ukrainy [Scientific Bulletin of the National Forestry University of Ukraine], 32(2), 27–32. https://doi.org/10.36930/40320204. {in Ukrainian}.

9. Kocherihin, L.Yu., Kimeichuk, I.V. (2023). Heoinformatsiinyi monitorynh zmin vkrytykh lisovoiu roslynistiu lisovykh dilianok Cherkaskoi oblasti za radarnymy danymy [Geoinformation monitoring of changes in forest-covered areas of Cherkasy region based on radar data]. Visnyk Malynskoho Fakhovoho Koledzhu: Naukove Vydannia [Bulletin of Malyn Vocational College: Scientific Journal], 2, 157–174. {in Ukrainian}.

10. Lozinska, T.P., Zadorozhnyi, A.I., Masalskyi, V.P. (2024). Doslidzhennia novykh tekhnolohii ta innovatsii u sferi lisovoho hospodarstva [Research on new technologies and innovations in the field of forestry]. Ahrobiolohiia [Agrobiology], 1, 268–276. https://doi.org/10.33245/2310-9270-2024-187-1-268-276. {in Ukrainian}.

11. Lutsiv, N.H., Chukhna, P.V. (2024). Heoinformatsiini systemy ta yikhnie znachennia u formuvanni polityk shchodo upravlinnia lisamy [Geoinformation systems and their significance in shaping forest management policies]. Lisova Osvita ta Nauka: Suchasni Vyklyky ta Perspektyvy Rozvytku [Forestry Education and Science: Current Challenges and Development Prospects]. Proceedings of the International Science-Practical Conference, October 23–25, 2024, Lviv, Ukraine. https://doi.org/10.36930/conf150.5.15. {in Ukrainian}.

12. Makedon V.V., Bailova O.O. (2023). Planuvannya i orhanizatsiya vprovadzhennya syfrovykh tekhnolohiy v diyal′nist′ promyslovykh pidpryyemstv [Planning and organizing the implementation of digital technologies in the activities of industrial enterprises]. Scientific Bulletin of Kherson State University. Series "Economic Sciences", Issue 47, 16-26. DOI: 10.32999/ksu2307-8030/2023-47-3. {in Ukrainian}.

13. Makedon, V., Myachin, V., Plakhotnik, O., Fisunenko, N., Mykhailenko, O. (2024). Construction of a model for evaluating the efficiency of technology transfer process based on a fuzzy logic approach. Eastern-European Journal of Enterprise Technologies, no 2(13(128)), 47-57. https://doi.org/10.15587/1729-4061.2024.300796. {in English}.

14. Mosyakin, A.S. (2012). Suchasni metody biolohichnoho kontroliu (biolohichnoho rehuliuvannia) aktyvnosti invaziinykh roslyn: pryklady y perspektyvy zastosuvannia [Modern methods of biological control (biological regulation) of invasive plant activity: examples and application prospects]. Naukovi Osnovy Zberezhennia Biotychnoi Riznomanitnosti [Scientific Foundations of Biodiversity Conservation], 3(10), 93–109. {in Ukrainian}.

15. Polishchuk, Y., Goivanyuk, M., Vasylyshen, Yu. (2020). Lisnytstvo yak napryam smart spetsializatsiyi rehionu: yevropeys′kyy dosvid [Forestry as a priority of smart specialization of the regions: european experience]. Efektyvna ekonomika [Efficient economy]. no. 7. Available at: http://www.economy.nayka. com.ua/?op=1&z=8265. DOI: 10.32702/2307-2105- 2020.7.22. {in Ukrainian}.

16. Rozhi I.H., Rozhi T.A., Fedii O.A. Heodezychni aspekty stvorennia tsyfrovykh modelei reliefu dlia potreb heoinformatsiinykh system. Prostorovyi rozvytok, Vyp. 8, 2024. S. 477–491. DOI: https://doi.org/10.32347/2786-7269.2024.8.477-491. {in Ukrainian}.

17. Rozhi T.A. Vrakhuvannia landshaftnoi struktury terytorii hromad dlia ratsionalnoho pryrodokorystuvannia. Landshaftoznavstvo: naukovo-teoretychnyi zhurnal. / holovn. red. H. Denysyk. Vinnytsia, VDPU im. Mykhaila Kotsiubynskoho, 2023. Vyp. 4 (2). S. 85–91. DOI: https://doi.org/10.31652/2786-5665-2023-4-85-91. {in Ukrainian}.

18. Savkov, P., Levinskova, N., Bondarchuk, H., Postarnichenko, N. (2021). Heoinformatsiini systemy v monitorynhu lisovykh resursiv [Geoinformation systems in forest resource monitoring]. Visnyk Kyivskoho Natsionalnoho Universytetu imeni Tarasa Shevchenka. Viiskovo-Spetsialni Nauky [Bulletin of Taras Shevchenko National University of Kyiv. Military-Special Sciences], 1(45), 71–74. https://doi.org/10.17721/1728-2217.2021.45.71-74. {in Ukrainian}.

19. Tsependa, M., Danilova, O., Zablotovska, N. (2024). Zastosuvannia HIS-tekhnolohii dlia otsiniuvannia lisorekreatsiinykh ploshch urbanizovanykh

terytorii [Application of GIS technologies for assessing forest recreation areas in urbanized territories]. Naukovyi Visnyk Chernivetskoho Universytetu: Heohrafiia [Scientific Bulletin of Chernivtsi University: Geography], 849, 154–163. https://doi.org/10.31861/geo.2024.849.154-163. {in Ukrainian}.

20. Shevchuk S.M., Prokopenko N.I., Rozhi T.A. Analiz vykorystannia heodezychnykh danykh pry planuvanni ta monitorynhu ahrolandshaftiv: optymizatsiia zemlekorystuvannia ta okhorony pryrody. Prostorovyi rozvytok, Vyp. 7, 2024. S. 445–458. DOI: https://doi.org/10.32347/2786-7269.2024.7.445-458. {in Ukrainian}.

21. Fassnacht, F.E., White, J.C., Wulder, M.A., & Næsset, E. (2024). Remote sensing in forestry: Current challenges, considerations, and directions. *Forestry: An International Journal of Forest Research, 97*(1), 11–37. https://doi.org/10.1093/forestry/cpad024. {in English}.

22. Foster, A., Rahimzadeh-Bajgiran, P., Daigneault, A., & Weiskittel, A. (2024). Cost-effectiveness of remote sensing technology for spruce budworm monitoring in Maine, USA. *Forests Monitor, 1*(1), 66–98. https://doi.org/10.62320/fm.v1.i1.14. {in English}.

23. GIS for Land Administration – Esri. Retrieved from: www.esri.com/industries/cadastre/. {in English}.

24. Makedon, V.V., Valikov, V. P., Fedyora, S. S. (2019). Udoskonalennya upravlinnya promyslovymy pidpryyemstvamy na osnovi stratehiy innovatsiynoho rozvytku [Improving the management of industrial enterprises based on innovative development strategies]. European vector of economic development, No.1, pp. 108–125. DOI: 10.32342/2074-5362-2019-1-26-8. {in Ukrainian}.

25. Trysnyuk, V., Demydenko, O., Trysnyuk, T., Horoshkova, L., Khlobystov, I., & Holovan, Y. (2021). GIS technologies for monitoring forest plantations. *Geoinformatics, 2021*, 1–6. https://doi.org/10.3997/2214-4609.20215521062. {in English}.

26. Xing, J., Sun, S., Huang, Q., Chen, Z., & Zhou, Z. (2024). Application of geoinformatics in forest planning and management. *Forests, 15*(3), 439. https://doi.org/10.3390/f15030439. {in English}.

До відома авторів статей!

В Київському національному університеті будівництва і архітектури продовжують видаватися фахові, категорії «Б», наукові збірники „Містобудування та територіальне планування" (головний редактор професор Дьомін М.М.), „Сучасні проблеми архітектури та містобудування" (головний редактор професор Товбич В.В.), „Архітектурний вісник КНУБА" (головний редактор професор Слєпцов О.С.), які визнані атестаційними органами України, як наукові фахові видання України, в яких можуть публікуватися результати дисертаційних робіт на здобуття наукових ступенів доктора і кандидата наук. В збірнику МТП публікуються статті за 191, 192 та 193 спеціальностями, в СПАМ за 191 та 192 спеціальностями, а в Архітектурному віснику за 191 спеціальністю.

В даний час продожує роботу науковий збірник КНУБА «Просторовий розвиток» під керівництвом головного редактора д.е.н., професора Шкуратова О.І. Вийшли вісім випусків. В збірнику публікуються статті за спеціальностями: **034. Філософія; 051. Економіка; 052. Політологія; 073. Менеджмент; 191. Архітектура та містобудування; 192. Будівництво та цивільна інженерія; 193. Геодезія і землеустрій; 281. Публічне управління та адміністрування.**

Збірник визнаний МОН України як фахове видання категорії «Б» за спеціальностями: **051, 052, 073, 191, 192, та 193.** (Накази МОН України №1309 від 25 жовтня 2023 року та № 920 від 26 червня 2024).

Подані документи в МОН України для надання збірнику категорії „Б" і за **034 та 281** спеціальностями.

З випусками збірника можна буде ознайомлюватись на сайті **http://www.nbuv.gov.ua** національної бібліотеки НАН України ім. В.І. Вернадського, в науковій періодиці України, на сайті **library.knuba.edu.ua** бібліотеки КНУБА та на сайті редколегії збірника **spd.knuba.edu.ua.**

В даний момент статті можна надсилати за адресою електронної пошти відповідального секретаря редколегії: **petro_che@ukr.net.**

Для зручності авторів та підготовки до друку макетів випусків збірника прийнято рішення дотримуватись вимог прийнятих для вищевказаних збірників КНУБА, які наведені нижче і оголошувались у випусках збірників «Просторовий розвиток» та «Містобудування та територіальне планування». Випуски збірників обов'язковому порядку розсилаються в загально-державному порядку.

Збірники видаються за рахунок коштів авторів та спонсорів.

Стислі вимоги до статей.

Рукописи статей, що подаються до наших збірників, повинні бути оформленні на аркушах формату А4 з полями: верхнім - 25 мм (для розміщення в подальшому колонтитулу), боковими і нижнім - 20 мм (для зручності виготовлення макету і розмножувальних матеріалів). Вони подаються українською або англійською мовами у відповідності до вимог, викладених в постановах президії ВАК України від 10.02.1999 р. №1-02/3 „Про публікації

результатів дисертацій на здобуття наукових ступенів доктора і кандидата наук та їх апробацію" та від 15.01.2003 р. №7-05/1 „Про підвищення вимог до фахових видань, внесених до переліків ВАК України", в електронному виді та відповідно у роздрукованому вигляді на аркушах формату А4 (без нумерації сторінок (для великих статей можлива нумерація на звороті роздруківки) та обов'язково з підписом автора (ів) на останній сторінці), в текстових редакторах типу **Word 2003**, шрифтом Times NR Cyr 14 р., який повинен бути відформований в межах формату 245х170 мм з інтервалом 18 пт. (набирається в позиції "**точно**") або в позиції "**minimum**". Таблиці, рисунки, формули, тощо, не можуть бути шириною більше, ніж 170 мм.

Допускається використання шрифту меншого розміру (12 пунктів) для підписів під рисунками та в таблицях, в бібліографічних посиланнях та для ділянок тексту, які мають допоміжне (другорядне) значення з одинарним інтервалом.

Кожна стаття повинна мати свій індекс УДК (Універсальної десятинної класифікації), який розміщується в лівому верхньому куті, титули і звання, прізвища авторів та їх ініціали, електронні адреси, коди ORCID, **H-index** (якщо у автора є), повну назву організації (закладу) слід розміщувати з правого боку.

Міжнародний цифровий ідентифікатор статей DOI по мірі отримання в редколегії буде дописаний в першому рядку.

Заголовок набирається великими буквами, жирним шрифтом, того ж розміру (14 р.) і форматується по центру. Над заголовком і під ним пропускається один рядок.

Потім після заголовку і підзаголовних даних розміщують анотацію на мові тексту матеріалу, що публікується. Далі через один рядок перед текстом наводять ключові слова (5-8 слів або словосполучень), які вибирають з тексту цього матеріалу і виділяють поліграфічними засобами (бажано курсивом того ж шрифту).

По тексту статті повинно бути чітко видно виконання постанови Президії Вищої атестаційної комісії України «Про підвищення вимог до фахових видань, внесених до переліків ВАК України» від 15 січня 2003 року за №7-05/1 (з виділенням в тексті) **постановка проблеми, аналіз останніх досліджень і публікацій, формулювання цілей, її актуальність і новизна, мета і методи досліджень, результати та їх обґрунтування, методи обговорення, висновки та рекомендації подальшого дослідження, особистий вклад автора (ів)** в це дослідження. Якщо передбачається публікація матеріалу частинами в декількох випусках збірника то кожну частину слід завершувати поміткою „Продовження (закінчення) буде". На сторінках з початком кожної наступної частини матеріалу, що публікується, в підстрочному зауваженні або перед текстом роблять помітку „Продовження (закінчення)" та вказують номер (и) випуску (ів) видань, в якому (их) були надруковані попередні частини цього матеріалу. Рисунки та фотографії (в чорно-білому виконанні) повинні бути пронумеровані та підписані, формули (набрані за допомогою редактора формул (внутрішній редактор формул Microsoft Word for Windows) повинні бути вмонтовані в її

електронний текст по місцю автором і чітко читатись в форматі сторінок збірника (на аркуші формату А5 після відповідного зменшення тексту формату А4). Формат таблиць та рисунків лише книжний. Текст таблиць подається розміром 12 з одинарним інтервалом.

Після тексту статі повинно бути розміщено пристатейні бібліографічні списки у відповідності до державних стандартів України (ДСТУ 8302:2015 «Бібліографічне посилання»), в яких відповідні записи повинні бути пронумеровані, а по тексту статті зроблені відповідні на них посилання. Бажано щоб були в цьому переліку статті, які мають **міжнародний цифровий ідентифікатор DOI** та посилання на авторів, які мають **H-index.** Посилаючись на інтернет-ресурс, слід давати повну назву та вихідні дані публікації.

Кількість джерел посилань повинна бути достатньою, щоб мати уяву про глибину опрацювання дослідження та оцінити професіональний кругозір авторів (рекомендовано не менше 20 джерел).

Після бібліографічного списку необхідно розмістити анотацію на англійській мові (ця анотація повинна мати не менше 200-250 слів (1800 знаків, включаючи ключові слова), а після прізвищ авторів в цій анотації замість **ініціалів необхідно вказувати їх повне ім'я**, яке подане в анкеті для оформлення коду **ORCID**). Якщо стаття підготовлена англійською мовою, то українська анотація повинна мати не менше 200-250 слів (1800 знаків, включаючи ключові слова).

Ключові слова в анотаціях слід відділяти крапкою з комою (**;**).

Перед цими анотаціями на їх мові слід подати титули, прізвища та повні ім'я авторів, повну назву їх організації (закладу) і розмістити з правого боку. Через один рядок великими жирними буквами набрати по центру назву статті, а потім через один інтервал подати текст анотації і ключові слова статті.

Після прикінцевих анотацій необхідно також продублювати перелік джерел посилань (**REFERENCES**) в романському алфавіті. В кінці кожного посилання у фігурних дужках вказати на якій мові опубліковано (наприклад {in Ukranian}). Позиції джерел переліку літератури і транслітерації повинні співпадати

*Згідно з новими правилами, які враховують вимоги міжнародних систем цитування, автори статей повинні давати список літератури в двох варіантах: один на мові оригіналу і окремим блоком той же список літератури (References) в романському алфавіті (Harvard reference system або використати можливості програми **УКРЛІТ.ORG**, що буде оперативніше), повторюючи в ньому в тому ж порядку всі джерела літератури, не залежно від того, чи є серед них іноземні. Біля кожного джерела в кінці у фігурних дужках ({ }) слід вказати англійською на якій мові вийшло відповідне джерело.*

В збірниках кожна стаття починається з нової сторінки. Тому бажано авторам її останню сторінку заповнити не менше ніж на три четверті. Обсяг статті бажано не менше 8 сторінок (включаючи анотації, список літератури та її транслітерацію) і не більше 20 сторінок включно. Номера сторінок не проставляти.

До матеріалів статті необхідно додавати довідку про автора (авторів – див. в кінці даного тексту) для отримання **DOI** для неї та рекомендацію наукового підрозділу, де підготовлена стаття, у вигляді витягу з протоколу засідання, на якому вона розглядалась, і рецензію (згідно наказу МОН України №1111 від 17.10.2012 п. 2.11 та 3.1), завірені керівництвом та печаткою закладу, для опублікування у відповідному науково-технічному виданні. Ці матеріали надсилаються до редколегії збірників в оригіналі або в сканованому вигляді електронною поштою.

Електронна версія статті передається до редколегій збірників окремим файлом. Файлу присвоюється українське ім'я, яке відповідає прізвищам авторів та вказується абревіатура назви збірника. Якщо автор один, а прізвище поширене, то в назві файлу слід добавити перші одне-два слова із заголовка статті.

За зміст статті несуть відповідальність автор та науковий підрозділ, який рекомендував її для опублікування. Зовнішній рецензент статті (призначається редколегією) несе моральну відповідальність за рекомендацію статті до друку.

У кожного збірника є деякі особливості оформлення з якими можна ознайомитись переглянув їх останні випуски. В цілому у вказаних збірниках до статей практично однакові вимоги.

Контакти:

Збірники „Містобудування та територіальне планування", „Просторовий розвиток":

сайти редколегій відповідно: http**://mtp.knuba.edu.ua/** та **http://spd.knuba.edu.ua/**;

відповідальний секретар редколегій збірників, доцент кафедри міського будівництва КНУБА Чередніченко Петро Петрович – робочі тел. 044-24-15-543 та 044-245-42-04; мобільні: +38-067-442-13-41 та +38-067-442-13-36 (він же член редколегії збірника *„Сучасні проблеми архітектури та містобудування"*).

Збірник „Сучасні проблеми архітектури та містобудування":

сайт редколегії: http**://www.archinform.knuba.edu.ua/**;

Головний редактор, доктор архітектури, професор, завідувач кафедри інформаційних технологій в архітектурі КНУБА Товбич Валерій Васильович – робочий тел. 044-245-48-40; мобільний – +38-067-442-77-45.

Збірник „Архітектурний вісник КНУБА":

Web-сайт http**://www.av.knuba.edu.ua/**;

Головний редактор цього видання Президент Української академії архітектури, Народний архітектор України, Лауреат державної премії України в галузі архітектури, завідувач кафедри основ архітектури і архітектурного проектування КНУБА, доктор архітектури, професор Слєпцов Олег Семенович.

Контактний телефон редколегії збірника «Архітектурний вісник КНУБА» 044-24-15-564 (телефон кафедри професора Слєпцова О.С.).

P.S. При внесенні подальших змін до умов друкування статей в цих збірниках редколегії обов'язково опублікують нові вимоги в поточних випусках.

Прохання до авторів статей.
Додатково до тексту статті додавати файл з довідкою про авторів.

ДОВІДКА ПРО АВТОРА (авторів)

1. Автор (укр. і англ.) _____
(Прізвище, ім'я, по батькові)
2. Науковий ступінь_____
3. Вчене звання_____
4. Місце роботи (повна назва організації та адреса укр. і англ.) _____
_____
5. Контактні номери телефонів _____
6. Електронна пошта_____
7. Поштова адреса з індексом (на яку необхідно направити примірник збірника наукових праць, або номер відділення Нової пошти)
8. Назва публікації (укр. і англ.) _____
9. Анотації двома мовами з ключовими словами (укр., англ.) _____
10. Дата подання статті до редакції _____

Співавтори у порядку розміщеному у статті:
11. Співавтор (укр. і англ.) _____
(Прізвище, ім'я, по батькові)
2. Науковий ступінь_____
3. Вчене звання_____
4. Місце роботи (повна назва організації та адреса укр. і англ.) _____
5. Контактніномери телефонів_____
6. Електронна пошта_____

ЗМІСТ

Архітектура та містобудування

Білоус О.Ю., Паляниця К.О. *Перспективи оновлення індустріальної забудови 1960-их рр. в умовах сучасного Львова* …… 3

Вадімов Д.В. *Принципові положення щодо просторового вирішення прибудинкових територій багатоквартирних житлових будинків* ……... 16

Васильєв Д.В., Гомон О.О. *Апартаменти, як новий формат тимчасового житла* ……... 30

Гаращак Н.І. *Генеза та архітектурно-просторові перспективи курорту Трускавець (в контексті задач оновлення генплану міста)* ……... 39

Джамалов А.А. *Аналіз та оцінка досліджень шумового забруднення житлових районів міст України* …….. 60

Емаміанфар Алі, Третяк Ю.В., Косаревська Р.О. *Історична еволюція архітектурних рішень освітніх установ доісламського Ірану в аспекті сучасної енергоефективності* ……... 74

Зінов'єва О.С., Чернятевич Н.Г. *Умови та фактори організації архітектурно-міського середовища для захисту від повеней водно-болотних угідь* …… 89

Ключнікова А.М., Білоус П.К. *Особливості православної церкви середнього Подніпров'я як виразники національної ідентичності* …….. 102

Кондратюк В.М. *Екологічна стійкість у портовій архітектурі: стратегії та інновації* …….. 115

Кравченко І.Л., Оніщук О.В. *Аналітичний огляд практик застосування концепції гнучкості в архітектурі. Сучасний досвід* ……. 124

Лукашова А.В., Шевченко Л.С. *Різьблений декор в архітектурі: історичний екскурс* …… 143

Романченко О.Д. *Трансформації споруди церкви спаса на берестовому на початку XIII - у кінці XVI століття* …… 156

Столовий О.В., Ковальська Г.Л. *Універсальність архітектури та публічного простору в урбаністичній структурі сіл, як основа їх успішності* ……. 165

Топорков В.Г. *Естетика підземних пішохідних переходів* ……... 178

Фоменко О.А., Зінченко А.К. *Аспекти формування візуальних ознак безпеки архітектурного середовища* …… 197

Шевченко А.В. *Інновації у формуванні житлового середовища, здатного до адаптації* …… 213

Шелудько А.В., Татаренко В.М., Данилко Л.А., Куцевич В.В. *Особливості організації планувальних рішень машиномісць із зарядними пристроями для електромобілів* ……... 226

Шульга Г.М. *Сетодика імітаційного моделювання міграційних процесів у західному регіоні українських Карпат* …… 241

Будівництво та цивільна інженерія

Дьомін М.М., Михайлик О.О. *Структурно-логічна модель прибережного міста* … 253

Бітюков Д.О., Білик С.І. *Визначення та аналіз фізико-механічних характеристик балок з масивної, клеєної та перехресно-клеєної деревини* …. 265

Білик А.С., Джанов Л.В., Терновий М.І. *Визначення оптимальної висоти сталевих двотаврів змінного перерізу за методикою множників Лагранжа* ……. 282

Войтович В.А. *Інноваційні підходи до планування в будівельній галузі з акцентом на удосконалення процесів* …….. 303

Голик Й.М., Багрій Н.Ю., Вантюх Д.Е. *До питання просторової організації парків Закарпатської області* …….. 312

Голик Й.М., Федоряніч Т.В., Пудгородська Ю.А. *Застосування засобів малої механізації для благоустрою міських територій* …….. 328

Гук В.І., Запорожцева О.В. *Понятійний апарат транспортних потоків для дизайнерів при проектуванні міського середовища* ……... 342

Дружинін М.А. *Інноваційні напрями організації збірного будівництва в умовах нестабільного середовища девелопменту у воєнний та післявоєнний періоди* ……. 354

Касіянчук В.Д., Шевчук М.О., Веркалець С.М., Гусар К.Д., Манзяк О.В. *Виклики та перспективи організації виробництва будівельних матеріалів в умовах воєнного стану, приклад «тилової» області* ……. 368

Кіс Н.Ю., Тютюнникова Г.С., Несух М.М., Субота А.В. *Проблеми інтеграції концепції сталого розвитку в проєкти просторового планування в Україні (частина 1)* ……. 383

Кравчук О.А., Лаврухіна К.О., Кострич Б.О. *Перспективи підвищення енергоефективності насосних станцій водопостачання та водовідведення в умовах економічних викликів і воєнних дій в Україні* …… 397

Крутій Ю.С., Сур'янінов М.Г., Карнаухова Г.С., Перпері А.О., Клименко О.М. *Аналітичний розрахунок кільцевих пластин, що спираються на пружну основу з експоненціальною неоднорідністю* …….. 405

Линник І.Е., Сабаєва П.І. *Поводження з електронними відходами в Україні та світі* ……. 420

Малихін М.О. *Формування новітньої системи інтегрованої цифрової підготовки будівництва* …… 435

Микитенко М.Р. *Математичне моделювання та аналіз ефективності руху частинок у циклонних розпилювальних апаратах* …….. 456

Осетрін М.М., Карбан С.В. *BRT як структурний елемент транспортної системи міста* ……... 464

Отенко І.П., Кирик Я.Я., Петренко О.В., Гулієв Дж., Демчук А.І., Кацюба І.Р., *Науково-прикладні компоненти полікритеріальної системи діагностики організаційно-технологічних та економіко-управлінських рішень у будівельному девелопменті* …. 474

Перегінець І.І. *Основи організації будівництва будівель з позитивним енергобалансом за критеріями товарних одиниць* …… 489

Степанюк Р.Б., Антипенко Є.Ю., Валінкевич Н.В., Лавриненко О.М., Герасименко О.М. *структурно-динамічна трансформація операційної системи підприємств будівельного девелопменту: аналітико-прикладні аспекти* …… 510

Сур'янінов М.Г., Кіріченко Д.О., Сур'янінов В.М. *Аналогія розрахункової схеми циліндричного колодязя зі схемою вигину призматичної балки, що лежить на суцільній пружній основі* ……... 522

Сур'янінов М.Г., Нєутов С.П., Чучмай О.М. *Експериментальні та чисельні дослідження бетонних та фібробетонних арок* …… 534

Геодезія та землевпорядкування

Батура М.В. *Проблеми та перешкоди у розвитку сталого землекористування громад в умовах воєнного стану* …….. 544

Браславська О.В., Грицик О.М., Рожі Т.А. *Вплив кліматичних змін на просторовий розподіл та властивості ґрунтів у степовій зоні України* …… 557

Денисюк В.М., Мельник О.В. *Дистанційний моніторинг змін землекористувань в межах водозбору річки Турія* ……. 574

Дорожко Є.В., Ситник О.І., Кравчук М.О. *Використання безпілотних літальних апаратів (бпла) для високоточного геодезичного знімання* …… 597

Куліковська О.Є. *Потенційні ризики розвитку та діяльності гірничодобувних регіонів* …… 611

Нестеренко С.В., Бас Д.О. *Методи дистанційних досліджень для визначення руйнувань урболандшафтів* …….. 629

Пілічева М.О., Гамаюн І.В. *Оцінка наповнення бази геопросторових даних комплексного плану просторового розвитку території з відкритих джерел* ….. 642

Рожі І.Г., Рожі Т.А., Мандебура С.В. *Геоінформаційні технології та електронні геодезичні прилади для моніторингу поширення інвазійних рослин у ландшафтах центральної України* 654

До відома авторів статей! …… 670

Наукове видання

ПРОСТОРОВИЙ РОЗВИТОК

Науковий збірник

Випуск 11

Має свідоцтво про державну реєстрацію друкованого засобу масової інформації в Міністерстві юстиції України (серія КВ №24065-13905Р від 05 травня 2019 року).

Тематична спрямованість збірника, за якою публікуються наукові праці – спеціальності: **033. Філософія; 051. Економіка; 052. Політологія; 073. Менеджмент; 191. Архітектура та містобудування; 192. Будівництво та цивільна інженерія; 193. Геодезія і землеустрій; 281. Публічне управління та адміністрування.**

Визнаний МОН України як фахове видання категорії «Б» за спеціальностями: **051, 073, 191, 192, та 193** (Наказ МОН України №1309 від 25 жовтня 2023 року), а також за **052** спеціальністю (Наказ МОН України від 26.06.2024 № 920).

Збірник зареєстровано в міжнародних каталогах наукових видань та науково-метричних базах даних: **Index Copernicus International (ICI); CrossRef; Google Scholar; Наукова періодика України.**

Вимоги, яких слід дотримуватись в подальшому, для оформлення рукописів статей для опублікування в збірнику наведено у попередніх випусках №№1-3, 9, а також у збірнику «Містобудування та територіальне планування», випуски №№81-83, 87, 88.

З випусками збірника можна буде ознайомитись на сайті **http://www.nbuv.gov.ua** національної бібліотеки НАН України ім. В.І. Вернадського, на сайті **library.knuba.edu.ua** бібліотеки КНУБА та на сайті редколегії збірника s**pd.knuba.edu.ua.**

Статті можна надіслати за адресою електронної пошти: **petro_che@ukr.net.**

Комп'ютерне верстання випуску *О.П. Чередніченко*

Адреса редколегії: 03037, м.Київ-37, Повітрофлотський пр., 31. КНУБА.
Тел.: 241-55-43, 245-42-04.

Підписано до друку 28.02.2025 р. Формат 60x84 1/16.
Обл.-вид. арк. . Тираж 100. Зам. №

ТОВ "Видавництво "Ліра-К",
Свідоцтво про внесення до Державного реєстру
суб'єктів видавничої справи ДК №3981 від 15.02.2011.