

ГОЛОВНИЙ РЕДАКТОР

Михайло Сукач, д-р техн. наук, проф.

ЗАСТУПНИК РЕДАКТОРА

Олександр Безверхий, д-р ф.-м. наук, проф.

ВІДПОВІДАЛЬНИЙ ЗА ВИПУСК

Дмитро Міщук, канд. техн. наук, доц.

РЕДАКЦІЙНА КОЛЕГІЯ

Віктор Баженов, д-р техн. наук, проф.
Володимир Блінцов, д-р техн. наук, проф.
Андрій Бондаренко, д-р техн. наук, доц.
Олена Волошкіна, д-р техн. наук, проф.
Анатолій Гончар, чл.-кор. НАНУ,
 д-р техн. наук, ст. наук. співр.
Дмитро Гончаренко, д-р техн. наук, проф.
Віктор Грінченко, академік НАНУ,
 д-р техн. наук, проф.
Володимир Гришин, д-р техн. наук, проф.
Михайло Дубровський, д-р техн. наук, проф.
Степан Епоян, д-р техн. наук, проф.
Леонід Заміховський, д-р техн. наук, проф.
Олена Іванік, д-р геол. наук, проф.
Святослав Кравець, д-р техн. наук, проф.
Павло Кривенко, д-р техн. наук, проф.
Микола Кузьмінець, д-р техн. наук, доц.
Петро Куліков, д-р екон. наук, проф.
Олег Лимарченко, д-р техн. наук, проф.
Олександр Менейлюк, д-р техн. наук, проф.
Олексій Митропольський, чл.-кор. НАНУ,
 д-р геол.-мінер. наук, проф.
Володимир Михайлов, д-р геол. наук, проф.
Володимир Надутий, д-р техн. наук, проф.
Іван Назаренко, д-р техн. наук, проф.
Віталій Плоский, д-р техн. наук, проф.
Сергій Половка, д-р геол. наук, проф.
Олександр Приходько, д-р ф.-м. наук, проф.
Ігор Ребезнюк, д-р техн. наук, проф.
Валерій Самойленко, д-р ф.-м. наук, проф.
Володимир Симоненко, д-р техн. наук, проф.
Володимир Снісаренко, д-р техн. наук, проф.
Андрій Тевяшев, д-р техн. наук, проф.
Олександр Трофимчук, чл.-кор. НАНУ,
 д-р техн. наук, проф.
Олександр Холопцев, д-р геогр. наук, проф.
Роман Шульц, д-р техн. наук, проф.
Валерій Яковенко, д-р техн. наук, проф.



**ВПЛИВ ВОДИ НА ДОВКІЛЛЯ
ТА ІННОВАЦІЙНІ ТЕХНОЛОГІЇ**

Природничі науки
 Математика та статистика
 Інформаційні технології
 Механічна та електрична інженерія
 Автоматизація та приладобудування
 Виробництво та технології
 Архітектура та будівництво

МІЖНАРОДНА РАДА

Goran Bryntse, Ass. prof., PhD, EREF (Sweden)
Vera Chzhen, Gimnasium of Oriental Languages (Korea)
Carsten Drebenstedt, Prof., dr hab., TU Bergakademie
 Freiberg (Germany)
Jan Gliński, Czl. rzecz. PAN, Prof., dr hab., OL PAN (Poland)
Maxim Gots, PhD, P.Eng, Skyjack Inc. (Canada)
Li Hong, Confucius Institute of T. Shevchenko KNU (China)
Krishna Kayastha, PhD, Hydro-Technical Commission (Nepal)
Yevhen Kharchenko, Prof., ScD, Uniwersytet Warmińsko-Mazurski
 w Olsztynie (Poland)
Dmytro Kokarev, Solar energy system Amkortek-Ukraine (Israel)
Eugeniusz Krasowski, Prof., dr hab. inż., Komisja Motoryzacji
 i Energetyki Rolnictwa OL PAN (Poland)
Vladyslav Kvjatkovskiy, LTD Krypton Ocean Group (Virginian Isl.)
Viktor Mashkov, Ass. prof., ScD, Univerzita J.E. Purkyne
 v Usti nad Labem (Czech Republic)
Mihail Nikitenko, Prof., ScD, BNTU (Belorussia)
Paolo Orsini, Intern. company IRD Engineering (Italy)
Lech Rowinski, Prof., dr hab. inż., Politechnika Gdanska (Poland)
Henryk Sobczuk, Prof., dr hab. inż., Przedstawicielstwo w Kijowie
 PAN (Poland)
Pjotr Suvorov, Development of Danube Navigation (Hungary)
Tetiana Yerak, Director Lions Business Group (Slovenia)
Vadym Weltischev, Prof., PhD, MGTU to N. Bauman (Russia)

Атестовано Державною атестаційною комісією України.
 Наказ МОН України № 515 від 16.05.2016 р.

Затверджено Вченою радою Київського національного
 університету будівництва і архітектури
 25 березня 2016 р., протокол № 42

Мови видання українська, російська, англійська

Для науковців, виробників, фахівців

Зміст

	Природничі науки	
Петро Куліков, Михайло Сукач		3
Програма розробки корисних копалин Світового океану Program of development of minerals of the World ocean		
	Математика та статистика	
Олександр Безверхий, Вікторія Корнієнко		14
Коливання буйково-заякорених систем загородження на хвилях Oscillations buoy-moored barrier systems on the waves		
	Механічна та електрична інженерія	
Володимир Блінцов, Олександр Клочков		25
Рівняння існування самохідної прив'язної підводної системи як оцінка можливості її створення Equations of existence selfpropelled underwater system as assessment of the possibility of its creation		
	Автоматизація та приладобудування	
Oleksandr Blintsov		31
Architectural and structural type of self-propelled tethered underwater vehicles with improved maneuverability Архітектурно-конструктивний тип самохідних прив'язних підводних апаратів з удосконаленою керованістю		
	Виробництво та технології	
Владимир Надутый, Валентина Чельшкіна, Сергей Костыря		41
Аналіз комплексного обезвоживання мелких фракцій граніта Analysis of the integrated dewatering of fine fractions of granite		
Ольга Медведева		47
Определение размеров воронки всасывания для подводных технологий разработки россыпных месторождений Determining the size of the suction funnel for underwater placer mining technology		
	Архітектура та будівництво	
Людмила Рубан		54
Підводна урбаністика: питання та відповіді сучасності Underwater urban studies: modern issues and trends		
Nellja Lestschenko		66
Pre-project research cycle of the architectural environment of the small town's historical center as an analytical stage of it reconstruction Предпроектный цикл исследования архитектурной среды исторического центра малого города как аналитический этап его реконструкции		
Микола Осетрін, Олександра Бондар		75
Містобудівний досвід реалізації кільцевого принципу організації руху транспорту на підходах до мостів The town planning experience in implementing the principle of roundabouts on the approaches to bridges		
Олег Скорук		83
Міцність та тріщиностійкість сталевібробетонних плит, опертих по контуру при повторних навантаженнях The strength and crack resistance fiber concrete slabs supported on four sides on repeated loads		
Інформація		94

Програма розробки корисних копалин Світового океану

Петро Куліков, Михайло Сукач

Київський національний університет будівництва і архітектури
Повітрофлотський просп, 31, Київ, Україна, 03037
msukach@ua.fm, orcid.org/0000-0003-0485-4073

Анотація. Запропоновано програму створення нових технологій, техніки і комплексів по вивченню, видобуванню, транспортуванню і переробленню металомістких та інших твердих корисних копалин материкового шельфу і глибоководної частини океанів. Показано актуальність проблеми та ресурси морських корисних копалин, зазначено мету, задачі програми та її конкурентні переваги. Розглянуто світовий потенціал й потреби у розробці корисних копалин, визначено напрями й тематику наукових робіт, а також фінансові показники та форми інвестиційного співробітництва.

Ключові слова: розробка корисних копалин, Світовий океан, шельф.

АКТУАЛЬНІСТЬ ПРОБЛЕМИ

До недавнього часу вважалося, що в досяжному майбутньому світовій спільноті загрожуватиме тотальний дефіцит енергоресурсів і мінеральної сировини, розвідані запаси яких на материковій частині обмежені. Тому вже понад півстоліття пильну увагу спрямовано на інтенсивне вивчення багатств, зосереджених в морі [1]. За оцінками експертів на дослідження у Світовому океані щорічно витрачається близько \$500 млрд. Нині на акваторіях працюють більше 40 бурових суден і 200 бурових платформ з максимальною глибиною буріння до 12 км.

Морська геологія перестає бути чисто романтичною наукою. Новий етап в її розвитку зумовлений, передусім, відкриттям

великих родовищ нафти і газу на континентальних схилах, які у порівнянні з шельфом залишаються ще практично не вивченими. У кінці минулого століття розпочато підготовку до промислового освоєння глибоководних родовищ металоносною сировини: поліметалічних конкрецій (ПМК), які містять Mn, Ni, Co, Mo, Zn і енергетичної сировини – газогідратів (газ, метан).

МЕТА ПРОГРАМИ

Забезпечення паритетного з розвинутими країнами доступу України до мінерально-сировинних ресурсів глибоководних районів Світового океану. Вирішення проблеми дефіциту важливих стратегічних металів (нікелю, кобальту, міді, молибдену, цинку, свинцю, цирконію та ін.), а також сировини для виробництва добрив – фосфоритів. Вихід на закордонні ринки з конкурентоспроможною технікою по видобутку та переробці корисних копалин морського дна [2].

СВІТОВІ РЕСУРСИ КОРИСНИХ КОПАЛИН

Сумарні запаси газогідратів (твердий газ) у Світовому океані складають за різними оцінками від 12 до $76 \times 10^{16} \text{ м}^3$, а полі-

металічних конкрецій (тільки в Тихому океані) – 165 млрд. т. Їхня металоємність: близько 30 % – Mn; 1,3% – Ni; 1,2% – Cu; 0,2% – Co і ще майже 30 корисних компонентів. Кількість металів, які вилучаються із сухих ПМК, в річному виробництві підприємства потужністю 4 млн. т складає: Ni – 39,9; Cu – 30,9; Co – 7,8; Mn – 804,0 тис. т. [3].

За попередніми оцінками на дні Світового океану залягає близько 300 млрд. т залізомарганцевої руди, і ці запаси постійно збільшуються. Так, накопичення марганцю в конкреціях приблизно в 3 рази перевищує його споживання усією світовою промисловістю за той же період часу; накопичення кобальту і цирконію ще значніше – відповідно в 4,5 і 5 разів більше. Тобто, *запасів мінеральних ресурсів у Світовому океані вистачить на сотні і тисячі років.*

У 90-х рр. Радянським Союзом і США проводився експеримент з випробування земснаряду (дисторбера) для моделювання процесу видобування конкрецій і виявлення негативної дії на довкілля. Японією випробувано агрегат збору ПМК на глибині 2200 м в центрі північно-західної частини Тихого океан. Активно проводять дослідження Китай, Індія, Південна Корея та ін. країни-заявники ділянок.

Очікувані терміни початку комерційного видобування: газогідратів – друге, ПМК – третє десятиліття XXI сторіччя. Хто до цього часу буде *найбільш підготовлений в науково-технічному плані до вирішення проблеми* (тобто знайде надійний спосіб доступу до сировини з підводних родовищ), той і *виграє в конкурентній боротьбі* [4, 5].

Канадою, Норвегією, США і Японією з 2006 – 2007 рр. розпочато дослідно-промислове освоєння принципово нового і нечувано багатого (167×10^{17} м³ метану) вуглеводневого джерела енергії – метаногідрату. Він залягає у вигляді «горючого льоду» (113×10^{17} м³ CH₄) в донних осадах на 93...95 % площі Світового океану та у вигляді "підлідного метану" (54×10^{17} м³ CH₄) в надрах вічно мерзлотних областей материкового (острівного) суходолу. При сукупному світовому нафтогазови-

добуванні, яке дорівнює 2804×10^9 м³ (тобто 4 млрд. м³ нафти і 2800 млрд. м³ природного газу), *людству вистачить метаногідратів майже на 6 млн. років.*

Навіть якщо цей прогноз виправдається на 10 %, то все одно мета – отримання надійного доступу до родовищ газогідратів і освоєння промислової технології їхнього видобування – виправдовує засоби.

Азово-Чорноморський басейн та акваторія Балтійського моря останніми роками також стають зоною підвищеної уваги, як потенційне джерело морської мінеральної сировини, і не лише для прибережних держав.

Геологічні запаси, досліджені у басейні Чорного моря: *газогідрати* (твердий газ) 25...30 трлн. м³; *сапропелеві мули* (агрохімічна сировина) – $3,2 \times 10^{11}$ м³; *дрібнодисперсні піски* – до 100 млрд. т; *прісна вода* (загальний стік) – 178 млн. м³ в рік; *золото* в розсипах – 100...150 т; *ракушняк* – не обмежені; *бальнеологічні гряди* – 70 млн. м³; *сірка* – декілька млрд. т.; є запаси *залізних руд* на шельфі на південь від Керченського півострова зі змістом заліза 35...39 % і т.д.

Крім того, з *будівництвом нафтогазових* дно Чорного і Балтійського морів усе більше перетворюється на будівельний майданчик. Тому питання безпеки (у т.ч. екологічної) під час проведення робіт і експлуатації родовищ виходять на перший план.

ЗАДАЧІ ПРОГРАМИ ТА КОНКУРЕНТНІ ПЕРЕВАГИ

Традиційний шлях скорочення дефіциту мінеральної сировини, тобто збільшення обсягів видобування за рахунок континентальних родовищ, в більшості країн, включаючи Україну і Китай, є неперспективним. Ця сировина на суші або відсутня, або знаходиться у вигляді бідних руд, подальша розробка яких стає нерентабельною. Крім того, збільшення обсягів гірничо-видобувних робіт на суходолі призводить до втрати головного багатства країни – плодючих зе-

мель (наразі в Україні зруйновано гірничими роботами майже 200 тис. га плодючих земель).

Вирішення питання за рахунок імпорту сировини потребує значних валютних асигнувань, які при нинішніх обсягах споживання та встановленому рівні світових цін складають \$11...12 млрд. щорічно. В той же час багатства Світового океану, сучасний рівень розвитку техніки дозволяють створити рентабельне морське гірниче підприємство з видобування, транспортування та переробки твердих корисних копалин океанічного дна [6].

В результаті виконання проекту буде вирішено комплекс задач, а саме:

економічні – забезпечення потреб країни у нікелі, міді, цинку, свинцю, марганцю, рідкоземельних та дорогоцінних металах, кобальту, фосфоритах за рахунок переробки твердих корисних копалин морських родовищ;

політичні – забезпечення прав країн-учасників проекту, як суверенних держав, на використання багатств дна Світового океану; участь у вирішенні питань, пов'язаних з розподілом дна Світового океану; закріплення за Україною і Польщею права на відповідну долю ділянок родовищ залізомарганцевих конкрецій (ЗМК);

соціальні – збереження інфраструктури та робочих місць металургійних, машинобудівних, хімічних, суднобудівних, геологорозвідувальних підприємств та організацій, використання установ військово-промислового комплексу у технологічному циклі видобутку та переробки нових видів сировини; створення додаткового фонду робочих місць багатьох професій, пов'язаних зі створенням нового морського гірничого виробництва.

Для досягнення мети програма передбачає:

- проведення пошуків з розвідки перспективних ділянок Чорного та Балтійського морів, материкового шельфу Західної Африки, Індійського і Тихого океанів, інших регіонів; реєстрацію заявок на власну дія-

нку родовищ ТКК у відповідних міжнародних органах;

- проведення досліджень з оцінки впливу видобування мінеральної сировини у промислових масштабах на екологію океану (моря), розробку природоохоронних заходів;

- створення та практичне опрацювання техніки та технологій розвідки, видобування та переробки різних видів сировини; вихід з комерційними пропозиціями на закордонний ринок науково-технічної продукції;

- досягнення промислового видобутку в обсягах до 3 млн. т на рік сухих ЗМК (або відповідної кількості інших ТКК) на базі вітчизняної техніки морського гірничого виробництва з використанням науково-технічного та промислового потенціалу тих галузей промисловості, що підлягають конверсії.

СТАДІЯ ОПРАЦЮВАННЯ: ПОТЕНЦІАЛ ТА ПОТРЕБИ

В багатьох районах Світового океану є величезні запаси постійно відновлюваних покладів залізо- та кремніймарганцевих конкрецій, фосфоритів, інших корисних копалин – в окремих районах вони добре вивчені (зона Кларіон-Кліппертон в Тихому океані). Згідно з Міжнародною конвенцією ООН із Морського права від 1982 р. зареєстровано ділянки за первісними вкладниками (колишнім СРСР, Францією, Японією, Індією), а також міжнародними консорціумами ОМА, ОМІ, ОМСО, Connecott Corper, Інтероканметал (до останнього з 1987 р. залучено Болгарію, В'єтнам, Кубу, Польщу, Чехію, Словаччину); відбуваються заходи щодо їхнього промислового освоєння [7].

Науково-дослідні організації НАН України, інститути та КБ Мінмашпрому і Мінпрому України, університети КНУБА, КПІ та інші установи мають необхідний науково-технічний доробок, експериментально-стендову базу та полігони. Цей потенціал становить до 70 % усього доробку, накопиченого під час вирішення проблеми у рамках колишнього СРСР.

Промислові об'єднання та підприємства України, в тому числі ті, що залучаються у порядку конверсії, мають технологічні можливості для виготовлення експериментальних і дослідно-промислових зразків та організації серійного виробництва видобувного технологічного обладнання, видобувних та транспортних суден, устаткування для збагачення та переробки [8].

Металургійний комплекс України дозволяє вирішувати питання переробки мінеральної сировини на товарні метали та феросплави. Так, першу дослідну переробку ЗМК було проведено у 1988 – 1989 рр. у м. Нікополь, портом для приймання сировини могло б слугувати місто Керч, а для його первинної переробки – вивільнені потужності Комиш-Бурунського залізорудного комбінату.

Національна академія наук України, Держкомгеології, військово-морські сили України, так само як наукові установи й виробничі підприємства, володіють науково-дослідним флотом, здатним за певного переобладнання вирішувати задачі у будь-якому регіоні Світового океану; для цього доцільне використовувати значні потужності Миколаївського кораблебудівного заводу [9] та науковий потенціал Національного університету кораблебудування імені адмірала Макарова [22].

База підводної техніки “Гідронавт” та НВО “Марієкопром” в Севастополі мають глибоководні (до 2 км) апарати, науково-дослідні судна-носії, берегову інфраструктуру та причали (наразі тимчасово не доступні для використання в Україні). За умови реконструкції їх можна застосувати для обслуговування та ремонту глибоководної техніки.

Національний гірничий університет (Дніпропетровськ) має комплекс лабораторно-стендового устаткування та мілководних полігонів, без яких неможливе вирішення науково-технічних проблем розробки робототехнічних видобувних комплексів; розроблено технічні проекти та засоби, виготовлено та випробувано, у тому числі в дослідно-промислових рейсах спільно з на-

уковцями Німеччини, експериментальні вузли видобувної техніки [10].

В КНУБА створено бортове і занурюване обладнання для дослідження робочих процесів машин і властивостей донних ґрунтів у природному стані. В умовах полігонів і морських акваторій випробувано робочі органи і дослідні зразки підводних землерийних машин. Результати досліджень впроваджено у практику морських інженерно-геологічних робіт та використано у рекомендаціях із вибору і проектування раціональних параметрів підводних землерийних систем [11].

Необхідність виконання програми, зокрема для України, обумовлено наступним:

- потреба країни за даними ВО Механо-брчермет у товарних феросплавах на 2010 р. оцінювались біля 1825 тис. т, що не покривається власним виробництвом. Понад 10 видів феросплавів загальною масою 270 тис. т у 1990 р. надходили ззовні. Ліміти підприємств виділялися в середньому на 80 % потреб, а по сплавам на основі вольфраму та молібдену – 30...50 % від потреб;

- за тими ж даними у 1993 – 95 рр. в Україні спожито (в тис. т на рік): алюмінію – 950, міді – 290, нікелю – 80, олова – 6, цинку – 250, свинцю – 30, магнію – 15, титану – 6, кобальту – 0,6, молібдену – 0,13, вольфраму – 0,09, концентрату цирконієвого – 10, концентрату рутилового – 35, концентрату ільменітового – 57. Кольорові метали виплавляють в основному з імпортованої сировини;

- основною причиною ситуації, що склалася з виробництвом багатьох видів металів та металопродукції, є відсутність або нестача власних сировинних ресурсів, у т.ч. нікелевих, кобальтових, мідних, хромітових, свинцево-нікелевих, олово- та алюмосітких високоякісних руд;

- забезпечення мінеральною сировиною за рахунок імпорту потребує при середніх світових цінах (\$ США за 1 т нікелю – 10740, міді – 2414, кобальту – 31216, марганцю – 1923, фосфоритів – 2500) значних валютних коштів, а саме \$ 4...12 млрд. щорічно;

- промислово розвинуті країни (США, Японія, Великобританія, Франція, Німеччина), починаючи з 60-х років, а Китай, Індія, Південна Корея та ін. – з 80-х років минулого сторіччя проводять роботи по підготовці до освоєння багатств Світового океану; особлива увага приділяється районам, багатим на стратегічно важливі корисні копалини. Роботи здійснюється в основному у рамках національних програм під контролем держави за рахунок централізованих інвестицій. Китай, Індію, Південну Корею, країни Африки можна розглядати як потенційний ринок наукоємних технологій. Росія також продовжує роботи по створенню техніки розвідування та видобуванню мінеральних ресурсів Світового океану.

Таким чином, реалізація проекту дозволить вирішити найбільш раціональним шляхом проблему залучення у господарський обіг величезних запасів корисних копалин дна океану. Затримка розвитку робіт по втіленню проекту на довгі роки відсуне освоєння нового надійного джерела поповнення сировинної бази, спричинить відставання України від конкурентів, закриє вихід на світовий ринок відповідної наукоємної технології та техніки, призведе до втрати накопиченого науково-технічного потенціалу.

Стадійність програми

На першій стадії в проекті передбачено розробку засадних документів: принципових техніко-економічних вимог, технічних завдань, принципових техніко-економічних розрахунків, генеральних графіків та планів проведення робіт, схем фінансування з урахуванням можливостей вітчизняних та іноземних інвестицій, своєчасного повернення кредитів [12].

В результаті виконання цього етапу буде складено загальне уявлення про видобувну, транспортну та переробну техніку, організаційну структуру *морського гірничо-видобувного підприємства*; визначено необхідний обсяг геологорозвідувальних та науково-дослідних робіт; уточнено необхідні обсяги фінансування, строки проведення робіт; організовано кооперацію орга-

нізацій та підприємств з виконання проекту; визначено структуру, схеми управління та реалізації проекту.

Після завершення цих робіт, на другій стадії проекту будуть виконуватись:

- геологорозвідувальні роботи, що включають пошуково-розвідувальні рейси у перспективні райони. (Одними з перших районів проведення геологорозвідувальних та науково-дослідних робіт можуть бути шельф Балтійського моря в Ризькій затоці та Каламітське поле конкрецій в затоці Чорного моря із запасами 5 млн. т. За даними попередніх досліджень ці відносно бідні конкреції можуть застосовуватись як ефективні природні сорбенти важких металів в стічних водах промислових підприємств, в якості добрив у сільському господарстві, а також в'язучої сировини для виробництва будівельних матеріалів. Після закінчення сорбцій конкреції можуть бути використані як збагачена сировина для виробництва феросплавів);

- науково-дослідні роботи, що мають загально-проектне значення, а саме: зі створення наукових основ розробки техніки і технології видобування морських ТКК, дослідження впливу екологічно шкідливих факторів, що виникають при видобуванні, розробки заходів щодо їх запобігання;

- дослідження світового ринку техніки і технології видобування морських ТКК, розробка рекомендацій по організації спільних підприємств з іноземними інвестиціями;

- вирішення міжнародно-правових питань, що забезпечують інтеграцію України, Польщі, інших держав у міжнародні організації з видобування та використання твердих корисних копалин морського дна;

- створення дослідних зразків видобувного судна і комплексу технологічного обладнання для видобутку, підйому і переробки ТКК. Ця частина проекту повинна містити: проведення теоретичних та експериментальних досліджень, що забезпечать створення техніки; проведення стендових, полігонних і приймальних випробувань вузлів агрегатів та всього комплексу в цілому;

Паралельно із вищезазначеними роботами, на третій стадії проекту здійснюватимуться:

- створення дослідного зразка транспортного судна для перевезення видобутої сировини до берегової бази;
- будівництво дослідно-промислових зразків видобувних судових комплексів і транспортних суден;
- освоєння технологій і створення техніки переробки видобутої сировини у товарну продукцію;
- створення берегової бази з обслуговування та ремонту технічних засобів і судового технологічного обладнання;
- створення морського гірничого підприємства з видобутку і переробки ТКК.

ІНТЕЛЕКТУАЛЬНА ВЛАСНІСТЬ: НАЯВНІСТЬ ПАТЕНТНО-ПРАВОВОГО ЗАХИСТУ, KNOW-HOW

В дослідженнях Київського національного університету будівництва і архітектури, проведених за морською тематикою під керівництвом д.т.н., професора М.К. Сукача, протягом майже 30 років приймали участь: 4 доктори технічних наук, професори, 6 кандидатів технічних наук, 7 аспірантів і здобувачів наукового ступеня, провідні наукові, інженерні та технічні фахівці. За цей період виконано: 10 госпрозрахункових науково-дослідних робіт із загальним фінансуванням НДР і ОКР понад \$ 840 тис., 5 договорів про наукове творче співробітництво, 6 держбюджетних тем за замовленням МОН України [13, 14].

Наукову і виробничу діяльність колективу підпорядковано виконанню науково-технічних програм: ДКНТ “Світовий океан”, “Інтерморгео” за проблемою “Дослідження морів і океанів з метою використання їх мінеральних ресурсів”; планів науково-дослідних робіт організацій і підприємств: НДПШокеанмаш (Дніпропетровськ), НДІ мінеральної сировини (Москва), інститутів НДПШокеангеофізика (Геленджик), Центральної геологогеофізичної експедиції (Геленджик), ВНДШокеангеологія (С.-Пб),

Щ “Шторм” (Дніпропетровськ); плану Національного агентства по морським дослідженням і технологіям “Неживі ресурси”; держбюджетній тематиці Міносвіти і науки України.

Напрями і тематика наукових робіт:

- дослідження процесу розробки ґрунту під високим гідростатичним тиском з метою створення підводних ґрунторозробних машин;
- розробка і впровадження корабельних автоматизованих вимірювачів визначення міцності донних ґрунтів і геотехнічних модулів;
- натурне визначення гідророзмиву і зусиль різання донних ґрунтів для розрахунку енергетичних і технологічних параметрів робочих органів глибоководних механічних засобів;
- розробка засобів транспортування і оцінки властивостей донних ґрунтів і порід Світового океану з метою створення приладів, машин, обладнання і автоматизованих комплексів для будівельно-видобувних робіт в умовах різних ґрунтів;
- розробка і впровадження гравітаційних зондів і приладів реєстрації ударних імпульсів технічних засобів;
- дослідження по створенню робочих органів глибоководних видобувних і розвідувальних машин, автономної дослідницької апаратури;
- створення теорії руйнування підводних робочих середовищ і розробка на цій базі приладів для оцінки їх властивостей, методик розрахунку та обладнання для очистки поверхні донних масивів і конструкцій від радіоактивних забруднень та видобування корисних копалин;
- розробка методик, математичних моделей і проведення випробувань робочих органів підводних ґрунторозробних машин;
- наукові основи робочих процесів підводних землерийних машин, розробка методів і обладнання для очисних і видобувних робіт в забруднених водоймах України;
- енергетичні і деформаційні взаємозв'язки фізико-екологічного стану природних робочих середовищ гранично висо-

кої і низької міцностей при різних зовнішніх навантаженнях.

Результати дослідження

Розроблено методи прогнозування оцінки ґрунтових масивів по опору руйнуванню землерийними машинами. Визначено особливості процесу різання ґрунту робочими органами землерийних машин під гідростатичним тиском. Встановлено раціональні параметри ріжучих органів глибоководних ґруторозробних машин. Запропоновано експрес-метод визначення властивостей підводних ґрунтів для розрахунку робочого опору землерийних машин. Досліджено особливості і технічний стан робочих органів машин при швидкісній розробці ґрунтів. Визначено вплив динамічної дії підводних машин на дисперсні середовища. Розроблено методи прогнозування донного експлуатаційного фону на базі фізичного моделювання і результатів дослідження морського дна у природному стані. Встановлено закономірності взаємодії робочих органів землерийних машин з підводними в'язкопластичними ґрунтами.

Для вирішення цих задач співробітниками НДІ будівельно-дорожньої і інженерної техніки КНУБА на чолі з д.т.н., проф. М.К. Сукачом створено комплекс бортового і глибоководного обладнання, призначеного для контактного дослідження дна акваторій в суднових і підводних умовах під гідростатичним тиском до 65 МПа [15]. На полігонах і морських акваторіях випробувано робочі органи і дослідні зразки підводних землерийних машин. Результати досліджень впроваджено у практику морських інженерно-геологічних робіт, використано в рекомендаціях з вибору раціональних параметрів і проектування підводних землерийних систем.

Впровадження техніки і технології

Трубчасті пробовідбірники з розрізними пластмасовими вкладишами і судові геотехнічні модулі НГМ впроваджено НВО Південморгеологія на НДС "17 съезд проф-союзів" в рудоносному регіоні Кларіон-Кліппертон Тихого океану [16, 17]. Бортові

автоматизовані модулі БАГМ включено у складі інженерно-геологічного комплексу в загальну інформаційно-обчислювальну мережу на базі універсальних судових ЕОМ. Пристрої гравітаційного зондування ґрунту УГЗ-60 (занурювану частину з апаратурою реєстрації і бортові пристрої обробки даних) та методику гравітаційного зондування впроваджено на судах Центральної геолого-геофізичної експедиції при випробуваннях на чорноморському шельфі. Прилади ПРИЗ використано Інженерним центром "Шторм" на судні "Исследователь" при вивченні донних ґрунтів Новоросійської бухти. Фотопробовідбірники ГФУ-6-8/3 – зонди ГЗЗ і методику спектрально-фотографування дна впроваджено в НДП Океангеофізика під час проведення пікетажної зйомки морського дна. Там же використано метод опробування ґрунтів циліндричними зондами і комп'ютерну програму "Индентор", розроблену для реалізації інтерфейсу оператора, функцій розрахунків і відображення результатів.

Дослідний зразок буксированого донного розвідника БДР використано під час дослідження донних ґрунтів з борта НДС "Янтарь" в Геленджицькій бухті. Метод маршрутного опробування морського дна і діючий макет плануючої установки ПМЗ застосовано ВНД Океангеологією у випробуваннях на морському полігоні Балтійського відділення експериментально-дослідних робіт ВНДПігінколоммету в районі м. Лієпая (острів Рухну і Сааремаа). Результати досліджень гідророзмиву і механічної розробки донних відкладень Ризької затоки з борта НДС "Шельф-1" впроваджено у Всеросійському інституті мінеральної сировини при проектуванні видобувної установки і дослідницької апаратури.

Результати випробувань підводних землерийних машин, методики визначення властивостей і опору руйнуванню донних ґрунтів використані: в НДП Океанмаші (Дніпропетровськ) при створенні глибоководної видобувної установки; в СКБ техніки морських геологорозвідувальних робіт (Мурманськ) під час випробування самохі-

дного агрегату збору твердих корисних копалин на морському дні; в НДІ будівельно-дорожньої і інженерної техніки (Київ) при проектуванні ерліфтно-землесосного комплексу для розробки сапропелів під водою та плавучої установки для очищення водоймищ від радіоактивно забруднених мулів [18, 19].

Запропоновані в КНУБА нові методи і технічні засоби дозволили: підвищити продуктивність дослідження робочого процесу, скоротити термін створення і забезпечити ефективність застосування землерийних машин під водою; реалізувати комплексну оцінку донних масивів при скороченні числа станцій пробовідбору та загальної трудомісткості рейсових робіт; встановити експлуатаційний ґрунтовий фон на морському дні і оптимальні траси видобувних систем [20, 21].

За матеріалами виконаних досліджень авторським колективом опубліковано понад 500 наукових праць, у т.ч. 11 монографій, 30 навчальних посібників і підручників, понад 300 наукових статей, у т.ч. в міжнародних журналах “Тека”, “Motrol”, “Econtechmod”, “Підводні технології”. Пріоритет технічних рішень захищено понад 40 авторськими свідоцтвами і патентами на винахід.

Загальний економічний ефект від впровадження результатів роботи становить понад 4,5 млн. грн. Основні положення, наукові й практичні результати роботи доповідались, обговорювались і одержали позитивну оцінку на багатьох міжнародних, республіканських конференціях та конгресах, наукових семінарах профільних установ і вищих навчальних закладів України та інших держав протягом 1986 – 2015 рр.

ФІНАНСОВІ ПОКАЗНИКИ: ТЕРМІН ВИКОНАННЯ, ПЕРІОД ОКУПНОСТІ, ЗАГАЛЬНА ВАРТІСТЬ

Основні завдання програми та етапи їх виконання.

1. Розробка засадних документів, схем реалізації проекту і управління ним. Прове-

дення пошукових науково-дослідних і прогностичних геологічних оцінок: 2016 – 2018 рр.

2. Розробка та створення технічних засобів і технологій виконання завдань із проведення геологорозвідувальних робіт, модернізації технічних засобів розвідки, створення дослідних зразків видобувних комплексів, суден для транспортування і переробки сировини: 2019 – 2024.

3. Проведення всього комплексу науково-дослідних робіт і створення берегової інфраструктури з обслуговування та ремонту видобувної техніки: 2025...2030 рр.

Очікувані результати виконання програми:

- встановлення перспективних ділянок родовищ ТКК з даними про їхні запаси та оформлення відповідної заявки державучасниць;

- використання Україною та Польщею частки ділянки родовища ЗМК, зареєстрованої за колишнім СРСР та міжнародною організацією “Інтерокееанметал”;

- технічні засоби для експлуатаційної розвідки родовищ мінеральних ресурсів;

- науково-дослідні судна, доукомплектовані вітчизняним та іноземним устаткуванням, для пошуку і розвідки морських корисних копалин;

- технології видобування та використання твердих корисних копалин, з дотриманням необхідних екологічних вимог;

- суднові комплекси промислового видобування ТКК та відповідні транспортні судна;

- реконструйовані підприємства з виробництва і переробки сировини, порти для приймання транспортних суден, берегова база обслуговування та ремонту підводної техніки;

- спільне морське підприємство по випуску стратегічно важливих чорних та кольорових металів і сплавів з обсягом виробництва до 3 млн. т на рік сухих ЗМК або відповідної кількості інших ТКК, виробничою потужністю до 50 тис. т на рік (за нікелевим еквівалентом), обсягом товарної продукції до \$ 860 млн., рентабельністю 23 %

та терміном окупності 15 років, за ризиком замовника до 12 %.

Орієнтовна вартість виконання проекту в цілому: \$ 990 млн., в т.ч. доля КНУБА у 2016 р. – \$ 1,6 млн.

ФОРМИ ІНВЕСТИЦІЙНОГО СПІВРОБІТНИЦТВА

Пропонуються два шляхи фінансування.

1. Зважаючи на те, що витрати на розробку океанських родовищ порівнюються з необхідними витратами на розширення гірничо-видобувних підприємств суходолу, вирішення низки економічних і політичних проблем може забезпечити державне бюджетне фінансування науково-дослідних, геологорозвідувальних і проектно-конструкторських робіт.

Фінансування створення промислових (серійних) зразків техніки доцільно забезпечити за рахунок кредиту з поверненням їх замовнику після виходу на проектну потужність гірничо-видобувних підприємств. Фінансування реконструкції переробних підприємств, баз для обслуговування та ремонту техніки, портів надходження сировини проводитиметься також за рахунок кредитів.

2. Другий шлях передбачає організацію акціонерного товариства із залученням коштів зацікавлених установ, організацій, окремих вітчизняних та іноземних підприємств.

Засновниками такого акціонерного товариства з боку України могли б стати: КНУБА, Інститут геотехнічної механіки НАН України, концерн “Азовмаш”, ВО “Південний машинобудівний завод”, КБ “Південне”, ЦКБ “Корал”, Держкомгеології, Мінпромполітики України та інші; з Китайської – відповідні підприємства і установи.

Товарною продукцією акціонерного товариства можуть бути:

- результати геологорозвідувальних робіт;
- результати науково-дослідних робіт і випробувань;
- технології розробки родовищ;

- проекти технічних засобів видобування, транспортування і переробки корисних копалин.

Крім феросплавів та лігатур з кольорових металів, товарною продукцією також буде надання послуг з видобування, транспортування і переробки сировини. Для цього створюватимуться спільні підприємства, наприклад з Індією, Китаєм, Польщею та ін. державами, які мають інтерес до співробітництва за цією проблемою.

ВИСНОВКИ

1. Комплексна програма «Розробка корисних копалин Світового океану» передбачає підготовку пропозицій до Кабінету Міністрів України та урядів країн-засновників щодо розробки національних програм та включення їх до державного плану фінансування із залученням міжнародних установ та венчурного капіталу.

2. Отже, участь у спільній міжнародній програмі та супровід інноваційного проекту є найбільш ефективним і реальним шляхом для входження України до числа передових країн, що займаються підготовкою до промислового освоєння морських родовищ мінеральної сировини, стане запорукою енергетичної та сировинної незалежності наших країн у світовому просторі.

ЛІТЕРАТУРА

1. **Шнюков Е.Ф., Зиборов, А.П., 2004.** Минеральные богатства Черного моря. Киев, Карбон-ЛТД, 279.
2. **Закон України** про затвердження Загальнодержавної програми розвитку мінерально-сировинної бази України на період до 2030 року, **2011.** Відомості Верховної ради України (ВВР), № 44, ст. 457.
3. **Казмин Ю.Б., Глумов И.Ф., Корсаков О.Д. и др., 1988.** Принципы подсчета прогнозных ресурсов и запасов полиметаллических конкреций Мирового океана. Геленджик, ПО Южморгеология», 104.
4. **Морское право, 1984.** Официальный текст Конвенции ООН по морскому праву с приложениями и предметным указателем. За-

- ключительный акт 3-й конференции ООН по морскому праву. Нью-Йорк, ООН, 316.
5. **Правила** регистрации первоначальных вкладчиков и положение о конфиденциальности данных и информации, **1986**. Подготовительная комиссия для Международного органа поморскому дну и Международного трибунала по морскому праву. Кингстон, Ямайка, 42.
 6. **Казмин Ю.Б., Волков А.Н., Глумов И.Ф. и др., 1989**. Международно-правовые и экономические проблемы поиска, разведки и освоения минеральных ресурсов глубоководных районов Мирового океана. Геленджик, ПО Южморгеология, 143.
 7. **Зиборов А.П., 2008**. Перспективы и задачи освоения морских месторождений минерального сырья. Геология и полезные ископаемые Мирового океана. Вып. 3, 5-18.
 8. **Половка С.Г., 2015**. Историчний зріз геологічного вивчення Азово-Чорноморського регіону дослідниками України. Підводні технології, Вип.01, 11-23.
 9. **Іванік О.М., 2015**. Моделювання впливу небезпечних геологічних процесів на функціонування транспортних природно-техногенних систем в умовах морського середовища. Підводні технології, Вип. 01, 13-22.
 10. **Франчук В.П., Бондаренко А., 2015**. Математическая модель движения несущего потока в классификаторе гидравлическом горизонтальном. Підводні технології, Вип.01, 24-31.
 11. **Баладинский В.Л., Сукач М.К., 1999**. Подводные строительные работы: учеб. пособ. Київ, ИСМО, 224.
 12. **Куликов П.М., Сукач М.К., 2015**. О готовности Украины к освоению полезных ископаемых Мирового океана. Подводные технологии, Вып.02, 3-10.
 13. **Моисеенко В.Г., 1987**. Прогнозирование рабочих нагрузок землеройных машин в особых условиях: монография. Киев, Вища школа, 194.
 14. **Сукач М.К., 2016**. Будівельна техніка: підручник. Київ, Ліра-К, 416.
 15. **Сукач М.К., 1998**. Разработка глубоководных грунтов: монография. Киев, Наукова думка, 348.
 16. **Сукач М.К., 1997**. Гравитационное зондирование грунтов: монография. Киев, Наукова думка, 172.
 17. **Сукач М.К., 2011**. Конструювання землеройно-дорожніх машин: навч. посіб. Київ, КНУБА, 260.
 18. **Сукач М.К., 1998**. Самоходная установка для сбора железомарганцевых конкреций. Известия вузов. Строительство, Вип. 9, 99-103.
 19. **Сукач М.К., Горбатюк Є.В., Марченко О.А., 2013**. Синтез землерийної і дорожньої техніки: підручник. Київ, Ліра-К, 376.
 20. **Сукач М.К., 2012**. Глубоководная техника и технология для разработки полезных ископаемых Мирового океана. Труды VI Международ. науч.-техн. конф. Энергия-2012, Симферополь-Алупка, 9.
 21. **Сукач М.К., Николенко И.В., 2014**. Трансфер инновационных технологий: монография. Saarbrücken, Germany: Palmarium Academic Publishing, 482.
 22. **Блинцов В.С., 1998**. Привязные подводные системы. Киев, Наукова думка, 230.

REFERENCES

1. **Shnjukov E.F., Ziborov, A.P., 2004**. Mineral'nye bogatstva Chernogo morja. Kiev, Karbon-LTD, 279 (in Russian).
2. **Zakon Ukrai'ny pro zatverdzhennja Zagal'noderzhavnoi' programy rozvytku mineral'no-syrovynnoi' bazy Ukrai'ny na period do 2030 roku, 2011**. Vidomosti Verhovnoi' rady Ukrainy (VVR), № 44, 457 (in Ukrainian).
3. **Kazmin Ju.B., Glumov I.F., Korsakov O.D. i dr., 1988**. Principy podscheta prognoznyh resursov i zapasov polimetallicheskih konkretij Mirovogo okeana. Gelendzhik, PO Juzhmorgeologija», 104 (in Russian).
4. **Morskoe pravo, 1984**. Oficial'nyj tekst Konvencii OON po morskomu pravu s prilozhenijami i predmetnym ukazatelem. Zakljuchitel'nyj akt 3-j konferencii OON po morskomu pravu. New York, OON, 316 (in Russian).
5. **Pravila registracii pervonachal'nyh vkladchikov i polozhenie o konfidencial'nosti dannyh i informacii, 1986**. Podgotovitel'naja komissija dlja Mezhdunarodnogo organa po morskomu dnu i Mezhdunarodnogo tribunala po morskomu pravu. Kingston, Jamajka, 42 (in Russian).
6. **Kazmin Ju.B., Volkov A.N., Glumov I.F. i dr., 1989**. Mezhdunarodno-pravovye i jekonomicheskie problemy poiska, razvedki i osvoenija mineral'nyh resursov glubokovodnyh rajonov Mirovogo okeana. Gelendzhik, PO Juzhmorgeologija», 143 (in Russian).

7. **Ziborov A.P., 2008.** Perspektivy i zadachi osvoenija morskikh mestorozhdenij mineral'nogo syr'ja. Geologija i poleznye iskopaemye Mirovogo okeana. Vyp.3, 5-18 (in Russian).
8. **Polovka S.G., 2015.** Istorichnij zriz geologichnogo vivchennja Azovo-Chornomors'kogo regionu doslidnikami Ukraini. Pidvodni tehnologii, Vyp. 01, 11-23 (in Russian).
9. **Ivanik O.M., 2015.** Modeljuvannja vplyvu nebezpečnyh geologichnyh procesiv na funkcionuvannja transportnyh pryrodno-tehnogeny system v umovah mors'kogo seredovyshha. Pidvodni tehnologii', Vyp. 01, 13-22 (in Ukrainian).
10. **Franchuk V.P., Bondarenko A.A., 2015.** Mate-matcheskaja model' dvizhenija nesushhego potoka v klassifikatore gidravlicheskom gorizonta'nom. Pidvodni tehnologii, Vyp.01, 24-31 (in Russian).
11. **Baladinskij V.L., Sukach M.K., 1999.** Podvodnye stroitel'nye raboty: ucheb. posob. Kyiv, ISMO, 224 (in Russian).
12. **Kulikov P.M., Sukach M.K., 2015.** O gotovnosti Ukrainy k osvoeniju poleznyh iskopaemyh Mirovogo okeana. Pidvodni tehnologii, Vyp.02, 3-10 (in Russian).
13. **Moiseenko V.G., 1987.** Prognozirovanie rabochih nagruzok zemlerojnyh mashin v osobyh uslovijah: monografija. Kiev, Vishha shkola, 194 (in Russian).
14. **Sukach M.K., 2016.** Budivel'na tehnika: pidruchnyk. Kyiv, Lira-K, 416 (in Ukrainian).
15. **Sukach M.K., 1998.** Razrabotka glubokovodnyh gruntov: monografija. Kiev, Naukova dumka, 348 (in Russian).
16. **Sukach M.K., 1997.** Gravitacionnoe zondirovanie gruntov: monografija. Kiev, Naukova dumka, 172 (in Russian).
17. **Sukach M.K., 2011.** Konstrujuvannja zemlerijno-dorozhnyh mashin: navch. posib. Kiiv, KNUBA, 260 (in Ukrainian).
18. **Sukach M.K., 1998.** Samohodnaja ustanovka dlja sbora zhelezomargancevyh konkretij. Izvestija vuzov. Stroitel'stvo, Vyp. 9, 99-103 (in Russian).
19. **Sukach M.K., Gorbatjuk Є.V., Marchenko O.A., 2013.** Sintez zemlerijnoї i dorozhnoї tehniki: pidruchnik. Kyiv, Lira-K, 376 (in Ukrainian).
20. **Sukach M.K., 2012.** Glubokovodnaja tehnika i tehnologija dlja razrabotki poleznyh iskopaemyh Mirovogo okeana. Trudy VI Mezhdunar. naukch.-tehn. konf. Energija-2012, Simferopol', Alupka, 9 (in Russian).
21. **Sukach M.K., Nikolenko I.V., 2014.** Transfer innovacionnyh tehnologij: monografija. Saarbrucken, Germany: Palmarium Academic Publishing, 482 (in Russian).
22. **Blintsov V.S., 1998.** Privjaznye podvodnye sistemy. Kiev, Naukova dumka, 230 (in Russian).

Program of development of minerals of the World ocean

Petro Kulikov, Mykhailo Sukach

Kyiv National University of Construction
and Architecture

Povitroflotsky prosp., 31, Kyiv, Ukraine, 03037,
msukach@ua.fm, orcid.org/0000-0003-0485-4073

Summary. The program of creation of new technologies, technique and complexes is offered on a study, booty, transporting and redoing threew capacious and other hard minerals of mainland shelf and deep-water part of oceans. Actuality of problem and resources of marine minerals are shown, an aim is marked, program tasks and her competitive edges. World potential and requirements are considered in development of minerals, certainly directions and subjects of the advanced studies, and also financial indexes and forms of investment collaboration.

Key words: development of minerals, World ocean, shelf.

Коливання буйково-заякорених систем загородження на хвилях

Олександр Безверхий¹, Вікторія Корнієнко²

Інститут механіки імені С.П. Тимошенка НАН України
вул. П. Нестерова, 3, Київ, Україна, 03057

¹ o_bezver@ukr.net, orcid.org/0000-0002-0834-6335

² vf_kornienko@ukr.net, orcid.org/0000-0003-4763-8784

Анотація. В роботі запропоновані методика і алгоритми дослідження коливань буйково-заякореної системи загородження, що дозволяє визначити динамічні і кінематичні характеристики поведінки таких систем під дією морського хвилювання. На основі класичних підходів про коливання систем побудована система рівнянь руху буйково-заякорених конструкцій. Проведено деталізацію сил, що діють на всі елементи конструкції. З використанням апроксимацій гнучких елементів за допомогою сплайнів нелінійні диференціальні рівняння другого порядку в частинних похідних зведені до нелінійних задач Коші по часовій координаті, що розв'язуються чисельно. В роботі на прикладі конкретної буйково-заякореної системи проведено чисельний аналіз впливу параметрів морських хвиль (періоду, кута набігання хвильового фронту) на натяги в різних точках конструкції, а також на конфігурацію системи в просторі під дією хвиль.

Ключові слова: коливання, буйреп, морське хвилювання, натяг, ривки.

ВСТУП

Буйково-заякорені системи загородження використовують з метою обмеження розливів нафти, а також в якості гнучких біотехнічних споруд для вирощування морських організмів і водоростей, тощо

[9]. Вони знаходяться під дією нерівномірно розподілених у просторі навантажень (течії, хвилі) і можуть мати різну конфігурацію.

Досвід експлуатації і проектування таких систем показує, що в умовах хвилювання і течій в якірних канатах (гнучких елементах конструкцій), специфічні пружні властивості яких полягають в тому, що вони працюють на розтяг і не працюють на стиск, виникають “розслаблення” з наступним ривковим збільшенням в них натягу, який може перевершувати статичні значення в кілька разів [1, 2, 9].

Тривала дія перемінних зусиль та ривкових ефектів має негативний вплив на міцність і надійність роботи буйково-заякорених систем загородження. Тому необхідне вивчення нестационарної динамічної поведінки такої системи як в цілому, так і окремих її елементів, тому що “розслаблення” в деяких елементах призводять до появи ривків та вібрацій в усій системі.

МЕТА І МЕТОДИ

Метою дослідження є вивчення впливу дії хвиль на коливання буйково-заякорених систем загородження, а саме: визначення

кінематичних і силових характеристик системи загородження при різних векторах і періодах хвиль та виявлення гнучких елементів, в яких виникає “розслаблення”.

Розглянемо гнучкий елемент конструкції (гнучке протяжне тіло). Під гнучким тілом будемо розуміти тіло, яке при малих деформаціях має значні скінченні переміщення і працює тільки на розтяг, а під протяжним – тіло, один розмір якого значно перевищує два інші. Нехай на тіло діють масові сили $\bar{P}^\lambda(x_k, t)$, на частині поверхні тіла діють поверхневі сили $\bar{F}^\lambda(x_k, t)$ і задані переміщення $\bar{u}^\lambda(x_k, t)$. Відлік часу і переміщення ведемо від початкового незбуреного стану.

Для знаходження розподілу напружень і деформацій в тілі, обумовлених рухом тіла, запишемо принцип віртуальної роботи для такої динамічної задачі [6]

$$\int_{t_1}^{t_2} \left\{ \iiint_V \sigma^{\lambda m} \delta e_{\lambda m} dV - \delta K - \iiint_V \bar{P} \delta \bar{R} dV - \iint_S \bar{F} \delta \bar{R} dS \right\} dt = 0. \quad (1)$$

Тут $\bar{R} = \bar{R}_0 + \bar{u}$, $e = \frac{1}{2} (u_{,\mu}^\lambda + u_{,\lambda}^\mu + u_{,\lambda}^\lambda u_{,\mu}^\lambda)$.

Для знаходження розв’язку задачі (1) проведемо дискретизацію системи, переміщення виразимо через дискретне число узагальнених координат $q_j (j = 1, 2, \dots, N)$ і запишемо у вигляді

$$u^\lambda = u^\lambda(x_1, x_2, x_3, q_1, q_2, q_3, t).$$

Тоді

$$\frac{d\bar{R}}{dt} = \sum_{j=1}^N \frac{\partial \bar{R}}{\partial q_j} \dot{q}_j + \frac{\partial \bar{R}}{\partial t},$$

$$\delta \bar{R} = \sum_{j=1}^N \frac{\partial \bar{R}}{\partial q_j} \delta q_j. \quad (2)$$

Перетворимо вираз $\int_{t_1}^{t_2} \delta K dt$ в (1), використовуючи узагальнені змінні q_j

$$\int_{t_1}^{t_2} \delta K dt = - \int_{t_1}^{t_2} \sum_{j=1}^N \left[\frac{d}{dt} \cdot \frac{\partial K}{\partial \dot{q}_j} - \frac{\partial K}{\partial q_j} \right] \cdot \delta q_j dt, \quad (3)$$

де враховані умови $\delta q_j(t_1) = 0$, $\delta q_j(t_2) = 0$, $j = \overline{1, N}$.

Використовуючи (2), третій і четвертий члени в (1) приведемо до вигляду

$$\iiint_V \bar{P} \delta \bar{R} dV + \iint_S \bar{F} \delta \bar{R} dS = \sum_{j=1}^N Q_j^3 \delta q_j, \quad (4)$$

де $Q_j^3 = \iiint_V \bar{P} \frac{\partial \bar{R}}{\partial q_j} dV + \iint_S \bar{F} \frac{\partial \bar{R}}{\partial q_j} dS -$

узагальнені зовнішні сили.

Так як ми розглядаємо гнучкі протяжні елементи конструкції, то перший член в варіаційному принципі (1) можна звести до вигляду

$$\iiint_V \sigma \delta \varepsilon dV = \int_L T \delta \varepsilon ds, \quad \text{де } T = \iint_F \sigma dF.$$

Користуючись (2), можна записати

$$\delta \varepsilon = \sum_{j=1}^N \frac{\partial \varepsilon}{\partial q_j} \delta q_j.$$

Введемо $Q_j^e = \int_L T_j \frac{\partial \varepsilon}{\partial q_j} ds -$ узагальнені

внутрішні сили.

Тоді

$$\int_L T \delta \varepsilon ds = \sum_{j=1}^N Q_j^e \delta q_j. \quad (5)$$

Підставимо (3), (4), (5) в (1) і одержимо

$$\int_{t_1}^{t_2} \sum_{j=1}^W \left[\frac{d}{dt} \cdot \frac{\partial K}{\partial \dot{q}_j} - \frac{\partial K}{\partial q_j} - Q_j^3 + Q_j^6 \right] \delta q_j dt = 0 \quad (6)$$

Так як варіації незалежні, то з рівняння (6) одержимо систему N рівнянь

$$\frac{d}{dt} \cdot \frac{\partial K}{\partial \dot{q}_j} - \frac{\partial K}{\partial q_j} = Q_j^3 - Q_j^6, \quad j = \overline{1, N}. \quad (7)$$

Ці рівняння є рівняннями руху Лагранжа пружних тіл, переміщення яких скінченні.

Запишемо рівняння руху гнучкого елемента в нерухомій системі координат Ox_1, x_2, x_3 . Після дискретизації системи за узагальнені координати вибираємо просторові координати точок дискретизації. Тоді радіус-вектор гнучкого елемента між точками дискретизації запишемо у вигляді

$$\vec{R}_i = \sum_{k=1}^3 R_{ki} \vec{e}_k,$$

де R_{ki} – функції, що виражають зв'язок довжини осі гнучкого елемента і координат точок дискретизації, \vec{e}_k – одиничний радіус-вектор.

Силу натягу для гнучких елементів з лінійними пружними властивостями можна записати у вигляді

$$T = C_E \varepsilon H(\varepsilon), \quad (8)$$

де C_E – коефіцієнт лінійної пружності,

$$\varepsilon = \frac{ds - dl}{dl} = \left| \frac{\partial \vec{R}}{\partial l} \right| - 1 \quad \text{– відносне видовження,}$$

$$H(\varepsilon) = \begin{cases} 1 & \varepsilon > 0 \\ 0 & \varepsilon \leq 0 \end{cases},$$

тобто гнучкий елемент працює тільки на розтяг.

Кінетична енергія набуде вигляду

$$K = \frac{1}{2} \sum_{i=0}^{N-1} \iiint_V \rho_i \dot{\vec{R}}_i^2 dV = \frac{1}{2} \sum_{i=P}^{N-1} \int_{l_i}^{l_{i+1}} m'_i \dot{\vec{R}}_i^2 ds,$$

де $m'_i = \iint_{F_i} \rho'_i dF_i$ – погонна маса розтягнутого елемента,

а згідно закону збереження маси $m_i dl = m'_i \left| \frac{\partial \vec{R}_i}{\partial l} \right| ds$.

Надамо формулам для узагальненої внутрішньої сили Q_i^6 і узагальненої зовнішньої сили Q_i^3 вигляду

$$\begin{aligned} Q_i^6 &= \int_{l_i}^{l_{i+1}} (C_{Ei} \varepsilon_i) H(\varepsilon_i) \frac{\partial \varepsilon_j}{\partial x_{kj}} ds = \\ &= \int_{l_i}^{l_{i+1}} \left(C_{Ei} \left(\left| \frac{\partial \vec{R}_i}{\partial l} \right| - 1 \right) \right) \times \\ &\times H \left(\left| \frac{\partial \vec{R}_i}{\partial l} \right| - 1 \right) \frac{\partial \left| \frac{\partial \vec{R}_i}{\partial l} \right|}{\partial x_{kj}} \left| \frac{\partial \vec{R}_i}{\partial l} \right| dl, \\ Q_i^3 &= \int_{l_i}^{l_{i+1}} \vec{f}_i \frac{\partial \vec{R}_i}{\partial x_{kj}} ds = \\ &= \int_{l_i}^{l_{i+1}} (\vec{f}_i^p + \vec{f}_i^m) \frac{\partial \vec{R}_i}{\partial x_{kj}} \left| \frac{\partial \vec{R}_i}{\partial l} \right| dl. \end{aligned}$$

Тут $\vec{f}_i^p = \int_{P_i} \vec{F}_i dp$ – розподілена поверхнева сила,

$\vec{f}_i^m = \iint_{F_i} \vec{P}_i dF_i$ – розподілена масова сила.

З врахуванням виразів для кінетичної енергії та її похідних, а також узагальнених сил, рівняння руху гнучкого елемента (7) набуде вигляду

$$\begin{aligned} &\int_0^1 \sum_{i=0}^{N-1} L_i \left\{ m_i \ddot{\vec{R}}_i \frac{\partial \vec{R}_i}{\partial \dot{x}_{kj}} - m_i \dot{\vec{R}}_i \frac{\partial \dot{\vec{R}}_i}{\partial x_{kj}} + \right. \\ &+ \left(C_{Ei} \left(\left| \frac{\partial \vec{R}_i}{\partial l} \right| - 1 \right) \right) H \left(\left| \frac{\partial \vec{R}_i}{\partial l} \right| - 1 \right) \frac{\partial \vec{R}_i}{\partial l} \frac{\partial}{\partial x_{kj}} \left| \frac{\partial \vec{R}_i}{\partial l} \right| + \\ &\left. + (\vec{f}_i^p - \vec{f}_i^m) \frac{\partial \vec{R}_i}{\partial x_{kj}} \left| \frac{\partial \vec{R}_i}{\partial l} \right| \right\} d\xi = 0, \quad (9) \end{aligned}$$

$$j = \overline{0, N}, k = 1, 2, 3, \xi = \frac{l - l_i}{L_i}, L_i = l_{i+1} - l_i.$$

При взаємодії з зовнішнім середовищем на гнучкий елемент діють: сила поверхневого гідродинамічного опору, сила інерції приєднаної маси рідини, що залучається в сумісний рух, сила ваги гнучкого елемента та сила Архімеда [10]. Будемо вважати також, що в деяких r -точках задані кінематичні крайові умови $\bar{R}_{r(i)}^0 = \bar{R}_{r(i)}^0(t)$, внаслідок чого розмірність системи рівнянь зменшиться на r рівнянь з відповідними номерами. Таким чином, рівняння руху гнучкого елемента набудуть вигляду

$$\int_0^{N-1} \sum L_i \left\{ m_i \ddot{\bar{R}}_i \frac{\partial \dot{\bar{R}}_i}{\partial \dot{x}_{kj}} - m_i \dot{\bar{R}}_i \frac{\partial \dot{\bar{R}}_i}{\partial x_{kj}} - m_{ai} (\dot{\bar{V}} - \dot{\bar{R}}_i) |\bar{\tau}_i| \frac{\partial \dot{\bar{R}}_i}{\partial x_{kj}} + (C_{Ei}(|\bar{\tau}_i| - 1)H(|\bar{\tau}_i| - 1)) \bar{\tau}_i \left| \frac{\partial}{\partial x_{kj}} (|\bar{\tau}_i|) + \left\{ (\rho_c F_i |\bar{\tau}_i| - m_i) \bar{g} - \frac{C_{ti}}{|\bar{\tau}_i|} |\bar{\tau}_i| (\bar{V} - \dot{\bar{R}}_i) \bar{\tau}_i \left[(\bar{V} - \dot{\bar{R}}_i) \bar{\tau}_i \right] \frac{1}{|\bar{\tau}_i|^2} - \frac{C_{ni}}{|\bar{\tau}_i|} |\bar{\tau}_i \times (\bar{V} - \dot{\bar{R}}_i) \left[(\bar{V} - \dot{\bar{R}}_i) \bar{\tau}_i \right]^2 - \bar{\tau}_i \left[(\bar{V} - \dot{\bar{R}}_i) \bar{\tau}_i \right] \frac{1}{|\bar{\tau}_i|^2} \right\} \frac{\partial \dot{\bar{R}}_i}{\partial x_{kj}} \right\} d\xi = 0, \quad (10)$$

де $j = \overline{0, N} | r(i), k = 1, 2, 3, \bar{\tau}_i = \frac{\partial \bar{R}_i}{\partial l}$.

До цих рівнянь треба додати початкові умови $\bar{R}_i(t=0) = \bar{R}_T, \dot{\bar{R}}_i(t=0) = \bar{V}_T$.

Розглянемо довільну розгалужену систему закорення. Виберемо на системі послідовність точок $P_i (i = 0, 1, \dots, N)$. Координати цих точок у нерухомій системі координат будуть $x_{ki} (k = 1, 2, 3)$. Нехай точка P_i співпадає з точкою кріплення буя компактної

форми так, що його можна вважати матеріальною точкою, на яку діють сили, а точки $P_i (i = N - r, \dots, N)$ – з r точками закорення, тобто в них задані кінематичні умови, а саме – просторові координати цих точок. Рух ділянок гнучких елементів (буй репів) між точками P_i та P_j опишемо за допомогою радіусів-векторів $\bar{R}_{ij}^k = R_{ij}^k \bar{e}_k$, де R_{ij}^k – функція, що виражає зв'язок довжин дуг осей ділянок буй репа і координат точок.

На систему діють як масові, так і поверхневі (гідродинамічні) сили. Інтенсивність останніх залежить від орієнтації гнучких елементів у потоці, параметрів потоку і параметрів конструкції [10]. Враховуємо закон збереження маси і односторонність роботи гнучкого елемента [3, 4]. Використовуємо узагальнення принципу віртуальної роботи на динамічні задачі [6]. За узагальнені координати приймаємо просторові координати точок дискретизації x_{ki} . В результаті одержуємо систему рівнянь, що описують рух закореного довільною розгалуженою системою буя в рідині

$$\int_0^N \sum_{ij} \left\{ (m_{ij} \ddot{\bar{R}}_{ij} \frac{\partial \dot{\bar{R}}_{ij}}{\partial \dot{x}_{kp}} - m_{aij} (\dot{\bar{V}} - \dot{\bar{R}}_{ij}) |\bar{\tau}_{ij}| \frac{\partial \dot{\bar{R}}_{ij}}{\partial x_{kp}} + C_{Eij} (|\bar{\tau}_{ij}| - 1) H(|\bar{\tau}_{ij}| - 1) |\bar{\tau}_{ij}| \left| \frac{\partial |\bar{\tau}_{ij}|}{\partial x_{kp}} + ((\rho F_{ij} |\bar{\tau}_{ij}| - m_{ij}) \bar{g} - \frac{C_{nij}}{|\bar{\tau}_{ij}|} |\bar{\tau}_{ij} \times (\bar{V} - \dot{\bar{R}}_{ij}) \left[(\bar{V} - \dot{\bar{R}}_{ij}) \bar{\tau}_{ij} \right] - \bar{\tau}_{ij} ((\bar{V} - \dot{\bar{R}}_{ij}) \bar{\tau}_{ij})) \frac{1}{|\bar{\tau}_{ij}|^2} - \frac{C_{tij}}{|\bar{\tau}_{ij}|} |\bar{\tau}_{ij} (\bar{V} - \dot{\bar{R}}_{ij}) \left[(\bar{V} - \dot{\bar{R}}_{ij}) \bar{\tau}_{ij} \right] \frac{1}{|\bar{\tau}_{ij}|^2} \right\} \frac{\partial \dot{\bar{R}}_{ij}}{\partial x_{kp}} d\xi + M_b \ddot{x}_{ko} + \bar{F}_b \frac{\partial \dot{\bar{R}}_b}{\partial x_{ko}} = 0, \quad (11)$$

$$\bar{\tau}_{ij} = \frac{\partial \bar{R}_{ij}}{\partial l}, \quad \xi_s = l/L_{ij}, \quad k = 1, 2, 3, \quad p = 1, 2, \dots, N - r.$$

Тут m_{ij} і m_{aij} – маса і приєднана маса, L_{ij} – довжина, F_{ij} – площа поперечного перерізу, C_{Eij} , $C_{\tau ij}$, C_{nij} – коефіцієнти пружності й опору дотичного і нормального ij -го відрізка троса, \vec{V} – вектор швидкості потоку, ρ – щільність рідини, \vec{g} – вектор вільного падіння, M_b – маса буй, \vec{F}_b – сили, що діють на буй.

Сили, що діють на буй від морського хвилювання, будемо брати аналогічно [3, 5]. Для буйа віхоподібної форми, тобто з постійною площею ватерлінії, приймаємо, що максимальний розмір буйа малий у порівнянні з відрізком, на якому швидкість потоку рідини значно змінюється. Впливом буйа на потік будемо нехтувати. Передбачаємо, що центр тиску і центр мас збігаються, тоді момент гідродинамічних сил відсутній. Якщо підйом вільної поверхні малий порівняно з довжиною хвилі, то і нахили її будуть малими, тоді можна вважати, що поверхня рідини коливається за законом [10], $\eta = A \cos(k\bar{x} - \omega t)$. Впливом морського хвилювання на елементи заякорення буйа на глибинах, більших половини довжини хвилі, будемо нехтувати.

Додаючи до отриманих рівнянь руху початкову конфігурацію системи заякорення $x_{ki}(l, t)|_{t=0} = x_{ki}^0$ і початкові швидкості її руху $\dot{x}_{ki}(l, t)|_{t=0} = v_{ki}^0$, однозначно опишемо динаміку заякореного буйа.

Для знаходження радіусів-векторів \bar{R}_{ij} використані параметричні локальні сплайни [2, 8].

Розрахункову систему рівнянь можна представити у вигляді

$$[\ddot{x}_{kp}][M] = \Phi(x_{kp}, \dot{x}_{kp}). \quad (12)$$

Для чисельного розв'язання систему диференціальних рівнянь руху (12) необхідно привести до нормального виду. Так як еле-

менти матриці M залежать від невідомих функцій, то процес нормалізації необхідно проводити на кожному кроці за часом. Але, так як матриця M є розрідженою, то при її розв'язанні методами виключення деякі елементи матриці, що до розв'язання дорівнювали нулю, перестають бути рівними нулю. Використовуючи перестановки стовпців і рядків матриці, можна скоротити кількість ненульових елементів, що знову з'являються при факторизації. Найкращі результати, з погляду мінімального числа ненульових елементів і, як наслідок, часу розв'язання перетвореної системи, виходять для перестановки, що була отримана при використанні алгоритму мінімального ступеня [7].

Так як на кожному кроці за часом необхідно розв'язувати лінійну систему рівнянь з матрицею M , то виникає питання стійкості розв'язку, що забезпечується вибором головного елемента матриці і залежить від міри її обумовленості. Для кожного рядка розглянутої матриці M величини діагональних елементів в два рази перевищують суму величин недиагональних, тобто матриця M є матрицею з діагональною перевагою. Оцінимо міру спектральної обумовленості матриці M . Для рівномірної розбивки можна знехтувати розбіжністю між коефіцієнтами. Структура ненульових елементів матриці M^0 співпадає із структурою матриці інцидентності графа, що відповідає схемі конструкції. Ненульові недиагональні елементи матриці M^0 дорівнюють одиниці. У загальному випадку, визначити міру обумовленості матриці неможливо, але для конкретної конструкції її можна визначити заздалегідь. Нормалізовану систему нелінійних диференціальних рівнянь розв'язуємо чисельно, використовуючи метод Гіра.

РЕЗУЛЬТАТИ ТА ПОЯСНЕННЯ

Використовуючи запропонований алгоритм, дослідимо коливання буйково-заякореної системи загородження в умовах розвинутого морського хвилювання. Зокрема, розглянемо заякорену по прямій лінії систе-

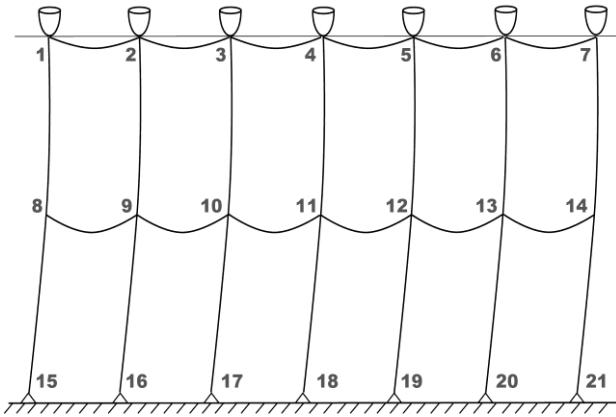


Рис. 1. Схема буйково-заякореної системи загородження

Fig. 1. Buoy-moored barrier system

му, що утримується буюми на хвилі. Дослідження коливань проведемо для конкретної конструкції, в якій кількість: точок заякорення – 7, буйків – 7, горизонтальних рядів – 3, вертикальних рядів – 7 (Рис.1).

Довжини всіх ділянок по 100м, погонна маса буйрепів 3 кг/м, площа їх поперечного перерізу $F_{ij} = 0,0003 \text{ м}^2$, коефіцієнт пружності $C_{Eij} = 10^7 \text{ Н}$. Коефіцієнти гідродинамічного опору руху в рідині прийняті такі: $C_{\tau ij} = 0,78 \text{ кг/м}^2$, $C_{n ij} = 15,6 \text{ кг/м}^2$ – дотична та нормальна складові; приєднана маса рідини, що залучається в сумісний рух $m_{aij} = 0,4 \text{ кг/м}$. Буй має циліндричну форму, маса бую 100кг, площа міделевого перерізу 1 м^2 .

Виберемо нерухому систему координат: нехай площина Ox_1x_2 збігається з незбуреною поверхнею води, а вісь Ox_3 направимо проти вектора вільного падіння.

У якості початкової обираємо рівноважну конфігурацію конструкції

$$\bar{x}_j|_{t=0} = \bar{x}_j^0, \quad \dot{\bar{x}}_j|_{t=0} = 0.$$

Дослідимо коливання буйково-заякореної системи загородження при різноманітних періодах морського хвилювання, де залежність між періодом хвиль та їхньою

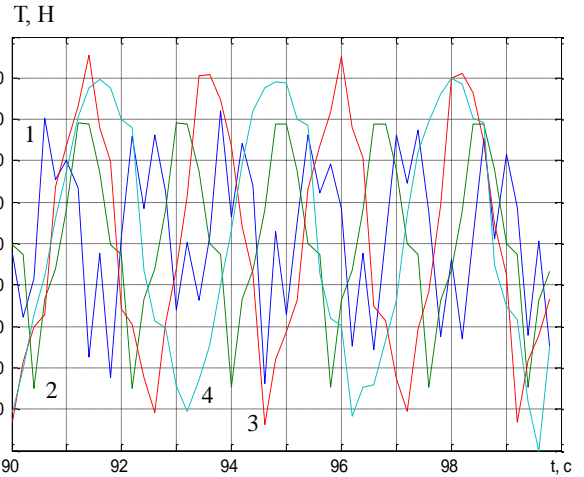


Рис. 2. Залежність натягу від часу в середньому вертикальному буйрепі при $\alpha = 90^\circ$, $T_w = 1,6c - 1$; $T_w = 1,8c - 2$; $T_w = 2,3c - 3$; $T_w = 3,2c - 4$

Fig. 2. The dependence of the tension on time in the average vertical buoy line at $\alpha = 90^\circ$, $T_w = 1,6c - 1$; $T_w = 1,8c - 2$; $T_w = 2,3c - 3$; $T_w = 3,2c - 4$

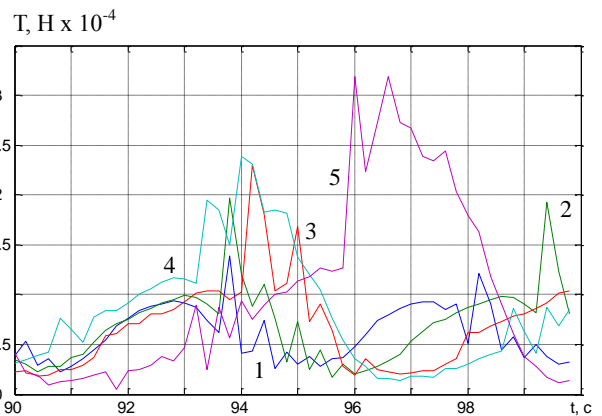


Рис. 3. Залежність натягу від часу в середньому вертикальному буйрепі при $\alpha = 90^\circ$, $T_w = 4,5c - 1$; $T_w = 5,6c - 2$; $T_w = 6,4c - 3$; $T_w = 8,0c - 4$; $T_w = 9,0c - 5$

Fig. 3. The dependence of the tension on time in the average vertical buoy line at $\alpha = 90^\circ$, $T_w = 4,5c - 1$; $T_w = 5,6c - 2$; $T_w = 6,4c - 3$; $T_w = 8,0c - 4$; $T_w = 9,0c - 5$

амплітудою виражається за законом [6]

$$A = 0,085 \exp\left(0,75 \ln\left(gT_w^2/2\pi\right)\right).$$

На Рис. 2, 3 представлені залежності натягу від часу при куті між фронтом розповсюдження хвилі та лінією заякорення

$\alpha = 90^\circ$ в середньому вертикальному буйрепі в точці кріплення буйка.

При малих періодах морського хвилювання амплітуди натягу суттєво не відрізняються. При великих періодах морського хвилювання (штормові хвилі) амплітуди натягу зі збільшенням періоду хвилі значно зростають.

На Рис. 4 представлена залежність максимальних величин натягу від періоду хвилі при куті між фронтом розповсюдження хвилі та лінією заякорення $\alpha = 30^\circ$ в

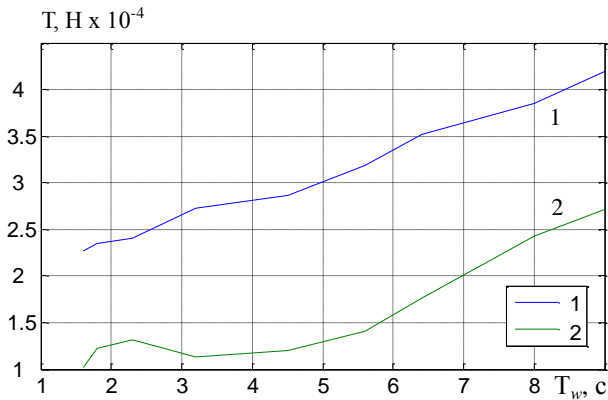


Рис.4. Залежність максимальних величин натягу від періоду хвилі при $\alpha = 30^\circ$ у крайньому – 1 і в середньому – 2 вертикальних буйрепах

Fig. 4. The dependence of the maximum values of tension on the wave period $\alpha = 30^\circ$ in the extreme – 1 and the average – 2 vertical buoy lines

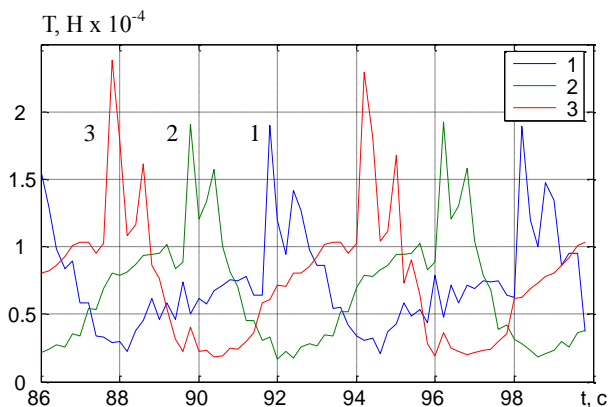


Рис. 5. Залежність натягу від часу в середньому вертикальному буйрепі при $T_w = 6,4c$, $\alpha = 0^\circ - 1$; $45^\circ - 2$; $90^\circ - 3$

Fig. 5. The dependence of the tension on time in the average vertical buoy line at $T_w = 6,4c$, $\alpha = 0^\circ - 1$; $45^\circ - 2$; $90^\circ - 3$

крайньому (крива 1) і в середньому (крива 2) вертикальних буйрепах в точках кріплення буйка.

Бачимо, що максимальні значення натягів в крайньому буйрепі практично лінійно зростають з ростом періоду хвиль. В той же час для середнього буйрепа при малих періодах хвиль максимальні значення натягу практично не зростають.

Для найбільш ймовірного морського хвилювання в умовах відкритих шельфових зон (період хвилі $T_w = 6,4c$, що відповідає 4...5 балам) на Рис. 5 представлено коливання буйково-заякореної системи загородження при різних кутах між фронтом розповсюдження хвилі та лінією заякорення в середньому вертикальному буйрепі в точці кріплення буйка.

Виявлено, що при зміні кута розповсюдження хвильового фронту до лінії заякоріння (при кутах менших 75°) максимальні натяги у вертикальному буйрепі біля середнього буйка суттєво не відрізняються за своїм характером та величинами і зростають при наближенні величини кута до 90° , а максимальні натяги в вертикальному буйрепі біля крайнього буйка суттєво не відрізняються при зміні кута, хоча і значно більші ніж біля середнього буйка (Рис. 6).

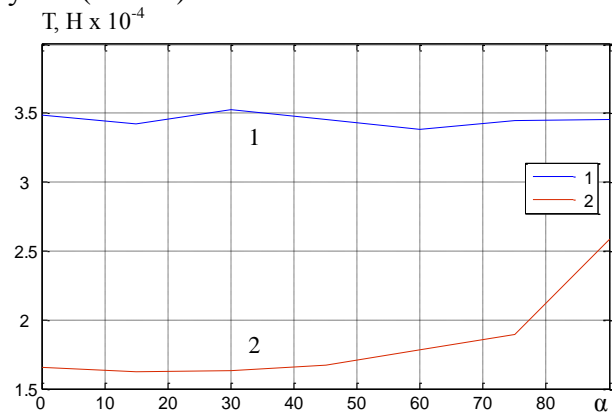


Рис. 6. Залежність максимальних величин натягу від кута при $T_w = 6,4c$ у вертикальних буйрепах (1 – біля крайнього буйка т.1; 2 – біля середнього буйка т.4)

Fig. 6. The dependence of the maximum values of tension on the angle at $T_w = 6,4c$ in the vertical buoy lines (1 – near the extreme buoy p.1; 2 –near the middle buoy p.4)

На Рис. 7 представлена залежність натягу від часу в крайньому буйрепі при $T_w = 6,4\text{с}$, $\alpha = 30^\circ$ по глибині (1 – в точці кріплення буйка, 2 – в середній точці, 3 – в точці зякорення). Бачимо, що натяг по глибині зменшується, але вібрації посилюються.

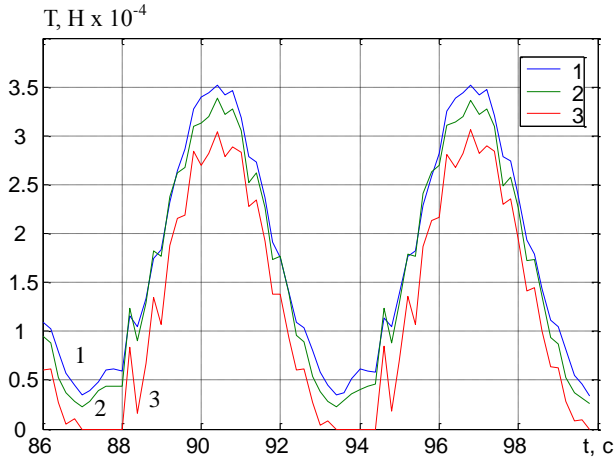


Рис. 7. Залежність натягу від часу в крайньому вертикальному буйрепі при $T_w = 6,4\text{с}$; $\alpha = 30^\circ$ (1 – біля буйка; 2 – в середній точці; 3 – в точці зякорення)

Fig. 7. The dependence of the tension on time at the extreme vertical buoy line $T_w = 6,4\text{с}$; $\alpha = 30^\circ$ (1 – near buoy; 2 – midpoint; 3 – at the point of anchoring)

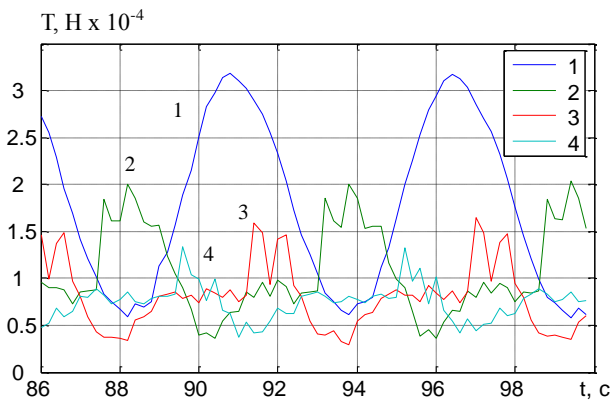


Рис. 8. Залежність натягу від часу при $\alpha = 30^\circ$, $T_w = 5,6\text{с}$, у вертикальних буйрепах (1 – біля крайнього буйка т.1, 2 – т.2; 3 – т.3; 4 – біля середнього буйка т.4)

Fig. 8. The dependence of the tension of time in the vertical buoy lines at $\alpha = 30^\circ$; $T_w = 5,6\text{с}$, (1 – near the extreme buoy p.1, 2 – p.2; 3 – p.3; 4 – near the middle buoy p.4)

На Рис. 8, 9 представлені залежності натягу від часу в вертикальних буйрепах у точках кріплення буйків при періодах хвиль $T_w = 5,6\text{с}$ (Рис. 8), $T_w = 6,4\text{с}$ (Рис. 9) і кути набігання хвилі $\alpha = 90^\circ$. Величини натягів у вертикальних буйрепах при крайніх буйках більше ніж в два рази перевищують значення величин натягів біля середніх буйків.

На Рис. 10 наведено максимальні натяги у вертикальних буйрепах біля буйків 1-7 (буйки з першого по сьомий) при $\alpha = 30^\circ$, $T_w = 3,2\text{с}$ (крива 2), $T_w = 6,4\text{с}$ (крива 1).

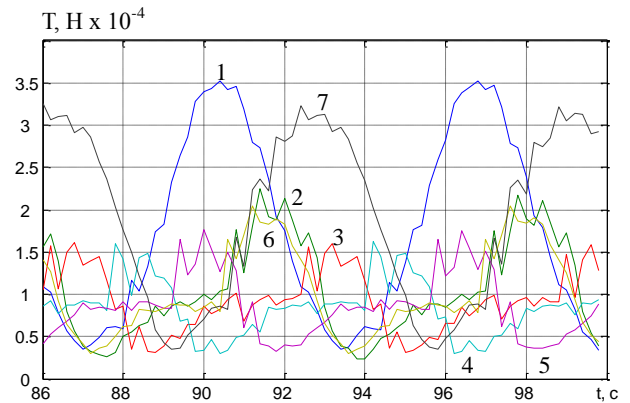


Рис. 9. Залежність натягу від часу в вертикальних буйрепах біля буйків 1-7 при $T_w = 6,4\text{с}$; $\alpha = 30^\circ$

Fig. 9. The dependence of the tension of time in the vertical buoy lines near the buoys 1-7 at $T_w = 6,4\text{с}$; $\alpha = 30^\circ$

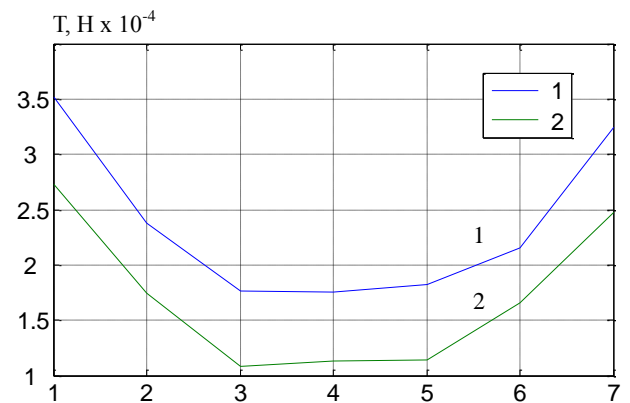


Рис. 10. Максимальні натяги у вертикальних буйрепах біля буйків 1-7 при $\alpha = 30^\circ$; $T_w = 6,4\text{с}$ – 1; $T_w = 3,2\text{с}$ – 2

Fig. 10. The maximum tension in the vertical buoy lines near the buoys 1-7 at $\alpha = 30^\circ$; $T_w = 6,4\text{с}$ – 1; $T_w = 3,2\text{с}$ – 2

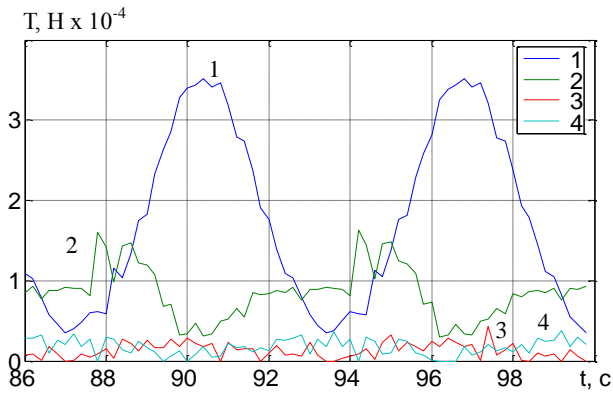


Рис. 11. Залежність натягу від часу при $\alpha=30^\circ$, $T_w = 6,4\text{с}$, біля буйків у вертикальних буйрепах: крайній – 1; середній – 2; у горизонтальних: крайній – 3; середній – 4.

Fig. 11. The dependence of the tension of time at $T_w=6,4\text{с}$, $\alpha=30^\circ$ near the buoys in vertical buoy lines: extreme – 1; medium – 2; in horizontal: extreme – 3; medium – 4

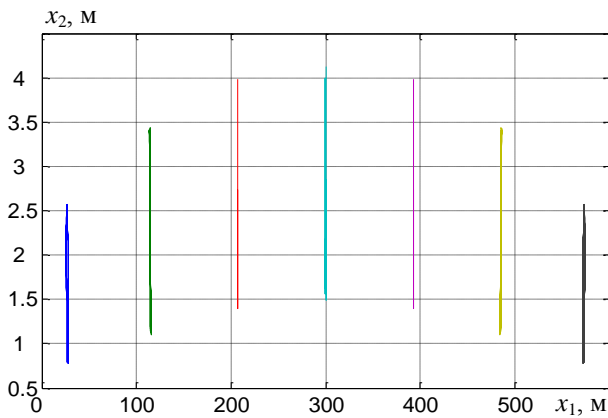


Рис. 12. Переміщення буйків в площині x_1Ox_2 при $T_w = 6,4\text{с}$; $\alpha = 90^\circ$

Fig. 12. The buoys move in a plane x_1Ox_2 at $T_w = 6,4\text{с}$; $\alpha = 90^\circ$

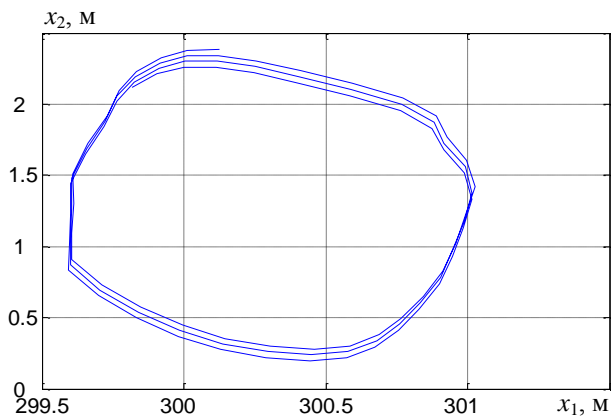


Рис. 13. Траєкторія руху середнього буйка в площині x_1Ox_2 при $T_w = 6,4\text{с}$; $\alpha = 60^\circ$

Fig. 13. The buoys move in a plane x_1Ox_2 at $T_w = 6,4\text{с}$; $\alpha = 60^\circ$

Бачимо, що зі збільшенням періоду морського хвилювання величини максимальних натягів у вертикальних буйрепах теж збільшуються.

На Рис. 11 наведено залежність натягу від часу при $T_w = 6,4\text{с}$, $\alpha = 30^\circ$ в точках кріплення буйків вертикальних буйрепів: крайнього (крива 1), середнього (крива 2); горизонтальних буйрепів: крайнього (крива 3), середнього (крива 4).

Поведінку буйково-заякореної системи загородження у просторі представлено на Рис. 12, 13.

Під дією хвиль, власної ваги, пружних характеристик система приймає стаціонарне положення, відносно якого коливається. З Рис. 12 видно, що при куті між фронтом розповсюдження хвилі та лінією заякорення $\alpha = 90^\circ$ крайні буйки значно стягуються до центру буйково-заякореної системи (більш ніж на 30 метрів), в той час як у напрямі ходу хвиль буйки зміщуються лише на декілька метрів.

Просторовий рух середнього буйка (т. 4 на Рис. 1) при періоді хвиль $T_w = 6,4\text{с}$ і куті між фронтом розповсюдження хвилі та лінією заякорення $\alpha = 30^\circ$ (Рис. 13) показує, що буйок рухається відносно динамічного стаціонарного положення по траєкторії, близькій до колової.

ВИСНОВКИ

Запропоновано методику дослідження коливань буйково-заякореної системи загородження дозволяє визначити динамічні і кінематичні характеристики поведінки таких систем під дією морського хвилювання.

В результаті проведених досліджень можна зробити такі висновки:

1) максимальні значення натягів в крайньому вертикальному буйрепі практично лінійно зростають з ростом періоду хвиль; в той же час у середньому вертикальному буйрепі при малих періодах хвиль максимальні значення натягу практично не зростають;

2) при зміні кута розповсюдження хвильового фронту до лінії заякоріння (при кутах менших 75°) максимальні натяги в вертикальному буйрепі біля середнього буйка суттєво не відрізняються за своїм характером та величинами і зростають при наближенні величини кута до 90° , а максимальні натяги в вертикальному буйрепі біля крайнього буйка суттєво не відрізняються при зміні кута, хоча і значно більші ніж біля середнього буйка;

3) величини натягів у вертикальних буйрепах при крайніх буйках більше ніж в два рази перевищують значення величин натягів біля середніх буйків;

4) величини натягів у горизонтальних буйрепах на порядок менші за натяги у вертикальних, причому «розслаблення» в горизонтальних буйрепах виникають практично при всіх періодах морського хвилювання. Такі «розслаблення» впливають на характер натягів у вертикальних буйрепах, викликаючи в них вібрації;

5) крайні буйки значно стягуються до центру системи (більше ніж на 30 метрів), в той час як в напрямі ходу хвиль буйки зміщуються лише на декілька метрів.

ЛІТЕРАТУРА

1. **Баженов В.А., Гоцуляк Е.А., Кондаков Г.С., Оглобля А.И., 1989.** Устойчивость и колебания деформируемых систем с односторонними связями. Київ, Вища школа, 399.
2. **Безверхий О.И., 1993.** Про один спосіб розрахунку динаміки просторових гнучких стержневих систем. Доп. НАН України, Вип. 2, 46-49.
3. **Bezverkhii O., Kornienko V., Shul'ga M., 2001.** Forced Spatial Vibrations of Anchor Cable Systems. Int. Appl.Mech., Vol. 37, Nr 9, 1222-1229.
4. **Bezverkhii O.I., 1999.** Calculation of the Dynamic Behavior of Branched Cable Systems. Int. Appl.Mech., Vol. 35, Nr 9, 968-973.
5. **Безверхий О., 2015.** Динаміка підводних розгалужених тросових систем. Київ, Підводні технології, Вип. 01, 50-58.

6. **Васидзу К., 1987.** Вариационные методы в теории упругости и пластичности. Москва, Мир, 546.
7. **Джорж А., Лю Дж., 1984.** Численное решение больших разреженных систем уравнений. Москва, Мир, 333.
8. **Завьялов Ю.С., Квасов Б.И., Мирошниченко В.Л., 1980.** Методы сплайн-функций. Москва, Наука, 340.
9. **Кульмач П.П., 1980.** Якорные системы удержания плавучих объектов. Ленинград, Судостроение, 336.
10. **Ньюмен Дж., 1985.** Морская гидродинамика. Ленинград, Судостроение, 368.

REFERENCES

1. **Bazhenov V.A., Gotsulyak E.A., Kondakov G.S., Ogloblya A.I., 1989.** Ustoychivost i kolebaniya deformiruemyyih sistem s odnostoronnimi svyazyami. Kyiv, Vyischa shkola, 399 (in Russian).
2. **Bezverkhii O.I., 1993.** Pro odyin sposib rozrakhunku dynamiky prostorovykh hnuchkykh sterzhnevyykh system. Dop. NAN Ukrainy, Nr 2, 46-49 (in Ukrainian).
3. **Bezverkhii O., Kornienko V., Shul'ga M., 2001.** Forced Spatial Vibrations of Anchor Cable Systems. Int. Appl.Mech., Vol. 37, Nr 9, 1222-1229.
4. **Bezverkhii O.I., 1999.** Calculation of the Dynamic Behavior of Branched Cable Systems. Int. Appl.Mech., Vol. 35, Nr 9, 968-973.
5. **Bezverkhii O., 2015.** Dynamika pidvodnykh rozghaluzhenykh trosovykh system. Kyiv, Pidvodni tekhnolohii, Vol.01, 50-58 (in Ukrainian).
6. **Vasidzu K., 1987.** Variatsionnyie metodyi v teorii uprugosti i plastichnosti. Moskva, Mir, 542 (in Russian).
7. **Dzhorzh A., Lju Dzh., 1984.** Chislennoe reshenie bol'shih razrezhenykh sistem uravnenij. Moskva, Mir, 333 (in Russian).
8. **Zavyalov Yu.S., Kvasov B.I., Miroshnichenko V.L., 1980.** Metodyi splayn-funktsiy. Moskva, Nauka, 352 (in Russian).
9. **Kul'mach P.P., 1980.** Jakornye sistemy uderzhanija plavuchih ob'ektov. Leningrad, Sudostroenie, 336 (in Russian).
10. **Newmen J., 1985.** Morskaya gidrodinamika. Leningrad, Sudostroenie, 368 (in Russian).

Oscillations buoy-moored barrier systems on the waves

Oleksandr Bezverkhyi¹, Viktoriia Korniienko²

S.P. Timoshenko Institute of Mechanics National
Academy of Sciences of Ukraine
Street P. Nesterov, 3, Kyiv, Ukraine, 03057
¹o_bezver@ukr.net
orcid.org/0000-0002-0834-6335,
²vf_kornienko@ukr.net
orcid.org/0000-0003-4763-8784

Summary. In this paper we propose a methodology and algorithms to study the oscillations buoy-moored barrier systems, which allows to determine the dynamic and kinematic characteristics of the behavior of such systems under the action of sea waves.

Under the influence of unevenly distributed loads (currents, waves) buoy-moored barrier systems, which are used as a flexible biotech facilities for the cultivation of marine organisms and algae, restriction of oil spills, booms and the like, take a different configuration, and long-term effect of the variables of effort adversely affects their durability and reliability. In connection with this study the vibration of such structures is essential for designing and predicting the regularities of their behavior under the influence of various external disturbances.

Based on the classic approaches of oscillations of systems a system of equations of motion of such structures. Held detail the forces acting on the structural members. With the use of flexible elements approximations using splines is a nonlinear differential equation of second order differential equations are reduced to nonlinear Cauchy problems on the time coordinate, which are solved numerically.

In the specific example buoy-moored system, the numerical analysis of influence of parameters of sea waves (period, angle of crowding of the wave front) to the tightness at various points in the design and configuration of the system in space under the action of waves.

Key words: oscillations, buoy line, sea waves, tension, tug.

Рівняння існування самохідної прив'язної підводної системи як оцінка можливості її створення

Володимир Блінцов¹, Олександр Клочков²

Національний університет кораблебудування імені адмірала Макарова,
просп. Героїв Сталінграду, 9, Миколаїв, Україна, 54025
oleksandr.klochkov@nuos.edu.ua

¹orcid.org/0000-0002-3912-2174, ²orcid.org/0000-0002-6426-3374

Анотація. Наведено системний підхід, що передбачає оцінку можливості створення на етапі раннього проектування технічних пристроїв, базуючись на рівняннях існування чотирьох ключових складових – людина, матерія, енергетика, інформація. Особлива увага приділяється рівнянню існування самохідної прив'язної підводної системи за енергетичною складовою, що значною мірою визначає її експлуатаційні характеристики.

Ключові слова: самохідна прив'язна підводна система, кабель-трос, судно-носії, пост енергетики та керування, самохідний прив'язний підводний апарат.

ВСТУП

Для можливості визначення існування шляхів реалізації проекту створення самохідної прив'язної підводної системи (СППС) згідно завдання замовника на ранніх стадіях необхідно мати жорсткі залежності між чисельними значеннями параметрів, що надаються у завданні та характеристиками, якими буде наділена система при досягненні цих параметрів. Конструктор-проектант при користуванні цими залежностями може дати чітку відповідь замовнику про доцільність побудови СППС згідно параметрів завдання, що було отримано. Стосовно таких систем розглянуті рівняння існування

мас та об'ємів, але відсутнє комплексне рішення, що враховувало б всі складові системного підходу – енергетику, інформацію, матерію та людину [3, 4, 10, 11, 21].

МЕТА ТА МЕТОДИ

Отримання рівнянь існування для СППС у взаємному зв'язку експлуатаційних параметрів та конструктивних характеристик.

Синтез рівнянь пропонується виконувати спочатку в рамках кожної складової, а потім ускладнювати їх, додаючи рівняння, які показують взаємний вплив складових одна на одну [13, 18, 20, 22].

РЕЗУЛЬТАТИ

Згідно системного підходу рівняння мають складатися з 4-х рівнянь чи систем:

- рівняння існування мас та об'ємів СППС;
- рівняння енергетичного балансу СППС;
- рівняння балансу інформаційних потоків СППС (електромагнітна сумісність, стійкість до зовнішніх полів та випромінювання, завадостійкість, криптографічний захист інформаційних потоків);
- рівняння СППС за людським фактором (ергономіка, технічне обслуговування, зберігання, екологія - вплив на середовище,

транспортування, низькі власні фізичні поля).

При проведенні підводно-технічних робіт (ПТР) в залежності від підводної технології, що використовується підводним апаратом (ПА), останній може працювати у різних режимах, що характеризуватимуться певним значенням споживаної електричної потужності [2, 5, 6, 14, 19]. Позначимо множину режимів R наступним виразом:

$$R = \{R_1, R_2, \dots, R_i, \dots, R_m\}, \quad (1)$$

де R_1 – перший режим роботи;

R_i – проміжний режим роботи;

R_m – кінцевий у множині режим роботи.

Множині режимів буде відповідати множина потужностей P_R , що споживаються у цих режимах:

$$P_R = \{P_{R1}, P_{R2}, \dots, P_{Ri}, \dots, P_{Rm}\}, \quad (2)$$

де P_{R1} – потужність, що споживається у першому режимі роботи;

P_{Ri} – потужність, що споживається у проміжному режимі роботи;

P_{Rm} – потужність, що споживається у кінцевому у множині режимі роботи.

Згідно з режимами робіт ПА, що будуть розглядатися, визначиться найбільша проектна потужність $P_{ПА_ПР}$ з множини:

$$P_{ПА_ПР} = \sup\{P_{R1}, P_{R2}, \dots, P_{Ri}, \dots, P_{Rm}\} \quad (3)$$

Якщо задана потужність $P_{ПА_ЗАМ}$ буде меншою від проектної, тоді будівництво ПА за даним критерієм буде можливим:

$$P_{ПА_ЗАМ} \leq \sup\{P_{ПА_ПР}\} \quad (4)$$

У свою чергу, замовник може надавати для СППС обмежену потужність, що виділяється на судні-носії (СН) чи при якомусь іншому варіанті живлення. Виходячи з цього, у глобальному розумінні умовою створення системи є більше значення проектної потужності у порівнянні з потужністю СППС, що задана замовником:

$$P_{СППС_ЗАМ} \leq P_{СППС_ПР} \quad (5)$$

Наведена потужність матиме складові, що містять потужність посту енергетики та керування (ПЕК) $P_{ПЕК}$, потужність спуско-піднімального пристрою (СПП) $P_{СПП}$, потужність кабельної лебідки (КЛ) $P_{КЛ}$, проектну потужність ПА $P_{ПА_ПР}$ та величину втрати потужності ΔP :

$$P_{СППС_ЗАМ} = P_{ПЕК} + P_{СПП} + P_{КЛ} + P_{ПА_ПР} + \Delta P \quad (6)$$

Потужність ПА складається з потужності елементів, що отримують живлення на протязі всього часу проведення ПТР, а саме P_{CONST} , потужності змінних технологічних пристроїв $P_{ЗТП}$ [17] та потужності рушійно-рульового комплексу (РРК) $P_{РРК}$.

$$P_{ПА_ПР} = P_{const} + P_{ЗТП} + P_{РРК} \quad (7)$$

Цікавість являє собою потужність РРК, так як вона є варіативною величиною. Прийmemo, що в конструкції ПА присутні три рушія – два маршові та один вертикальний. Тоді потужність РРК запишеться як:

$$P_{РРК} = \sup \left\{ \sum_{i=1}^3 \sum_{j=1}^N P_{ij} \right\} \quad (8)$$

де i – лічильник рушіїв ПА;

j – лічильник режимів роботи РРК ПА;

N – загальна кількість можливих режимів роботи РРК ПА.

Якщо розкласти потужність РРК по складових, то отримаємо потужність маршового P_{xj} , вертикального P_{yj} та лагового P_{zj} рухів у разі додавання лагового рушія.

Це матиме вигляд:

$$P_{ij} = \left| \begin{matrix} P_{xj} \\ P_{yj} \\ P_{zj} \end{matrix} \right|_i \quad (9)$$

Потужність маршового руху буде функцією від сили лобового опору ПА $F_{ПА}$ та сили гідродинамічного опору кабель-тросу (КТ) $F_{КТx}$ по вісі x , а потужність вертикального руху – від сили гідродинамічного опору КТ $F_{КТy}$ по вісі y .

$$\begin{aligned} P_{xj} &= f(F_{ПА}; F_{КТx}) \\ P_{yj} &= f(F_{КТy}) \end{aligned} \quad (10)$$

Обидва гідродинамічні опори є функцією діаметру КТ, який розраховується наступним чином [1, 8, 9, 12, 16]:

$$d_{КТ} = 2 \cdot \left[k_{PW} \cdot \left(\sqrt{\frac{P_{ПА_ПР}}{\pi \cdot j_w \cdot n \cdot U_{ж}}} + \delta_w \right) + \delta_{ТС} \right] \quad (11)$$

де $U_{ж}$ – напруга мережі живлення ПА;
 j_w – обрана густина струму у провіднику;
 n – кількість жил;
 $k_{PW}(n)$ – коефіцієнт укладення силових жил у сердечнику КТ;
 δ_w – товщина електричної ізоляції силової жили КТ;
 $\delta_{ТС}$ – товщина зовнішньої оболонки КТ.

Упор j -го гвинта, що виступає у якості рушія, визначається за наступною формулою:

$$T_j = \frac{\rho \cdot K_{Tj} \cdot \omega_j^2 \cdot D_j^4}{4 \cdot \pi^2}, \quad (12)$$

де ρ – густина морської води;
 K_{Tj} – безрозмірний коефіцієнт, що характеризує упор j -го гвинта;
 ω_j – кутова швидкість обертання j -го гвинта ПА;
 D – діаметр j -го гвинта.

Момент, який створює j -й гвинт на валу електродвигуна знаходиться наступним чином:

$$M_j = \frac{\rho \cdot K_{Mj} \cdot \omega_j^2 \cdot D_j^5}{4 \cdot \pi^2}, \quad (13)$$

де K_{Mj} – безрозмірний коефіцієнт, що характеризує момент j -го гвинта.

Потужність на валу j -го виконавчого двигуна, що приводить у рух гвинт, має вираз:

$$P_j = \frac{M_j \cdot \omega_j}{\eta_j}, \quad (14)$$

де η_j – коефіцієнт корисної дії j -го виконавчого двигуна.

Напруга живлення СППС може бути змінною та постійною і організована за різними схемотехнічними рішеннями [7, 15].

Рекомендовані значення напруги для живлення ПА зведені у Табл. 1.

Таблиця 1. Рекомендовані значення напруги для живлення підводного апарата

Table 1. Recommended voltage for powering underwater vehicle

–	Змінна		Постійна
Вид мережі	Одна фаза	Три фази	–
Напруга, В	240	400, 480, 690, 1000	110, 220, 400

Алгоритм визначення діаметру КТ наведено на Рис. 1.

Згідно алгоритму вхідними даними для розрахунку є глибина занурення ПА H , швидкість течії v_T , заданий проєктантом орієнтовний діаметр КТ $d_{КТЗ}$, координати корінного $(x, y)_{КК}$ та ходового $(x, y)_{ХК}$ кінців. На базі вхідних даних підпрограмами послідовно визначаються сили на корінному та ходовому кінцях КТ, потужності рушіїв та вираховується сумарна потужність РРК.

Вводячи додаткові дані, розраховується діаметр КТ. У випадку, якщо він буде більше заданого відбувається ітерація спочатку зі змінною значення напруги чи густини струму. Значення діаметру, яке менше чи дорівнює заданому закінчує виконання розрахунку.

Також, окрім діаметру КТ, важлива його довжина, так як вона визначає крайні точки робочої зони, яких апарат може досягти на певній глибині занурення. Довжина КТ орі-

ентовно для заданої глибини занурення знаходиться за виразом:

$$L_{КТ} = (2 \dots 2,5) \cdot H, \quad (15)$$

де H – задана глибина занурення.

Крім того, на визначеній глибині занурення ПА, між корінним та ходовим кінцем КТ існує одна і тільки одна довжина, коли його гідродинамічний опір мінімальний.

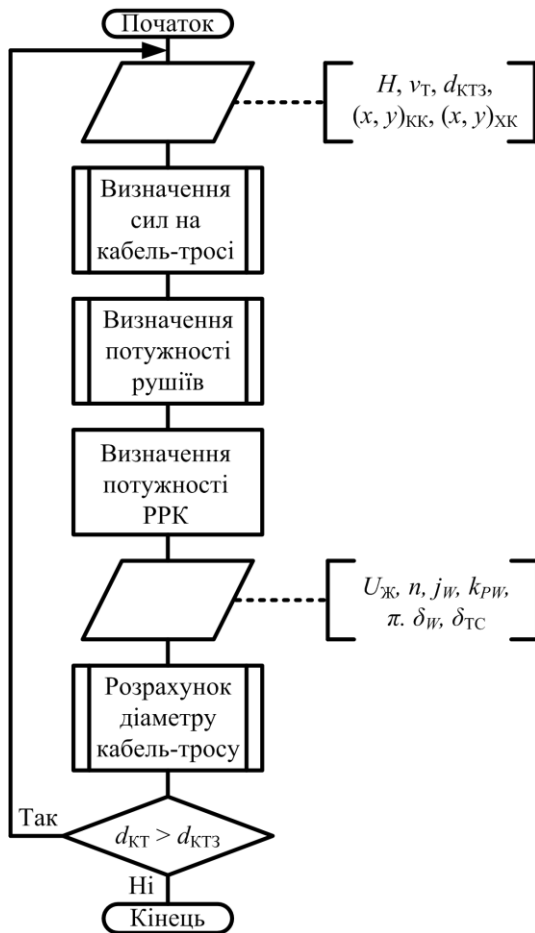


Рис. 1. Алгоритм визначення діаметру кабель-троса

Fig. 1. Algorithm for calculation the diameter of the cable-tether

Підсумовуючи вище наведене, потрібно звернути увагу, що синтез рівнянь по кожній складовій системного підходу не надасть вичерпну відповідь про можливість створення як безпосередньо апарата, так і інших об'єктів самохідної прив'язної підводної системи. Це, у першу чергу, пояснюється взаємним зв'язком рівнянь існу-

вання і визначити до кінця вплив однієї складової на іншу не завжди вдасться. По-друге, не всі рівняння можливо представити для чисельного вирахування, тому що, наприклад, ергономічна частина не піддається конкретному чисельному опису, а визначається суб'єктивним відчуттям кожної людини. У свою чергу, інформаційна складова може передаватися по енергетичному каналу КТ, що дозволяє зменшити його діаметр, а вимоги до матеріалу, з якого виконуються елементи СППС визначають їх масу та об'єм.

ВИСНОВКИ

Для проектування СППС на ранніх етапах сформульовано наступні теоретичні положення.

1. Доцільність побудови СППС, як будь-якої технічної системи, можливо базувати на системному підході, що передбачає синтез рівнянь існування за енергетичною, інформаційною, матеріальною та людською складовими.

2. Рівняння існування СППС за енергетичною складовою є першочерговим критерієм, що визначає експлуатаційні характеристики системи – площу робочої зони, глибину занурення, та тісно впливає на вигляд рівнянь існування відносно інших складових.

ЛІТЕРАТУРА

1. Блинцов В.С., 1998. Привязные подводные системы. Киев, Наук. думка, 230.
2. Блинцов В.С., Магула В.Э., 1997. Проектирование самоходных привязных подводных систем. Киев, Наукова думка, 140.
3. Вашедченко А.Н., 1991. Определение главных элементов подводного аппарата: учебное пособие. Николаев, НКИ, 65.
4. Вашедченко А.Н., Иванишин Б.П., Цыбенко Б.А., 1979. Уравнения существования подводных роботов. Сб. научных трудов, Николаев, НКИ, 17-24.
5. Виноградов Н.И., Гутман М.Л., Лев И.Г., Нисневич М.З., 2000. Привязные подводные системы. Прикладные задачи статики и

- динамики: учебник, Санкт-Петербург, ГТУ, 324.
6. **Грейнер Л., 1978.** Гидродинамика и энергетика подводных аппаратов. Пер. с англ. Ленинград, Судостроение, 384.
 7. **ГОСТ 29322-92.** Стандартные напряжения, 8.
 8. **Дмитриев А.Н., 1978.** Проектирование подводных аппаратов: учебник. Ленинград, Судостроение, 235.
 9. **Иконников И.Б., 1986.** Самоходные необитаемые подводные аппараты. Ленинград, Судостроение, 264.
 10. **Илларионов Г.Ю., 1990.** Необитаемые подводные аппараты и их системы. Учебник, Владивосток, Изд-во Дальневост. ун-та, 56.
 11. **Казарезов А.Я., Галь А.Ф., Пишнев С.М., 2005.** Проектування пристроїв і систем підводних апаратів: навч. посіб., Миколаїв, НУК, Ч. I., 164.
 12. **Костенко Д.В., 2003.** Вплив конструктивних параметрів прив'язних підводних систем на їхні експлуатаційні характеристики. Дисертація на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук за спеціальністю 05.08.03 механіка та конструювання суден. Український державний морський технічний університет, Миколаїв.
 13. **Ракитин, И.Я., 2002.** Подводные робототехнические системы для исследований океана. Москва, НИП Море, 191.
 14. **Слижевский Н.Б., Король Ю.М., Соколик М.Г., 2000.** Гидродинамический расчёт самоходных подводных аппаратов: учеб. пособие, Николаев, УГМТУ, 93.
 15. **Филоженко А.Ю., 2010.** Система электрооборудования привязных необитаемых подводных объектов: автореф. дис. к.т.н. 19.11.2010. Владивосток, ДВГТУ, 20.
 16. **Хаукс Г., 1979.** Подводная техника. Пер. с англ. Ленинград, Судостроение, 288.
 17. **Шостак В.П., 2011.** Подводные аппараты-роботы и их манипуляторы. Чикаго, Мегатрон, 134.
 18. **Юревич Е.И., 2001.** Проектирование технических систем. Санкт-Петербург, ГТУ, 81.
 19. **Ястребов В.С., Горлов А.А., Симинский В.В., 1986.** Электроэнергетические установки подводных аппаратов. Ленинград, Судостроение, 208.
 20. **Ястребов В.С., Соболев Г.П., Смирнов А.В., 1981.** Системы и элементы глубоководной техники подводных исследований: справочник. Ленинград, Судостроение, 304.
 21. **Безверхий О., Корнієнко В., 2015.** Дослідження впливу нелінійно-пружних характеристик матеріалу на динаміку підводних тросових систем. Підводні технології, Вип.02, 59-65.
 22. **Безверхий О., 2015.** Динаміка підводних розгалужених тросових систем. Підводні технології, Вип.01, 50-58.

REFERENCES

1. **Blintsov V.S., 1998.** Privjaznye podvodnye sistemy. Kyiv, Naukova dumka Publ., 230 (in Russian).
2. **Blintsov V.S., Magula V.E., 1997.** Proektirovanie samohodnyh privjaznyh podvodnyh sistem. Kiev, Naukova dumka Publ., 140 (in Russian).
3. **Vashedchenko A.N., 1991.** Opredelenie glavnyh elementov podvodnogo apparata. Uchebnoe posobie. Nikolaev, NKI, 65 (in Russian).
4. **Vashedchenko A.N., Ivanishin B.P., Cybenko B.A., 1979.** Uravnenija sushhestvo-vanija podvodnyh robotov. Sb. nauchnyh trudov, Nikolaev, NKI, 17-24 (in Russian).
5. **Vinogradov N.I., Gutman M.L., Lev I.G., Nisnevich M.Z., 2000.** Privjaznye podvodnye sistemy. Prikladnye zadachi statiki i dinamiki. Uchebnik. Sankt-Peterburg, GTU, 324 (in Russian).
6. **Grejner L., 1978.** Hidrodinamika i energetika podvodnyh apparatov. Per. s angl. Leningrad, Sudostroenie, 384 (in Russian).
7. **GOST 29322-92.** Standartnye naprjazhenija, 8. (in Russian).
8. **Dmitriev A.N., 1978.** Proektirovanie podvodnyh apparatov. Uchebnik, Leningrad. Sudostroenie, 235. (in Russian)
9. **Ikonnikov I.B., 1986.** Samohodnye neobitaemye podvodnye apparaty. Leningrad, Sudostroenie, 264 (in Russian).
10. **Illarionov G.JU., 1990.** Neobitaemye podvodnye apparaty i ih sistemy. Uchebnik, Vladivostok, Izd-vo Dalnevost. Univ., 56 (in Russian).
11. **Kazarezov A.JA., Gal' A.F., Pyshnev S.M., 2005.** Proektuvannja prystroi'v i system pidvodnyh aparativ. Navchal'nyj posibnyk, Mykolaiv, NUK, Ch. I., 164 (in Ukrainian).
12. **Kostenko D.V., 2003.** Vplyv konstruktyvnyh parametriv pryv'jaznyh pidvodnyh system na i'hni ekspluatacijni harakterystyky. Dysertacija na zdobuttja naukovogo stupenja kandydata tehnicnyh nauk za special'nistju 05.08.03 mehanika ta konstruuvannja suden. Ukrai'ns'kyj derzhavnyj mors'kyj tehnicnyj universytet, Mykolaiv (in Ukrainian).

13. **Rakitin, I.JA., 2002.** Podvodnye robototekhnicheskie sistemy dlja issledovanij okeana. Moskva, NIP More, 191 (in Russian).
14. **Slizhevskij N.B., Korol Ju.M., Sokolik M.G., 2000.** Gidrodinamicheskij raschjot samohodnyh podvodnyh apparatov. Uchebnoe posobie, Nikolaev, UGMTU, 93 (in Russian).
15. **Filozhenko A.JU., 2010.** Sistema elektrosnabzhenija privjaznyh neobitaemyh podvodnyh objektov: avtoref. dis. k.t.n. 19.11.2010. Vladivostok, DVG TU, 20 (in Russian).
16. **Hauks G., 1979.** Podvodnaja tehnika. Per. s angl. Leningrad, Sudostroenie, 288 (in Russian).
17. **Shostak V.P., 2011.** Podvodnye apparaty-roboty i ih manipuljatory. Chicago, Megatron Publ., 134 (in Russian).
18. **Jurevich E.I., 2001.** Proektirovanie tehniceskij system. Sankt-Peterburg, GTU, 81. (in Russian).
19. **Jastrebov V.S., Gorlov A.A., Siminskij V.V., 1986.** Jelektroenergeticheskie ustanovki podvodnyh apparatov. Leningrad, Sudostroenie, 208 (in Russian).
20. **Jastrebov V.S., Sobolev G.P., Smirnov A.V., 1981.** Sistemy i elementy glubokovodnoj tehniki podvodnyh issledovanij. Spravochnik, Leningrad, Sudostroenie, 304 (in Russian).
21. **Bezverkhyi O., Korniienko V., 2015.** Investigation of the influence of nonlinear elastic characteristics of the material on the dynamics of submarine cable systems. Pidvodni tehnologii', Vyp.02, 59-65 (in Ukrainian).
22. **Bezverhyj O., 2015.** Dynamika pidvodnyh rozgaluzhenykh trosovykh system. Pidvodni tehnologii', Vyp.01, 50-58 (in Ukrainian).

Equations of existence selfpropelled underwater system as assessment of the possibility of its creation

Volodymyr Blintsov¹, Oleksandr Klochkov²

Admiral Makarov

National University of Shipbuilding,
Geroiv Stalingradu prosp., 9, Mykolaiv, Ukraine,
54025, oleksandr.klochkov@nuos.edu.ua

¹orcid.org 0000-0002-3912-2174,

²orcid.org 0000-0002-6426-3374

Summary. An systemic approach of creating an assessment opportunities during the early design of technical devices based on the equations of existence four key components - people, material, energy, information is presented. Particular attention is allocated to the equation of existence self-propelled tethered underwater systems for the energy component, which largely determines its performance.

Key words: self-propelled tethered underwater system, cable-tether, support vessel, control cabin, self-propelled remote operated vehicle.

Architectural and structural type of self-propelled tethered underwater vehicles with improved maneuverability

Oleksandr Blintsov

Lviv Polytechnic National University
1 Knyaz Roman str., 19th academic building, Ukraine, Lviv, 79000
energybox@mail.ru, orcid.org/0000-0003-0426-1219

Summary. The modern underwater complexes with umbilical tethers development trends overview and their underwater vehicles as technological equipment carriers peculiarities are given. The main disturbances that influence an underwater vehicle motion within underwater complex with umbilical tethers and the quality of work that it performs are described.

The constructive elements layout basic concept of an underwater vehicle as a part of an underwater complex with umbilical tethers is analyzed. The propulsive complexes typical configurations are overviewed.

The underwater vehicle progressive and rotary spatial motions separation concept is proposed. The concept makes it possible to design underwater vehicles with minimal disturbances influence while moving or positioning at six degrees of freedom and thus provide control quality enhancement of technological equipment installed on an underwater vehicle.

The theoretical basis of a new architectural-and-structural type of a self-propelled tethered underwater vehicle consisting of rotary and progressive motion platforms is developed.

The possible self-propelled tethered underwater vehicle design of the new architectural-and-structural type consisting of three propulsive devices and three rotary drives for processing equipment six freedom degrees motion is proposed

Key words: underwater vehicle, architectural-and-structural type.

INTRODUCTION

The trends in the development of underwater complexes with umbilical tethers and, in particular, of tethered underwater remotely operated vehicles (ROVs) progress towards designing them as all-purpose technical devices for implementing a wide range of underwater technologies [3, 4, 13, 23]. Thus, due to the use of the principle of modular design and the centralized digital information exchange system, the ROV turns from a specialized device into an all-purpose carrier of specialized equipment that could be called underwater platform [10]. So its main function is the positioning at a given point or motion along a given trajectory and the objective of its operation is the positioning or transportation of technological equipment.

The technological equipment can be generally divided into devices of passive (photo, video, hydroacoustic survey) and active interaction with the environment and underwater objects (manipulators, cutters, illuminating equipment, active sonar devices, etc.). Different categories of the technological equipment are characterized by different requirements for their movement in the water space. Thereat, both progressive and rotary motions of the “platform – equipment” system should be considered. The integration of the

properties of the platform and technological equipment forms the ROV for the given purpose:

- the high-velocity platform and the hydroacoustic complex form a scout or searching ROV;
- the maneuverable platform with a videocomplex and a set of specialized sensors form an observation or inspection ROV;
- the maneuverable platform with a videocomplex and a system of manipulation devices form a work class ROV;
- the platform with satisfactory velocity and maneuverability characteristics combined with a set of attached various purposes equipment form a multi-purpose ROV.

Usually the technological equipment is located in the bow or keel part of the ROV and the umbilical tether is fastened to the top or to the stern of the ROV. At the cruise motion the tether remains above or behind and does not interrupt the equipment while operating.

PROBLEM STATEMENT

The main disturbances that affect the maneuverability of the ROV in the water space are:

- the force and moment vectors of the tether, which is an integral element of the ROV working within an underwater complex with umbilical tethers [5, 16, 22];
- the hydrodynamic force and moment vectors originating from the ROV motion relative to the water (e.g. currents) [15, 21].

The force disturbances caused by the technological equipment operation also affect the ROV. They can be considered as values of the second order of smallness in comparison to the basic ones and can be ignored.

Placing the mounting point of the tether running end at the ROV mass center is ideal. In this case, the tether creates almost no moments and the propulsion system (PS) has to compensate only the disturbing forces of the tether. However, to keep the tether moment equal to zero when the ROV rotational coordinates change (e.g. course), it is necessary to ensure structurally the free

motion of the tether within a certain sector, or else the tether will touch other ROV elements, which will cause tether force application points appearance that are distant from the ROV mass center and, consequently, the emergence of disturbing moments.

The tether running end, i.e. its input node (IN), is typically mounted on the transverse axis in the ROV diametrical plane ensuring its free motion in the range of 20...90°. Thereat, it is not always possible to place the mounting axis in the center of mass; designers are forced to shift it towards the stern [7]. Such mounting creates a small ROV pitching moment, which usually does affect much the maneuverability, but the moment occurring when changing the ROV course or moving it away from the diametrical plane of the carrier vessel still has a significant impact. Because of this the ROV pilot is forced to direct it mainly with its nose against the incoming water flow, which leaves no possibility to survey or approach underwater objects from desired directions, so the ROV angular position is chosen due to operational conditions including the direction of the current [6].

Apart from initialization of disturbances by the tether, the change of the ROV course also leads to occurrence of disturbing forces and moments as a result of impact of the so-called "oblique" water flow. At such flow-around the ROV pilot finds it difficult to adapt into conditions of the dynamically changing flow, resulting in worse control quality. These reasons necessitate the synthesis of complex automatic control systems [14, 20], which provide a satisfactory control quality only in certain motion modes of the ROV.

LATEST RESEARCH AND PUBLICATIONS ANALYSIS

The basic principles of assembling the elements of the ROV design are as follows. The structure of the ROV is divided into three areas: bow, middle and stern. In the bow area the technological equipment is located. In the rear area the power control module, main propulsion and steering complex are located and

the tether IN is mounted. The steering assisting devices are located at different places along the casing, depending on the maneuverability requirements. The rest of the equipment is located mainly in the middle area of the ROV. The elements with a large mass are typically located in its bottom part [24].

The configuration of the ROV PS determines the possible controlled motions of the technological equipment. Modern ROVs are characterized by a wide variety of PS configurations and technological capabilities [2, 8, 17]. The three-propulsion PS structure is typical for many ROVs: two cruise propulsion devices are located in the horizontal plane of the ROV at its left and right sides and provide longitudinal progressive motion and yawing, one vertical propulsion device provides vertical progressive motion. Such ROV is able to perform controlled motion by two progressive and one rotary degree of freedom. The disadvantage of this structure is the inability to perform lateral motion and to change the pitch and roll of the ROV. Considering this, the ROVs are additionally equipped with lateral steering assisting devices and drives for technological equipment rotation (e.g. video cameras) in the vertical plane.

The small-sized ROV for inspecting underwater objects and collecting underwater samples that is able to move and position itself in the underwater space in six degrees of freedom is known [25]. The vehicle comprises eight propulsion devices: four vertical and four horizontal ones. The main disadvantage of such design is the difficulty of turning and keeping a specified angular position of the ROV at motion in a water flow or positioning in a current under the influence of disturbing forces and moments.

Similar limitations are typical for the ROV with improved maneuverability, that provides motion and positioning of the technological equipment in underwater space in six degrees of freedom, and its PS consists of twelve propulsion devices [12]. In addition, the PS complexity leads to engaging more pilots and/or to synthesis of complex multidimensional and

multiloop regulators for controlling its spatial motion.

ARTICLE PURPOSE

The article purpose is development of a new architectural and structural type of self-propelled tethered underwater vehicle as a carrier of technological equipment, which ensures minimal disturbing influences on it during spatial motion and positioning in six degrees of freedom, and thus improves the control quality of its technological equipment.

PRINCIPLE OF SEPARATING PROGRESSIVE AND ROTARY MOTIONS

Any ROV as a physical body moving in three-dimensional space has six degrees of freedom: three progressive and three rotary. For carrying out the full range of tasks, the ROV controlled motion should be performed in all six degrees of freedom.

The theoretical basis of the suggested architectural and structural ROV type is formed by the separation of its structure into two parts, each of which performs a specific task and moves in its own degrees of freedom:

- progressive motion platform (PMP);
- rotary motion platform (RMP).

The PMP main elements are the bearing frame, the tether IN mounting element and the propulsion system, which makes it possible for the ROV to move in progressive degrees of freedom in any direction. Such PS should generate the forces, the resultant of which will always go through the ROV center of mass regardless of the value of each force, so the resultant of the control moments will always be equal to zero (ideally) or minimal.

The ROV elements, orientation in space of which is not essential, should also be included to the PMP structure, i.e. rigidly mounted on the frame. They are the buoyancy blocks, balance weights, navigation system, strong casings with an onboard computer,

information exchange system, power electronics and more.

All the equipment sensitive not only to progressive, but also to rotary coordinates (first of all, the technological equipment) should be located on the RMP, which is attached to the PMP and has its own rotary drives that provide change of the rotary coordinates of the technological equipment. The RMP implementation options depend on the particular equipment, which is planned to be installed on the ROV. For example, rotary motion in the RMP horizontal plane can be common for all pieces of equipment, and the rest of rotary degrees of freedom can be implemented by the RMP with a separate drives for each piece of equipment. It is possible to place several RMPs on the PMP.

The main disturbances that influence the ROV are the vectors of the tether tension force and moment. To minimize the influence of disturbing moments, the tether IN mounting point should be placed in the ROV mass center. If the tether is not flexible enough, the IN should be mounted on pin joints that will provide the specified angles of its free motion. In general, the tether free motion should be provided within the horizontal cone, the apex of which coincides with the ROV center of mass and IN mounting point, and the cone angle should be sufficient to ensure the

specified range of the tether free motion.

The progressive motion of the ROV built on the principle of separating progressive and rotary motion (SPRM) can be freely performed in any direction, provided the length of the released part of the tether and the PS power capacity are sufficient. At that, the control conditions close to ideal will be provided: the bow of such ROV will be oriented against the oncoming water flow, and the tether will be located behind the ROV stern, which is its natural location at even a minimum water flowing. This is the way to solve the problem of the ROV controlled progressive motion at a given spatial trajectory under the disturbing influence of the tether.

The effective angular coordinates range variation of the RMP technological equipment is restricted by the presence of the PMP elements and the tether in the ROV stern. Yet, particular rotary trajectories realized by the corresponding RMP drives are sufficient to solve most of underwater tasks, as they are usually carried out either in the lower or in the upper hemisphere of the water space relative to the ROV.

To carry out such kind of work, it is proposed to implement the SPRM principle according to the draft drawing shown in Fig. 1.

The buoyancy block is located on the upper level. The PS is located and the tether IN is

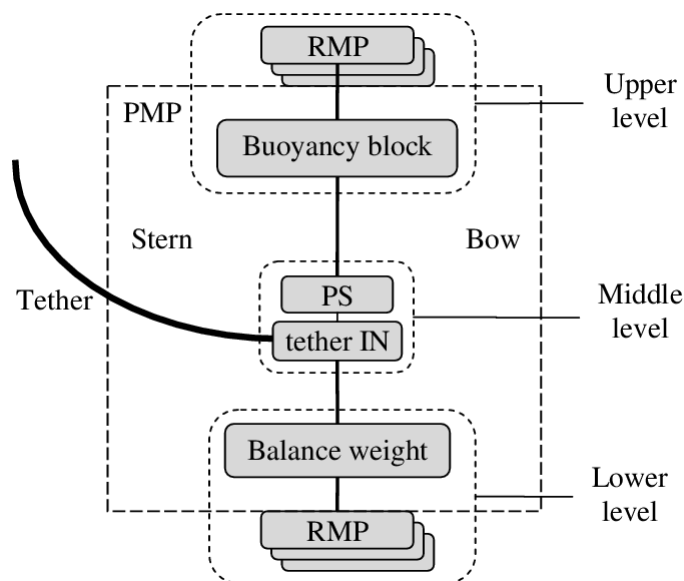


Fig. 1. ROV architecture

mounted on the middle level. The PS propulsion devices are oriented in such a way that the direction of PS force vector always passes through the ROV mass center. The balance weights and other heavy equipment are located on the lower level. Depending on the nature of the performed tasks, the RMP is located on the upper, lower or both of the levels.

At the ROV progressive motion, the disturbing influences of the water flow will create the force and the moment of resistance. The force of the resistance will be compensated with the PS propellers. The moment of resistance will cause the change of the ROV angular coordinates (pitch and roll). There are two ways to reduce the disturbed ROV angular coordinates zero: a passive method and an active method. The passive method implies locating the buoyancy block at the top of the ROV and the balance weights at its bottom. The active method implies the usage of the pitch-and-roll control system and is implemented if the passive method is not sufficient. If there remains any non-zero pitch and roll, the RMP can work them out so that they would not affect the angular orientation of the technological equipment. The RPM will also compensate the change of technological equipment horizontal angular coordinate.

NEW ARCHITECTURAL AND STRUCTURAL TYPE UNDERWATER VEHICLE VARIANT OF REALIZATION

When developing the ROV configuration according to the SPRM principle, the major importance has the location of the PS propellers, mounting points of the tether IN, and the RMP proper.

To provide the self-propelled ROV progressive motion in three degrees of freedom, at least three reverse propelling devices are required. At that, their placement should meet two requirements: first, the vectors of their force should pass through the ROV mass center in order not to create moments; second, they should be linearly

independent, so that the control force vector could be directed arbitrarily.

If the scalar value of the thrust of each propelling device is designated as F_1 , F_2 та F_3 , then the ROV propulsive force \vec{F} is determined by the following expression:

$$\vec{F} = \vec{a}_1 F_1 + \vec{a}_2 F_2 + \vec{a}_3 F_3,$$

where $\vec{a}_{1,2,3}$ are unit vectors which form the basis of the PS affine coordinate system.

If the propelling devices are located perpendicular to each other, the vectors $\vec{a}_{1,2,3}$ will form the orthonormal basis of the PS orthogonal coordinate system.

The variant of the ROV design which has been developed with the use of the SPRM principle and is equipped with three propelling devices arranged perpendicular to each other is shown in Fig. 2 [9]. The Figure indications are following: 1 – the frame, 2 – the vertical propelling device, 3 – the horizontal left propelling device, 4 – the horizontal right propelling device, 5 – the tether, 6 – the tether input node, 7 – the pitch-and-roll control system, 8 – the strong shells of the electronic blocks, 9 – the RMP drives, 10 – the balance weight, 11 – the technological equipment.

The vertical propeller is directed upwards; the left and right horizontal (cruise) propellers are directed at the angle of 45° to the ROV diametral plane, with the horizontal left propeller being directed forward and to the right and the horizontal right propeller directed forward and to the left. The propelling devices placement allows mounting the tether IN in the ROV mass center.

The RMP is placed at the bottom of the ROV; it is a rotating device with three degrees of freedom, and the technological equipment is mounted on it (the camera and the LED-light in this example). The three RMP drives are fixed according to the gimbals suspension principle; their rotary axes have a common intersection point. This RMP configuration provides arbitrary angular orientation of the technological equipment installed on it using the minimum number of rotary drives.

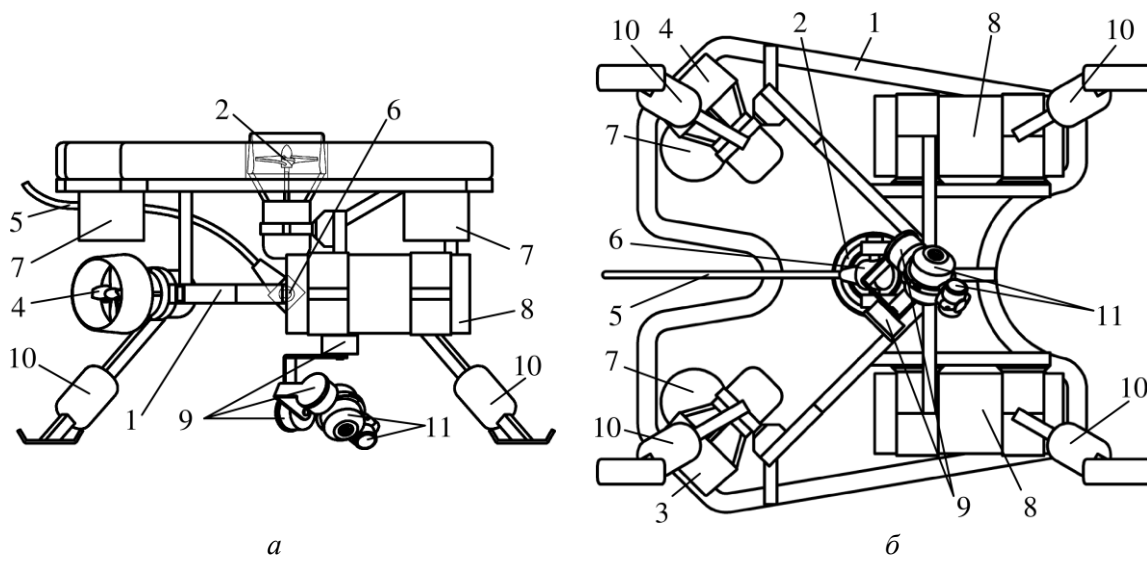


Fig. 2. ROV design drawing: *a* – right-side view, *b* – bottom view

The rotary motion restrictions will be formed by the wired connections which could be eliminated with the use of the electrical current transition modules.

Disturbing moments can occur on the ROV elements due to the influence of the oblique liquid flow. Such disturbances are compensated by the passive effect of the buoyancy block and balance weights, as well as by the active effect of the pitch-and-roll control system.

The free tether motion in the diametral plane is provided in the range of approximately $\pm 45^\circ$. The length of the released part of the tether when operating is chosen as such that its free motion is sufficient for the tether not to create the pitching moment.

In the horizontal plane, the free tether motion is provided within several degrees so the tether can create the moment turning the ROV around its vertical axis. Yet, the rotating devices of RMP will compensate the ROV yaw and will provide a constant value of the angular orientation of the technological equipment. Thus, there is no need in the ROV controlled rotary motion.

The ROV control system generates two groups of control signals:

- the PMP control vector $\vec{u}_p = \{u_1, u_2, u_3\}$, where $u_{1,2,3}$ are the control actions of the propulsion devices;

- the RMP control vector $\vec{u}_r = \{u_\alpha, u_\beta, u_\gamma\}$, where $u_{\alpha,\beta,\gamma}$ are the control actions of the rotary drives.

To study the ROV operational motion, the ROV-fixed coordinate system (FCS) and basic coordinate system (BCS) are usually used. The BCS is suggested to be stationary, and the ROV motion is considered relative to it [19]. The FCS center coincides with the ROV mass center, its abscissa and ordinate axes are orthogonal and lie in the ROV diametral plane. The former is directed to the bow, and the latter is oriented vertically upwards. The applicate axis forms the right-hand coordinate system with them; it lies in the ROV horizontal plane with the abscissa axis and in the ROV transverse plane with the ordinate axis.

Regardless of whether the basis $\vec{a}_1, \vec{a}_2, \vec{a}_3$ is orthonormal, the control force \vec{F} can be presented in projections both on the BCS and FCS axes:

$$\begin{aligned}\vec{F} &= \vec{i}_b F_{xb} + \vec{j}_b F_{yb} + \vec{k}_b F_{zb} = \\ &= \vec{i}_a F_{xa} + \vec{j}_a F_{ya} + \vec{k}_a F_{za},\end{aligned}$$

where $\vec{i}_b, \vec{j}_b, \vec{k}_b$ are the BCS unit basis vectors, $\vec{i}_a, \vec{j}_a, \vec{k}_a$ are the FCS unit basis vectors.

If the coordinates of the FCS basis vectors are set in the BCS:

$$\begin{aligned}\vec{i}_a &= i_x \vec{i}_b + i_y \vec{j}_b + i_z \vec{k}_b; \\ \vec{j}_a &= j_x \vec{i}_b + j_y \vec{j}_b + j_z \vec{k}_b; \\ \vec{k}_a &= k_x \vec{i}_b + k_y \vec{j}_b + k_z \vec{k}_b,\end{aligned}$$

then the correlation between the \vec{F} vector projections on the BCS and FCS axes is determined by the following matrix equations [11]:

$$\begin{aligned}\begin{bmatrix} F_{xb} \\ F_{yb} \\ F_{zb} \end{bmatrix} &= A \begin{bmatrix} F_{xa} \\ F_{ya} \\ F_{za} \end{bmatrix}; \quad \begin{bmatrix} F_{xa} \\ F_{ya} \\ F_{za} \end{bmatrix} = A^{-1} \begin{bmatrix} F_{xb} \\ F_{yb} \\ F_{zb} \end{bmatrix}; \\ A &= \begin{bmatrix} i_x & j_x & k_x \\ i_y & j_y & k_y \\ i_z & j_z & k_z \end{bmatrix}.\end{aligned}$$

The correlation between the \vec{F} vector projections on the FCS axes and the PS coordinate system is determined likewise.

If the coordinates of the $\vec{a}_1, \vec{a}_2, \vec{a}_3$ vectors in the FCS basis are known (they determine the direction of the ROV propelling devices operation and are known from its design characteristics):

$$\begin{aligned}\vec{a}_1 &= a_{1x} \vec{i}_a + a_{1y} \vec{j}_a + a_{1z} \vec{k}_a; \\ \vec{a}_2 &= a_{2x} \vec{i}_a + a_{2y} \vec{j}_a + a_{2z} \vec{k}_a; \\ \vec{a}_3 &= a_{3x} \vec{i}_a + a_{3y} \vec{j}_a + a_{3z} \vec{k}_a,\end{aligned}$$

then the correlation between the \vec{F} vector projections on the FCS axes and the PS coordinate system is determined according to the following matrix equations:

$$\begin{bmatrix} F_{xb} \\ F_{yb} \\ F_{zb} \end{bmatrix} = AA' \begin{bmatrix} F_1 \\ F_2 \\ F_3 \end{bmatrix}; \quad \begin{bmatrix} F_1 \\ F_2 \\ F_3 \end{bmatrix} = (AA')^{-1} \begin{bmatrix} F_{xb} \\ F_{yb} \\ F_{zb} \end{bmatrix};$$

$$A' = \begin{bmatrix} a_{1x} & a_{2x} & a_{3x} \\ a_{1y} & a_{2y} & a_{3y} \\ a_{1z} & a_{2z} & a_{3z} \end{bmatrix}.$$

For the control problems, the determination of the control signals u_1, u_2, u_3 in particular, the determination of the F_1, F_2, F_3 values by given F_{xb}, F_{yb}, F_{zb} is of special importance, since the latter determine the direction of the ROV progressive motion.

To control the angular coordinates of the technological equipment their various geometric representations and transformations could be used [1, 18]. If stepper electric motors are used as the RMP drives, and the angular orientation of the technological equipment is set by Euler angles θ, φ and ψ , then the RMP control actions can be determined as a vector function of a given angular orientation of the technological equipment $\vec{u}_r = \vec{f}(\theta, \varphi, \psi)$, which may vary for specific RMP configurations.

As a result, there could be the ROV designed in accordance with the SPRM principle, which consists of the PMP and the RMP. Moving and positioning of the technological equipment in three progressive degrees of freedom is performed by means of the PMP with the use of the PS comprising three propelling devices. Moving and positioning of the technological equipment in the rotary degrees of freedom is carried out by means of the RMP with the three-stage rotating device. At that, the controlled ROV motion and positioning in three rotary degrees of freedom is not realized, which significantly eliminates the unpredictable changes of hydrodynamic effects on its hull, reduces the number of the propelling devices and simplifies the process of their control. Mounting the tether IN at the center of mass of the ROV also considerably reduces the

disturbing moments, which makes the process of the ROV control easier.

CONCLUSIONS

1. On the basis of the proposed principle of separating rotary and progressive three-dimensional motion, the theoretical basis of design of the new self-propelled tethered underwater vehicles architectural and structural type comprising two platforms was developed, according to which:

- the resultant propulsive force of the progressive motion platform passes through the center of mass of the vehicle; its absolute value and direction are controlled values, which provides the motion in progressive degrees of freedom along an arbitrary trajectory under the disturbing influences of the tether and the water flow;

- the controlled rotary motion of the technological equipment is performed by the rotary motion platform relative to the progressive motion platform; the latter provides the technological equipment insensitivity to major disturbing influences.

2. The possible design variant of the new architectural and structural type self-propelled tethered underwater vehicle is proposed, which comprises the propulsion system consisting of three propelling devices for performing the progressive motion of the underwater vehicle in any direction, and a rotating device with three drives for performing the rotary motion of the technological equipment along any trajectory; at that, the required number of the installed drives is minimal, which simplifies the process of the underwater vehicle control.

REFERENCES

1. **Bingham B., Mindel D., Wilcox T., Bowen A., 2006.** Integrating Precision Relative Positioning into JASON/MEDEA ROVs Operations. *Marine Technology Society Journal*, Vol. 40, 80-89.
2. **Christ R., 2007.** *The ROV Manual: A User Guide for Observation Class Remotely Operated Vehicles.* Elsevier Ltd, 308.
3. **Molchan M., 2005.** The Role of Micro-ROVs in Maritime Safety and Security. *Marine Sciences*, 44.
4. **Moore S., Bohm H., Jensen V., 2010.** *Underwater Robotics: Science, Design & Fabrication.* Marine Advanced Technology Education (MATE) Center, 770.
5. **Bezverhyj O., 2015.** Dynamika pidvodnyh rozgaluzhenykh trosovykh system. *Kyiv, Mizhnarodnyj naukovo-vyrobnychyj zhurnal «Pidvodni tehnologii»*, Vol. 1, 50-58 (in Ukrainian).
6. **Blintsov V.S., 1998.** Privjaznye podvodnye sistemy. *Kiev, Naukova dumka*, 230 (in Russian).
7. **Blintsov V.S., Magula V.Je., 1997.** Proektirovanie samohodnykh privjaznykh podvodnykh sistem. *Kiev, Naukova dumka*, 140 (in Russian).
8. **Blintsov V.S., Gal' A. F., Shtefirca A. I., Chan T. D., 2007.** Razrabotka novogo pokolenija poiskovykh podvodnykh apparatov. *Zbirnyk naukovykh prac' NUK. Mykolai'v, NUK, Vyp. 4 (415), 22-30 (in Russian).*
9. **Blintsov O.V., 2015.** Pryv'jaznyj pidvodnyj aparat dlja zabezpechennja prostorovyh ruhu ta pozycionuvannja jogo tehnologichnogo obladnannja. *Zajava pro vydachu patentu Ukrai'ny na vynahid a2015 12/35 vid 07.12.2015 (in Ukrainian).*
10. **Blintsov O.V., 2013.** Koncepcija stvorennja bagatocil'ovykh pryv'jaznykh pidvodnykh system z centralizovanim informacijnym obminom. *Vostochno-evropejskij zhurnal peredovykh tehnologij, Har'kov, Vyp. 6/9 (66), 31-35 (in Ukrainian).*
11. **Bronshtejn I.N., Semendjaev K.A., 1986.** *Spravochnik po matematike dlja inzhenerov i uchashihhsja vtuzov. Izdanie trinadcatoe ispravlennoe. M., Nauka, Glavnaja redakcija fiziko-matematicheskoy literatury, 544 (in Russian).*
12. **Bugajenko B.A., Gal' A.F., Andrejchikova G.Ju., Shylin I.S., 2014.** Pidvodnyj aparat. Patent na korysnu model' UA № 93465, MPK V63G8/00, opubl. 10.10.2014, Bjul. № 19 (in Ukrainian).
13. **Gorbatenko E., Bratasjuk I., Sharov V., 2015.** Mobil'nye sooruzhenija v beregovej gidrotehnikе. *Kyiv, Mizhnarodnyj naukovo-vyrobnychyj zhurnal «Pidvodni tehnologii»?* Vyp. 1, 23-32 (in Russian).
14. **Gostev V.I., 2008.** Nechetkie reguljatory v sistemah avtomaticheskogo upravlenija. *K., Radioamator, 972 (in Russian).*

15. **Devnin S.I., 1983.** Ajerogidromehaniка plohoobtekaemyh konstrukcij. Spravochnik. L., Sudostroenie, 320 (in Russian).
16. **Egorov V.I., 1981.** Podvodnye buksiruemye sistemy: Uchebnoe posobie. L., Sudostroenie, 304 (in Russian).
17. **Illarionov G.Ju., Karpachev A.A., 1998.** Issledovatel'skoe proektirovanie neobitaemyh podvodnyh apparatov: teoriya, metody, rezul'taty. Vladivostok, Dal'nauka, 272 (in Russian).
18. **Kiselev L.V., Vaulin Ju.V., Inzarcev A.V., Matvienko Ju.V., 2004.** Navigacija, upravlenie i orientirovanie v podvodnom prostranstve. Mehatronika, avtomatizacija, upravlenie, № 11, 35-42 (in Russian).
19. **Lukomskij Ju.A., Peshehonov V.G., Skorohodov D.A., 2002.** Navigacija i upravlenie dvizheniem sudov. Uchebnik. SPb., Jelmor, 360 (in Russian).
20. **Lukomskij Ju.A., Chugunov V.S., 1988.** Sistemy upravlenija morskimi podvizhnymi ob'ektami: Uchebnik. L., Sudostroenie, 272 (in Russian).
21. **Pantov, E.N., Mahin N.N., Sheremetov B.B., 1973.** Osnovy teorii dvizhenija podvodnyh apparatov. L., Sudostroenie, 216 (in Russian).
22. **Vinogradov N.I., Gutman M.L., Lev I.G., Nisnevich M.Z., 2000.** Privjaznye podvodnye sistemy. Prikladnye zadachi statiki i dinamiki. SPb, Izdatel'stvo SPb. universiteta, 324 (in Russian).
23. **Rakitin I. Ja., 2002.** Podvodnye robototekhnicheskie sistemy dlja issledovanij okeana. M., NIP More, 191 (in Russian).
24. **Shostak V.P., 2011.** Podvodnye apparaty-roboty i ih manipulyatory. M., GEOS, 134 (in Russian).
25. **Shherbatjuk O.F., Kostenko V.V., Bykanova A.Ju., 2010.** Malogabaritnyj teleupravljaemyj podvodnyj apparat. Patent na izobrenenie RU № 2387570, МПК V63G8/00, V63G8/38, V63C11/00, opubl. 27.04.2010, Bjul. 12 (in Russian).
3. **Molchan M., 2005.** The Role of Micro-ROVs in Maritime Safety and Security. Marine Sciences, 44.
4. **Moore S., Bohm H., Jensen V., 2010.** Underwater Robotics: Science, Design & Fabrication. Marine Advanced Technology Education (MATE) Center, 770.
5. **Безверхий О., 2015.** Динаміка підводних розгалужених тросових систем. Київ, Міжнародний науково-виробничий журнал «Підводні технології», Вип. 1, 50-58.
6. **Блинцов В.С., 1998.** Привязные подводные системы. Киев, Наукова думка, 230.
7. **Блинцов В.С., Магула В.Э., 1997.** Проектирование самоходных привязных подводных систем. Киев, Наукова думка, 140.
8. **Блинцов В.С., Галь А. Ф., Штефирца А. И., Чан Т.Д., 2007.** Разработка нового поколения поисковых подводных аппаратов. Збірник наукових праць НУК. Миколаїв, НУК, Вип. 4 (415), 22-30.
9. **Блінцов О.В., 2015.** Прив'язний підводний апарат для забезпечення просторових руху та позиціонування його технологічного обладнання. Заява про видачу патенту України на винахід а2015 12/35 від 07.12.2015.
10. **Блінцов О.В., 2013.** Концепція створення багатоцільових прив'язних підводних систем з централізованим інформаційним обміном. Восточно-европейский журнал передовых технологий, Харьков, Вып. 6/9 (66), 31-35.
11. **Бронштейн И.Н., Семендяев К.А., 1986.** Справочник по математике для инженеров и учащихся втузов. Издание тринадцатое исправленное. М., Наука, Главная редакция физико-математической литературы, 544.
12. **Бугаснюк Б.А., Галь А.Ф., Андрейчикова Г.Ю., Шилін І.С., 2014.** Підводний апарат. Патент на корисну модель UA № 93465, МПК В63G8/00, опубл. 10.10.2014, Бюл. 19.
13. **Горбатенко Е., Братасюк И., Шаров В., 2015.** Мобильные сооружения в береговой гидротехнике. Київ, Міжнародний науково-виробничий журнал «Підводні технології», Вип. 1, 23-32.
14. **Гостев В.И., 2008.** Нечеткие регуляторы в системах автоматического управления. К., Радиоаматор, 972.
15. **Девнин С.И., 1983.** Аэрогидромеханика плохообтекаемых конструкций. Справочник. Л., Судостроение, 320.
16. **Егоров В.И., 1981.** Подводные буксируемые системы. Учебное пособие. Л., Судостроение, 304.

ЛИТЕРАТУРА

1. **Bingham B., Mindel D., Wilcox T., Bowen A., 2006.** Integrating Precision Relative Positioning into JASON/MEDEA ROVs Operations. Marine Technology Society Journal, Vol. 40, 80-89.
2. **Christ R., 2007.** The ROV Manual: A User Guide for Observation Class Remotely Operated Vehicles. Elsevier Ltd, 308.

17. **Илларионов Г.Ю., Карпачев А.А., 1998.** Исследовательское проектирование необитаемых подводных аппаратов: теория, методы, результаты. Владивосток, Дальнаука, 272.
18. **Киселев Л.В., Ваулин Ю.В., Инзарцев А.В., Матвиенко Ю.В., 2004.** Навигация, управление и ориентирование в подводном пространстве. Мехатроника, автоматизация, управление, Вып.11, 35-42.
19. **Лукомский Ю.А., Пешехонов В.Г., Скороходов Д.А., 2002.** Навигация и управление движением судов. Учебник. С-Пб., Элмор, 360.
20. **Лукомский Ю.А., Чугунов В.С., 1988.** Системы управления морскими подвижными объектами. Учебник. Л., Судостроение, 272.
21. **Пантов, Е.Н., Махин Н.Н., Шереметов Б.Б., 1973.** Основы теории движения подводных аппаратов. Л., Судостроение, 216.
22. **Виноградов Н.И., Гутман М.Л., Лев И.Г., Нисневич М.З., 2000.** Привязные подводные системы. Прикладные задачи статики и динамики. С-Пб, Издательство С-Пб. университета, 324.
23. **Ракитин И.Я., 2002.** Подводные робототехнические системы для исследований океана. М., НИП Море, 191.
24. **Шостак В.П., 2011.** Подводные аппараты-роботы и их манипуляторы. М., ГЕОС, 134.
25. **Щербатюк О.Ф., Костенко В.В., Быканова А.Ю., 2010.** Малогабаритный телеуправляемый подводный аппарат. Патент на изобретение RU № 2387570, МПК В63G8/00, В63G8/38, В63C11/00, опубл. 27.04.2010, Бюл. 12.

Архітектурно-конструктивний тип самохідних прив'язних підводних апаратів з удосконаленою керуваністю

Олександр Блінцов

Національний університет
«Львівська політехніка»
вул. Князя Романа, 1, корпус 19, Львів
Україна, 79000, energybox@mail.ru
orcid.org/0000-0003-0426-1219

Анотація. Розглянуто тенденції розвитку сучасних підводних комплексів з гнучкими зв'язками та особливості їх підводних апаратів як носіїв технологічного обладнання. Наведено відомості щодо основних збурень, які впливають на рух підводного апарата у складі підводного комплексу з гнучкими зв'язками, та на якість виконуваної ним роботи.

Проаналізовано основні принципи компоновки елементів конструкції підводного апарата як складової підводного комплексу з гнучкими зв'язками. Розглянуто типові конфігурації рушійних комплексів підводних апаратів.

Запропоновано принцип відокремлення обертового та поступального тривимірних рухів підводного апарата, застосування якого при проектуванні підводних апаратів дає змогу забезпечити мінімальні збурюючі впливи при їх русі та позиціонуванні за шістьма ступенями свободи, і тим самим покращити якість керування технологічним обладнанням, встановленим на підводних апаратах.

Розроблено теоретичні основи побудови нового архітектурно-конструктивного типу самохідних прив'язних підводних апаратів у складі платформ обертового та поступального руху.

Запропоновано один з можливих варіантів конструкції самохідного прив'язного підводного апарата нового архітектурно-конструктивного типу у складі рушійного комплексу з трьома рушійними пристроями та обертового пристрою з трьома приводами для здійснення поступального та обертового рухів технологічного обладнання за шістьма ступенями свободи.

Ключові слова: підводний апарат, архітектурно-конструктивний тип.

Анализ комплексного обезвоживания мелких фракций гранита

Владимир Надутый¹, Валентина Челышкина², Сергей Костыря³

Институт геотехнической механики имени Н.С. Полякова НАН Украины

ул. Симферопольская, 2а, Днепропетровск, Украина, 49005

¹nadutyvp@yandex.ua, orcid.org/0000-0002-2453-0351,

²orcid.org/0000-0003-3601-1572, ³orcid.org/0000-0001-5215-080X

Аннотация. В статье представлены результаты разработки математической модели для описания процесса комплексного обезвоживания мелких фракций гранита (+0,25...0,63 мм) и (+0,63...1,6 мм). В установке для обезвоживания используются три метода: вибрационный, вакуумный и электроосмотический. Независимыми переменными являются семь параметров: исходная влажность, площадь поверхности сушки, изменение давления в вакуумной камере, напряжение на электродах, частота колебаний и величина возмущающей силы вибровозбудителя, угол наклона рабочего органа. Значение работы состоит в разработке регрессионной модели для практического описания изменения конечной влажности гранита от указанных параметров.

Ключевые слова: комплексный метод, влажность, гранит, регрессионные уравнения.

ВВЕДЕНИЕ

Основой работы авторов является поиск технического решения для достаточно глубокого обезвоживания (4,0...6,0 % остаточной влаги) горной массы, исследование закономерностей массопереноса, обоснование его эффективности и работоспособности, в результате чего предложен метод комплексного обезвоживания влажной горной массы.

Разработанное авторами устройство позволяет выполнять комплексное обезво-

живание горной массы, поскольку в нем одновременно используются три механизма обезвоживания (вибрационный, вакуумный и электрокинетический) на основе электроосмоса, основанный на процессах переноса влаги в обрабатываемом материале под влиянием постоянного тока [1, 2]. Предварительные исследования обезвоживания по данному комплексному методу показали обнадеживающие результаты [3].

Вибрационный метод позволяет эффективно отбирать из горной массы внешнюю воду [4 – 6], вакуумный способ ускоряет этот процесс и дополнительно обезвоживает поровые каналы в горной массе [7], а также убирает перемычки влаги между частицами твердого остатка (так называемые перетяжки). Однако капиллярную влагу извлечь этими методами не удастся, поскольку силы поверхностного натяжения воды в капиллярах довольно велики [9].

Целью данной работы является определение эффективности обезвоживания мелкого гранита по двум классам крупности: (+0,25...0,63 мм) и (+0,63...1,6 мм) путём варьирования параметрами обезвоживающего устройства и получение многофакторных регрессионных уравнений. Снижение влажности таких материалов актуально в сферах торговли, транспорти-

ровки и применения в различных технологиях.

При проведении экспериментов на конечную влажность влияли семь не коррелирующих между собой показателей: площадь перфорированной поверхности, на которой размещался высушиваемый продукт, S (m^2), исходная влажность продукта $W_{исх}$ (%), давление в вакуумной камере P (МПа), напряжение электрического поля U (В), величина возмущающей силы (усилия) вибровозбудителя F (кН), частота колебаний вибровозбудителя ω ($мин^{-1}$) и угол наклона рабочего органа α (град) [9]. Указанные показатели варьировались в следующих диапазонах:

$S = 0,08 \dots 1,12 m^2$, с шагом $0,08 m^2$;
 $W_{исх} = 10 \dots 30 \%$, с шагом 10% ;
 $P = 0,088 \dots 0,1$ МПа, с шагом $0,04$ МПа;
 $U = 25 \dots 100$ В, с шагом 25 В;
 $F = 0,5 \dots 0,8$ кН, с шагом $0,1$ кН;
 $\omega = 1500 \dots 3000$ $мин^{-1}$, с шагом 500 $мин^{-1}$
 $\alpha = 5 \dots 20$ град, с шагом 5 град.

Общее количество экспериментальных измерений составило 88.

ЦЕЛЬ И МЕТОДЫ РАБОТЫ

Целью исследований: по результатам экспериментов оценить влияние каждого показателя и построить обобщенную регрессионную зависимость конечной влажности от всех семи показателей.

Вначале, методом построения парных

корреляций, исследовалось влияние на конечную влажность какого-то одного показателя при остальных фиксированных на уровне постоянных значений. Анализировалась база измерений влажности для трех значений площади обезвоживания: $0,08 m^2$, $0,56 m^2$ и $1,12 m^2$ и следующих фиксированных показателей: $W_{исх} = 30 \%$, $P = 0,063$ МПа; $U = 75$ В; $F = 0,5$ кН; $\omega = 3000$ $мин^{-1}$; $\alpha = 5$ град. Парные корреляции позволили установить характер взаимосвязи каждого из показателей с конечной влажностью (линейная, нелинейная).

Для оценки степени влияния каждого фактора была построена линейная регрессия вида:

$$W_{кон.} = f(a_0 + a_1W_{исх.} + a_2S + a_3W + a_4U + a_5F + a_6P + a_7\alpha) \quad (1)$$

При этом использовалась программа Microsoft Excel, позволяющая строить регрессионные зависимости с числом слагаемых 16 и менее. Получено, что квадрат коэффициента корреляции для этой зависимости имеет невысокое значение: $R^2 = 0,8751455$. Поэтому ее прямое использование нецелесообразно, и ниже мы получим более адекватные регрессионные модели. Однако величина коэффициентов в уравнении линейной регрессии ($a_0, a_1, \dots a_7$) позволяет ориентировочно оценивать насколько сильно влияет каждый из факторов на конечную влажность: чем больше величина коэффициента при данном фак-

Таблица 1. Коэффициенты уравнения (1)
Table 1. Equations (1) coefficients

Независимые факторы	Коэффициенты		Стандартная ошибка	t -статистика
	a_0			
$W_{исх}$	a_1	24,1049	3,014627	7,995982
S	a_2	0,353584	0,050874	6,950182
ω	a_3	-8,86693	0,476443	-18,6107
U	a_4	-0,00119	0,000623	-1,90659
F	a_5	-0,02418	0,0117	-2,06679
P	a_6	5,243971	3,112594	1,684759
α	a_7	-190,386	19,32261	-9,85301
		0,292498	0,062252	4,698629

торе, тем сильніше його впливання (Табл. 1).

Аналіз результатів побудови парних кореляцій і лінійної регресії (1) дозволило зробити наступні висновки:

1. Найбільше сильне впливання на процес сушки оказує тиск в вакуумній камері P . Для максимальної площі поверхності $1,12 \text{ м}^2$ при вихідній вологості 30 % має місце зниження вмісту вологи до 9 % при $P = 0,088 \text{ МПа}$ і до 6,3 % при $P = 0,1 \text{ МПа}$. Для мелкого класу грану при будь-якій площі залежність $W_{\text{кон.}}$ від P має лінійний характер.

2. На другому місці за ступенем впливання знаходиться площа поверхності сушки. Ця залежність має виражений нелінійний характер. Оптимальна площа – найбільша: $S = 1,12 \text{ м}^2$.

3. Залежність $W_{\text{кон.}}$ від величини розштовхувальної сили F має лінійний характер. Наприклад, при $S = 1,12 \text{ м}^2$ збільшення F з 0,5 до 0,8 кН призводить до збільшення кінцевої вологості з 11,7 до 14%.

4. Залежність $W_{\text{кон.}}$ від вихідної вологості $W_{\text{исх.}}$ має виражений нелінійний характер. Так, для $S = 1,12 \text{ м}^2$ при вихідній вологості 30 % кінцева вологість становить 12 % і зменшується на 18 одиниць, а при малій вихідній вологості (10 %) – лише на 3 одиниці (до 7 %).

5. Залежність $W_{\text{кон.}}$ від кута нахилу робочого органу α має лінійний характер. Збільшення α понад 5 градусів оказує негативний вплив. Так при $\alpha = 5$ градусів кінцева вологість становить 11,8 %, а при 20 градусів – 16,9 %.

6. Залежність $W_{\text{кон.}}$ від напруги U лінійна, слабка. Так, для площі $1,12 \text{ м}^2$ і інших фіксованих параметрів при збільшенні U від 0 до 100 В кінцева вологість зменшується на 2,5%: з 13,3 до 10,8%.

7. Залежність $W_{\text{кон.}}$ від частоти коливань віброгенератора ω – лінійна, слабка. При $S = 1,12 \text{ м}^2$ і інших фіксованих параметрів ($U = 75 \text{ В}$) збільшення ω з 1500 до 3000 мин^{-1} веде до зменшення вологості з 14,6 до 11,5% (на 3,1%).

Таким чином, виявлені п'ять лінійних і дві нелінійні залежності $W_{\text{кон.}}$ від змінюваних факторів. Нелінійні залежності – від площі сушки S і від вихідної вологості $W_{\text{исх.}}$. Наявність нелінійних зв'язків є основою для того, щоб при побудові узагальненої регресійної моделі (від всіх семи факторів) задати цільову функцію $W_{\text{кон.}}$ у вигляді повної квадратичної форми:

$$W_{\text{кон.}} = f(W_{\text{исх.}}, S, \omega, U, F, P, \alpha, W_{\text{исх.}}, S, W_{\text{исх.}}, \omega, W_{\text{исх.}}, U, W_{\text{исх.}}, F, W_{\text{исх.}}, P, W_{\text{исх.}}, \alpha, S\omega, SU, SF, SP, Sa, \omega U, \omega F, \omega P, \omega \alpha, UF, UP, U\alpha, FP, F\alpha, P\alpha, W_{\text{исх.}}^2, S^2, \omega^2, U^2, F^2, P^2, \alpha^2). \quad (2)$$

Мінімізувати кількість членів рівняння (2) і отримати адекватну регресійну модель дозволяє відома програма SPSS [10] при використанні опції «Пошаговий відбір». Програмою SPSS запропоновано 13 регресійних моделей, достовірність апроксимації яких оцінювалася за величиною квадрата коефіцієнта кореляції двох множин – розрахункової і експериментальної значення кінцевої вологості (Табл. 2).

Нижче наведено змінні, включені в рівняння моделей 1 – 13:

1. (const) SP
2. (const) SP, W
3. (const) SP, W, WP
4. (const) SP, W, WP, WS
5. (const) SP, W, WP, WS, S^2
6. (const) W, WP, WS, S^2
7. (const) $W, WP, WS, S^2, F\alpha$
8. (const) $W, WP, WS, S^2, F\alpha, S$
9. (const) $W, WP, WS, S^2, F\alpha, S, SP$
10. (const) $W, WP, WS, S^2, F\alpha, S, SP, \omega U$
11. (const) $W, WP, WS, S^2, F\alpha, S, SP, \omega U, W^2$
12. (const) $W, WP, WS, S^2, F\alpha, S, SP, \omega U, W^2, Sa$
13. (const) $W, WP, WS, S^2, F\alpha, S, SP, \omega U, W^2, Sa, \omega \alpha$.

Тут і далі позначено $W = W_{\text{исх.}}$.

Таблица 2. Статистика регрессионных моделей 1 – 13

Table 2. Regression models 1 – 13 statistics

Модель	R	R^2	Скорректиров. R^2	Станд. ошибка оценки	Изменение R^2	Изменения F
1	0,788	0,622	0,617	3,10337	0,622	141,293
2	0,841	0,707	0,700	2,74772	0,085	24,703
3	0,892	0,795	0,788	2,31136	0,088	36,123
4	0,927	0,859	0,852	1,92915	0,064	37,582
5	0,951	0,905	0,899	1,59174	0,046	39,917
6	0,951	0,904	0,899	1,59300	0,001	1,131
7	0,965	0,931	0,927	1,35615	0,027	32,524
8	0,971	0,943	0,939	1,24065	0,012	16,979
9	0,978	0,957	0,953	1,08796	0,014	25,331
10	0,982	0,964	0,961	0,99466	0,008	16,712
11	0,983	0,966	0,962	0,97622	0,002	4,013
12	0,984	0,968	0,964	0,95753	0,002	4,075
13	0,985	0,970	0,965	0,93188	0,002	5,297

Из Табл. 2 видно, что модели 5 и 6 имеют близкое, но не высокое значение $R^2 \approx 0,90$, что недостаточно для адекватного описания. Модели 7, 8 также имеют недостаточно высокое значение R^2 . Модели 9 и 10 имеют примерно одинаковую величину $R^2 \approx 0,96$. Для моделей 11 –13 значение R^2 увеличивается, но не значительно $R^2 \approx 0,97$, то есть увеличение количества слагаемых в уравнении регрессии не оправданно. Таким образом, наиболее подходящими являются модели 9 и 10.

Коэффициенты уравнений регрессии для моделей 9 и 10 приведены в Табл. 3.

Модели 9 и 10 отличаются одним слагаемым ωU . Как видно из табл. 3 коэффициент при этом слагаемом близок к 0, поэтому для практического использования следует рекомендовать модель 9:

$$W_{\text{кон}} = 4,685 + 128,759SP + 1,207W - 9,396WP - 0,393WS + 10,056S^2 + 0,503F\alpha - 18,345S; \quad (3)$$

$$R^2 = 0,957$$

Отметим, что из семи показателей в модель 9 не вошли два – U и ω . Исходя из анализа парных корреляций, при эксплуатации установки для обезвоживания, эти параметры должны быть выбраны на уровне рациональных значений: $U =$

$75 \dots 100$ В и $\omega = 2500 \dots 3000$ мин⁻¹. Регрессионное уравнение (3) с высокой достоверностью описывает снижение влажности гранита крупностью $0,44 \pm 0,2$ мм с $10 \dots 30$ % до $7 \dots 9$ % и достигнутым минимумом $6,3$ %.

ВЫВОДЫ

Проведен анализ экспериментальных данных по обезвоживанию мелких фракций гранита ($-0,63 \dots +0,25$ мм) на установке с комплексным воздействием вибрации, электроосмоса и вакуумирования. С помощью современных методов компьютерного анализа разработана регрессионная модель для практической оценки конечной влажности продукта. Регрессионное уравнение описывает процесс обезвоживания при двух показателях, фиксированных на уровне рациональных значений: напряжение $U = 75 \dots 100$ В, частота оборотов привода вибровозбудителя $\omega = 2500 \dots 3000$ об/мин. и включает пять варьируемых показателей: площадь поверхности обезвоживания, исходная влажность продукта, давление в вакуумной камере, величина возмущающей силы вибровозбудителя, угол наклона рабочего органа. Модель ох-

ватує діапазон зниження вологості с 10...30% до 7...9 %.

Таблиця 3. Коэффициенты уравнений регрессии
Table 3. Regression equations coefficients

№ моделі	Слагаемое	Коэффициент при слагаемом	t-критерий (Стьюдента)
9	(const)	4,685	3,201
	SP	128,759	5,033
	W	1,207	18,107
	WP	-9,396	-15,156
	WS	-0,393	-5,726
	S ²	10,053	10,979
	F α	0,503	7,035
	S	-18,345	-6,695
10	(const)	6,539	4,628
	SP	128,637	5,500
	W	1,176	19,155
	WP	-9,140	-16,028
	WS	-0,393	-6,259
	S ²	9,931	11,856
	F α	0,551	8,293
	S	-18,192	-7,262
	ωU	0, а точнее (-8·10 ⁻⁶)	-4,088

ЛИТЕРАТУРА

1. Патент 92897 України, 2014. Пристрій для зневоднення. Надутый В.П., Сухарев В.В., Костыря С.В. Опубл. в Бюл.17, 4.
2. Патент 101478 України, 2015. Спосіб зневоднювання сипучої гірської маси. Надутый В.П., Сухарев В.В., Костыря С.В. Опубл. в Бюл.17, 4.
3. Надутый В.П., Сухарев В.В., Костыря С.В., 2014. Обоснование эффективности использования комплексного метода обезвоживания мелкой влажной горной массы. Днепропетровск, Геотехническая механика. Вып.119, 63-69.
4. Надутый В.П., Сухарев В.В., Костыря С.В., 2014. Результаты комплексного обезвоживания горной массы на вибрационном устройстве. Вінниця, Вібрації в техніці та технологіях. Вип.1(73), 88-93.

5. Надутый В.П., Лапшин Е.С., Шевченко А.И., 2012. Исследование кинетики обезвоживания при вибрационном грохочении. Днепропетровськ, Національний гірничий університет, Вип.49(90), 112-120.
6. Надутый В.П., Елисеєв В.И., Луценко В.И., 2011. Влияние вибраций на статическое положение мениска движущейся в капилляре жидкости. Харків, ХПІ, Вип.59, 104-111.
7. Гарковенко Е.Е., 2006. Интенсификация механического обезвоживания осадков тонкодисперсных углесодержащих материалов. Київ, Вісник КТУ, Вип.13, 90-94.
8. Надутый В.П., Елисеєв В.И., Луценко В.И., 2013. Эффект подъема влажных частиц в вертикальной вибрирующей трубе. Вінниця, Вібрації в техніці та технологіях. Вип.1(69), 31-36.
9. Тихомолова К.П., Уракова И.Н., 2002. Электроповерхностные свойства кварца в растворах при разном времени контакта. Санкт-Петербург, Вестник СПбГУ, Вып.3 (20), 913-919.
10. Бююль А., Цефель П., 2005. SPSS: искусство обработки информации. Анализ статистических данных и восстановление скрытых закономерностей, 608.

REFERENCES

1. Patent 92897 Ukraine, 2014. Prystriy dlya znevodnennya. Naduty V.P., Sukharev V.V., Kostyrya S.V., Opubl. v Bjul.17, 4 (in Ukrainian).
2. Patent 101478 Ukraine, 2015. Sposib znevodnyuvannya sipuchoi girs'koї masi. Naduty V.P., Sukharev, V.V., Kostyrya S.V. Opubl. v Bjul. 17, 4 (in Ukrainian).
3. Naduty V.P., Sukharev V.V., Kostyrya S.V., 2014. Obosnovanie ehffektivnosti ispol'zovaniya kompleksnogo metoda obezvozhivaniya melkoj vlazhnoj gornoj massy. Dni-propetrovsk, Geo-Technical Mechanics, Vol.119, 63-69 (in Russian).
4. Naduty V.P., Sukharev V.V., Kostyrya S.V., 2014. Rezul'taty kompleksnogo obezvozhivaniya gornoj massy na vibracionnom ustrojstve. Vinnitsa, Vibratsiyi v tehniitsi ta tehnologiyah, Vol.1(73), 88-93 (in Russian).
5. Naduty V.P., Lapshin E.S., Shevchenko A.I., 2012. Issledovanie kinetiki obezvozhivaniya pri vibracionnom grohochenii. Dni-prope-

- trovsk, National Mining University, Vol.49(90), 112-120 (in Russian).
6. **Naduty V.P., Yeliseyev V.I., Lutsenko V.I., 2011.** Vliyanie vibracij na staticheskoe polozhenie meniska dvizhushchejsya v kapillyare zhidkosti. Kharkiv, Kharkiv Polytechnic Institute, Vol.59, 104-111 (in Russian).
 7. **Garkovenko E.E., 2006.** Intensifikaciya mekhanicheskogo obezvozhivaniya osadkov tonkodispersnyh uglesoderzhashchih materialov. Kiev, Visnik KTU, Vol.13, 90-94 (in Russian).
 8. **Naduty, V.P., Yeliseyev, V.I., Lutsenko, V.I., 2013.** Ehffekt pod"ema vlazhnyh chastic v vertikal'noj vibriruyushchej trube. Vinnitsa, Vibratsiyi v tehnitsi ta tehnologiyah, Vol.1, 31-36 (in Russian).
 9. **Tihomolova K.P., Urakova I.P., 2002.** Ehlektropoverhnostnye svojstva kvarca v rastvorah pri raznom vremeni kontakta. Vestn. St. Petersburg State University, Vol.3 (20), 913-919 (in Russian).
 10. **Buul A., Tsefel P., 2005.** SPSS: iskusstvo obrabotki informatsii. Analiz statisticheskikh dannyx i vosstanovleniye skrytykh zakonmernostey. SPb, OOO Dia-SoftYuP, 608 (in Russian).

Analysis of the integrated dewatering of fine fractions of granite

Vladimir Nadutyi¹, Valentina Chelyschkina², Sergey Kostyrya³

M.S. Polyakov Institute of Geotechnical Mechanics under the National Academy of Science of Ukraine

Simferopolskaya, 2a, Dnepropetrovsk, Ukraine, 49005, ¹nadutyvp@yandex.ua, orcid.org/0000-0002-2453-0351,

²0000-0003-3601-1572, ³0000-0001-5215-080X

Summary. The article presents the results of development of a mathematical model for description of the integrated dewatering (dehydration) process of the small fractions of granite (0,44 ± 0,2) mm. Three methods are used in apparatus for dewatering: vibration, vacuum and electro-osmosis. The seven parameters are independent variables: the initial moisture content, the area of drying surface, change of the pressure in the vacuum chamber, the voltage on the electrodes, frequency and magnitude of the disturbing force of the vibration exciter, the angle of inclination of the working body. The importance of the work is the development of regression model for the practical description of changes of final moisture of granite from the specified parameters.

Key words: integrated method, moisture, granite, the regression equations.

Определение размеров воронки всасывания для подводных технологий разработки россыпных месторождений

Ольга Медведева

Институт геотехнической механики имени Н.С. Полякова НАН Украины
ул. Симферопольская, 2-А, Днепропетровск, Украина, 49005
Olya-1702@yandex.ua, orcid.org/0000-0001-5575-713X

Аннотация. Установлено, что применение трубопроводного гидротранспорта считается наиболее перспективным для разработки первичных и техногенных россыпей из под слоя воды. Проанализированы теоретические исследования процессов течения в рассматриваемой области, однако даже они существенно опираются на экспериментальные константы и используют не обоснованные предположения. Получены теоретические оценки размеров воронки всасывания, учитывающие производительность установки, диаметр всасывающего трубопровода, а также свойств твердых частиц добываемой россыпи. Рассматривая гидросмесь как однородную жидкость повышенной плотности, научно обоснована модель течения в зоне всасывания грунтозаборного устройства. Полученные зависимости позволяют обосновать периодичность и шаг перемещения добычной установки, а также оценить время разработки месторождения и рациональное количество установок.

Ключевые слова: воронка всасывания, радиус размыва, грунтозаборное устройство.

ВВЕДЕНИЕ

Применение трубопроводного гидротранспорта считается наиболее перспективным для разработки первичных и техногенных россыпей из под слоя воды [1 – 5]. Независимо от того используется для добычи россыпей земснаряд или эрлифтная установка процесс поступления взвешенно-

го или размываемого грунта во всасывающий трубопровод во многом определяет эффективность всей технологии. Кроме этого параметры технологии добычи существенно зависят от геометрических размеров воронки всасывания, которая образуется при взаимодействии потока жидкости, засасываемого в трубопровод, и грунтом, находящимся возле трубы. Результаты анализа известных методов расчета параметров воронок, образуемых на входе во всасывающий трубопровод земснаряда [1 – 5], указывают на доминирование в них эмпирических зависимостей, или формул, полученных на основе теории размерности. Известны немногочисленные теоретические исследования процессов течения в рассматриваемой области, а также единичные попытки построения математической модели процесса [5, 6]. Однако даже они существенно опираются на экспериментальные константы и используют не обоснованные предположения.

ЦЕЛЬ РАБОТЫ

Целью публикации является разработать математическую модель течения воды со взвешенными твердыми частицами в области между входом во всасывающий трубопровод и размываемым грунтом, а затем

на основании этого определить геометрические размеры воронки всасывания теоретическим путем.

ПОСТРОЕНИЕ МОДЕЛИ ТЕЧЕНИЯ

На основе результатов визуализации течения возле входа во всасывающий трубопровод земснаряда [1 – 5], а также известных положений [7, 8 – 11] и гипотез технической гидродинамики [12 – 16], предлагается следующая расчетная схема рассматриваемого течения (Рис. 1):

- течение является осесимметричным и при рассмотрении в сферической системе координат параметры течения зависят от радиуса и одной угловой координаты;

- угловая координата в рассматриваемых условиях изменится от 0, что соответствует срезу всасывающего трубопровода, до 90°, что соответствует максимальной глубине воронки всасывания;

- в поперечном сечении рассматриваемой области каждый из краев трубопровода является центром потенциального вихря, определяющих распределение угловых скоростей жидкости;

- радиальная координата изменяется от нуля, расположенного в углу всасывающего трубопровода, и до границы воронки всасывания;

- движение жидкости описывается системой уравнений Эйлера;

- частицы твердой фракции полностью увлекаются жидкостью, то есть гидросмесь рассматривается как однородная жидкость повышенной плотности.

Уравнение Эйлера в сферической системе координат для рассматриваемого объема, а также соответствующие граничные условия, преобразуются к следующему виду [5, 16, 17]:

$$u \frac{\partial u}{\partial r} + \frac{v}{r} \frac{\partial u}{\partial \theta} = \frac{u^2}{r} - \frac{1}{\rho} \frac{\partial p}{\partial r}, \quad (1)$$

$$u \frac{\partial v}{\partial r} + \frac{v}{r} \frac{\partial v}{\partial \theta} = -\frac{uv}{r} - \frac{1}{\rho} \frac{\partial p}{r \partial \theta}, \quad (2)$$

$$\frac{2u}{r} + \frac{\partial u}{\partial r} + \frac{1}{r} \frac{\partial v}{\partial \theta} = \frac{u^2}{r} - \text{ctg} \theta \frac{v}{r}, \quad (3)$$

$$u(r) = u, \quad u(R) = \omega, \quad (4)$$

где u – радиальная составляющая скорости гидросмеси; v – угловая составляющая.

Уравнение Эйлера в сферической системе координат для рассматриваемого объема, а также соответствующие граничные условия, преобразуются к следующему виду [5, 16, 17]:

$$u \frac{\partial u}{\partial r} + \frac{v}{r} \frac{\partial u}{\partial \theta} = \frac{u^2}{r} - \frac{1}{\rho} \frac{\partial p}{\partial r}, \quad (1)$$

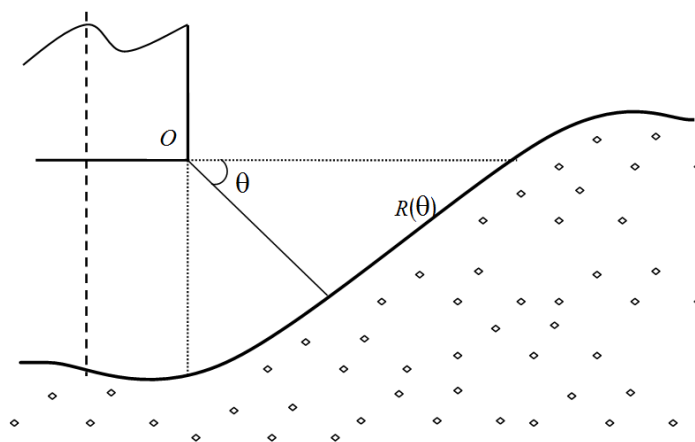


Рис. 1. Схема течения в воронке всасывания грунтозаборного устройства
Fig. 1. Scheme of flow in a suction funnel suction head

$$u \frac{\partial v}{\partial r} + \frac{v}{r} \frac{\partial v}{\partial \theta} = -\frac{uv}{r} - \frac{1}{\rho} \frac{\partial p}{r \partial \theta}, \quad (2)$$

$$\frac{2u}{r} + \frac{\partial u}{\partial r} + \frac{1}{r} \frac{\partial v}{\partial \theta} = \frac{u^2}{r} - \text{ctg}\theta \frac{v}{r}, \quad (3)$$

$$u(r) = u, \quad u(R) = \omega, \quad (4)$$

где u – радиальная составляющая скорости гидросмеси; v – угловая составляющая скорости гидросмеси; p – давление потока гидросмеси; ρ – плотность всасываемой среды; θ – текущая угловая координата; r – текущее значение радиуса; ω – радиальная проекция размывающей скорости [1 – 5]; R – радиус воронки всасывания.

В соответствии с моделью «потенциального вихря», угловая составляющая скорости гидросмеси будет обратно пропорциональна радиусу рассматриваемого сечения [16, 17]:

$$v = w \frac{R}{r}, \quad (5)$$

где w – угловая проекция размывающей скорости.

С использованием формулы (5) нетрудно получить выражения для соответствующих производных от угловой составляющей скорости потока и переписать уравнения (1) – (3) в следующем виде:

$$\frac{w^2}{r^3} R \frac{\partial R}{\partial \theta} = -\frac{1}{\rho} \frac{\partial p}{\partial \theta}, \quad (6)$$

$$u \frac{\partial u}{\partial r} = \frac{w^2 R^2}{r^3} - \frac{1}{\rho} \frac{\partial p}{\partial r}, \quad (7)$$

$$\frac{\partial R}{\partial \theta} = -R \text{ctg}\theta - \frac{2ru}{w} - \frac{r^2}{w} \frac{\partial u}{\partial r}. \quad (8)$$

Учитывая геометрические размеры зоны всасывания [1 – 5], предположим, что изменением давления в радиальном направлении можно пренебречь по сравнению с центробежными силами. С учетом этого

уравнение (7) преобразуется к виду, позволяющему разделить переменные и получить выражение для расчета радиальной составляющей скорости:

$$u = w \sqrt{1 - \left(\frac{R}{r}\right)^2 + \left(\frac{\omega}{w}\right)^2}, \quad (9)$$

Формула (9) позволяет получить выражение для производной от радиальной скорости по радиусу и преобразовать уравнение (8) к виду, допускающему разделение переменных и получению следующего решения:

$$R = C \left| \frac{\sin k\theta}{\sin \theta} \text{tg} k\theta \right|, \quad (10)$$

где C – константа интегрирования; ψ – угол между поверхностью воронки всасывания и вертикалью; k – коэффициент формы воронки, учитывающий отличие формы поверхности воронки всасывания от сферической.

Для определения величины константы интегрирования определим расход через единичное радиальное сечение воронки всасывания:

$$\frac{Q}{\pi D} = w R \ln \left(\frac{2R}{D} \right). \quad (11)$$

После подстановки выражения (10) в формулу (11) для определения величины константы интегрирования получим следующее нелинейное уравнение

$$q = x \ln(x), \quad (12)$$

$$q = \frac{Q}{\pi D^2 w}, \quad (13)$$

$$x = \frac{2C}{D} \left| \sin \frac{k\pi}{2} \text{tg} \frac{k\pi}{2} \right|, \quad (14)$$

где q – безразмерный расход.

Уравнение (12) существенно не линейно и имеет единственное решение, существующее в промежутке $1 < x < e^q$, поиск которого возможен только численными методами, при этом зависимость величины искомого корня от безразмерного расхода в квадратичных координатах с инженерной точностью может быть аппроксимирована линейной функцией (Рис. 2).

Это позволяет получить аналитическое выражение для определения константы интегрирования и записать формулу (10) в таком виде:

$$R = 1,07 \frac{D}{2} \Gamma \left(1 + \frac{\sqrt{q}}{2,54} \right)^2, \quad (15)$$

$$\Gamma = \frac{\left| \frac{\sin k\theta}{\sin \theta} \operatorname{tg} k\theta \right|}{\left| \sin \frac{k\pi}{2} \operatorname{tg} \frac{k\pi}{2} \right|}, \quad (16)$$

где Γ – параметр формы воронки всасывания (Рис. 3).

ОЦЕНКА РАЗМЕРОВ ВОРОНКИ ВСАСЫВАНИЯ

Результаты численного анализа формулы (16) и зависимости Рис. 3, указывают на возможность ее аппроксимации экспоненциальной функцией.

С учетом этого зависимость радиуса воронки всасывания от текущего угла, характеристики трубопровода и параметров процесса добычи, будет описываться следующим выражением:

$$R = \frac{D}{2} \left(1 + \frac{\sqrt{q}}{2,54} \right)^2 \frac{1 - 0,96k}{3,16B} e^{B\theta}, \quad (17)$$

$$B = 7,33 - 14,34k + 9,99k^2. \quad (18)$$

Формулы (17) и (18) позволяют определить максимальную глубину воронки всасывания, которая будет под поперечным сечением всасывающего трубопровода, и максимальный диаметр воронки всасывания, который рассчитывается по ее краю на поверхности разрабатываемой россыпи:

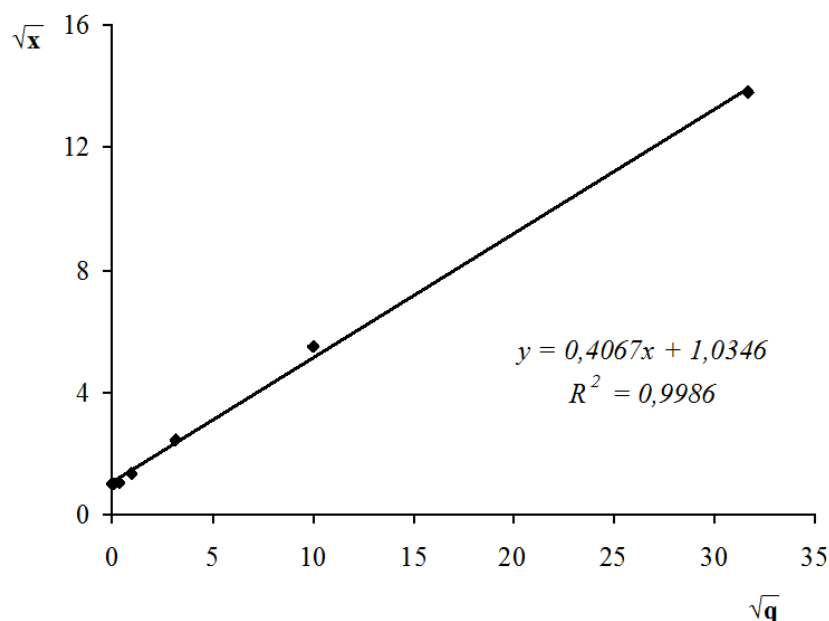


Рис 2. Зависимость корня уравнения (12) от безразмерного расхода в квадратичных координатах

Fig. 2. The dependence of the root of the equation (12) on the dimensionless flow in quadratic coordinates

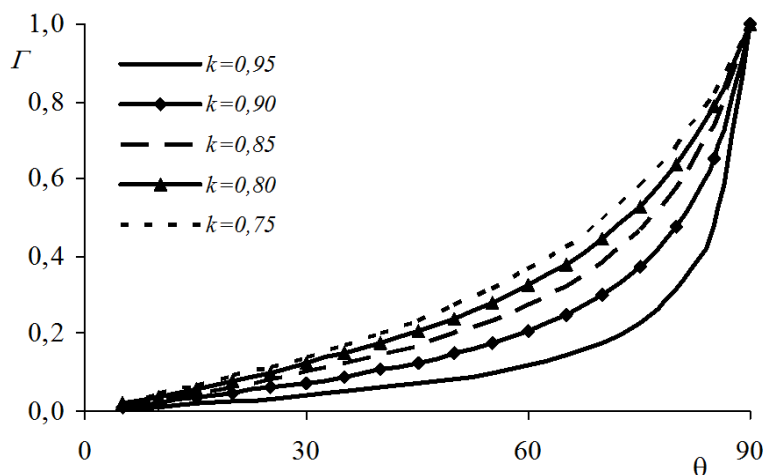


Рис. 3. Зависимость параметра формы воронки всасывания от текущего угла при разных значениях коэффициента формы воронки
Fig. 3. The dependence of the shape parameter suction hopper from the current angle for different values of the coefficient of the funnel shape

$$\frac{H_0}{D} = 0,15 \left(1 - \frac{k}{1,02} \right) \left(1 + \frac{0,394}{D} \sqrt{\frac{Q}{\pi w}} \right)^2, \quad (19)$$

$$\frac{D_0}{D} = 1 + 1,76 \left(1 - \frac{k}{1,19} \right) \left(1 + \frac{0,394}{D} \sqrt{\frac{Q}{\pi w}} \right)^2, \quad (20)$$

где H_0 – максимальная глубина воронки всасывания; D_0 – максимальный диаметр воронки всасывания.

ВЫВОДЫ

Таким образом, с использованием полученных формул становится возможным определить ожидаемые радиус и глубину воронки всасывания в зависимости от производительности установки, диаметра всасывающего трубопровода, а также свойств твердых частиц добываемой россыпи. Это позволяет обосновать периодичность и шаг перемещения добычной установки, а также оценить время разработки месторождения и рациональное количество установок.

ЛИТЕРАТУРА

1. **Нурок Г.А., 1959.** Гидромеханизация горных работ. Москва, Госгортехиздат, 391.
2. **Нурок Г.А., 1985.** Процессы и технологии гидромеханизации открытых горных работ. Москва, Недра, 583.
3. **Нурок Г.А., 1970.** Гидромеханизация открытых разработок. Москва, Недра, 584.
4. **Нурок Г.А., 1965.** Технология и проектирование гидромеханизации горных работ. Москва, Недра, 210.
5. **Франчук В.П., Бондаренко А.А., 2015.** Моделирование подводного забоя, образованного струйным грунтозаборным устройством. Гірничі, будівельні, дорожні та меліоративні машини, Вип.83, 10-17.
6. **Семенов Е.В., 2011.** Научные основы технологий гидромеханизации открытой разработки титан-цирконовых. Киев, Наукова думка, 232.
7. **Юфин А.П., 1965.** Гидромеханизация. Москва, Стройиздат, 496.
8. **Михайлов К.А., 1950.** Гидравлика, гидрология, гидрометрия. Часть I. Москва, ДОРИЗДАТ, 288.
9. **Альтшуль А.Д., 1982.** Гидравлические сопротивления. Москва, Недра, 224.
10. **Курганов А.М., Федоров Н.Ф., 1973.** Справочник по гидравлическим расчетам систем водоснабжения и канализации.

- Ленинград, Стройиздат, 408.
11. **Криль С.И., 1990.** Напорные взвешенные потоки. Киев, Наукова думка, 170.
 12. **Блюсс Б.А., Головач Н.А., 1999.** Совершенствование технологий предобогащения ильменитовых руд. Днепропетровск, Полиграфист, 126.
 13. **Великанов М.А., 1958.** Руслевой процесс. Москва, Гостехиздат, 204.
 14. **Маккаев Н.И., Чалов Р.С., 1986.** Руслевые процессы. Москва, Изд-во МГУ, 264.
 15. **Маккаев В.М., 1931.** К теории турбулентного режима взвешивания наносов. Изв. ГПИ, Вып.32, 17-23.
 16. **Медведева О.А., 2012.** Хвостохранилища Кривбасса, проблемы и особенности их эксплуатации. Днепропетровск, Геотехническая механика, Вып.103, 279-285
 17. **Франчук В., Бондаренко А., 2015.** Математическая модель движения несущего потока в классификаторе гидравлическом горизонтальном горизонтальном. Підводні технології, Вип.02, 24-32.
 10. **Kurganov A.M., Fedorov N.F., 1973.** Spravochnik po gidravlicheskim raschetam sistem vodosnabzhenija i kanalizacii. Leningrad, Gostekhizdat, 408 (in Russian).
 11. **Kril' S.I., 1990. A.D., 1954.** Napornye vzvsesushhie potoki. Kiev, Naukova dumka, 170 (in Russian).
 12. **Bljuss B.A., Golovach N.A., 1999.** Sovershenstvovanie tehnologij predobogashhenija il'menitovyh rud. Dnepropetrovsk, Poligrafist, 126 (in Russian).
 13. **Velikanov A.D., 1958.** Ruslovoj process. Gostekhizdat, Moscow, 204 (in Russian).
 14. **Makkaveev N.I., Chalov R.S., 1986.** Ruslovyje processy. Moscow, MGU, 264 (in Russian).
 15. **Makkaveev V.M., 1931.** K teorii turbulentnogo rezhima vzveshivaniya nanosov. Izvestiya GPI, 17-23 (in Russian).
 16. **Medvedeva O.A., 2012.** Hvostohranilishha Krivbassa, problemy i osobennosti ih jekspluatacii. Dnepropetrovsk, Geotekhnicheskaya Mekhanika, Vol.103, 279-285 (in Russian).
 17. **Franchuk V., Bondarenko, A., 2015.** Matematycheskaja model' dvyzhenija nesushhego potoka v klassyfykatore gydravlycheskom goryzontal'nom goryzontal'nom., Underwater technologies, Vol.02, 24-32 (in Ukrainian).

REFERENCES

1. **Nurok G.A., 1959.** Gidromehanizacija gomyh rabot. Moscow, Gosgortekhizdat, 391 (in Russian).
2. **Nurok G.A., 1985.** Processy i tehnologii gidromehanizacii otkrytyh gomyh rabot. Moscow, Nedra, 583 (in Russian).
3. **Nurok, G.A., 1970.** Gidromekhanizatsyya otkrytykh razrabotjk. Moscow, Nedra, 584 (in Russian).
4. **Nurok G.A., 1959.** Tehnologija i proektirovanie gidromehanizacii gomyh rabot. Moscow, Nedra, 210 (in Russian).
5. **Franchuk V.P., Bondarenko, A.A., 2015.** Modelyrovanye podvodnogo zaboja, obrazovannogo strujnym gruntozabornym ustrojstvom., Mining, construction, road and agricultural machines, Vol.83, 10-17 (in Ukrainian).
6. **Semenenko E.V., 2011.** Nauchnye osnovy tehnologij gidromehanizacii otkrytoj razrabotki titan-cirkonovyh. Kiev, Naukova dumka, 232 (in Russian).
7. **Yufin A.P., 1965.** Gidromehanizacija. Moscow, Gosstroyizdat, 496 (in Russian).
8. **Mikhaylov K.A., 1950.** Gidravlika, gidrologija, gidrometrija. Part 1, Moscow, DORIZDAT, 288 (in Russian).
9. **Al'tshul' A.D., 1982.** Gidravlicheskie

Determining the size of the suction funnel for underwater placer mining technology

Olga Medvedeva

Institute of Geotechnical Mechanics under the NAS of Ukraine, Street Simferopol'skaya, 2A, Dnepropetrovsk, Ukraine, 49005
 Olya-1702@yandex.ua
 orcid.org/0000-0001-5575-713X

Summary. The studies found that the use of hydraulic transport pipeline is considered to be the most promising for the development of primary and secondary industrial placers from the water layer. The theoretical study of flow processes in the area under consideration, even though they are essentially based on the experimental constants and used unjustified assumptions. The paper presents

theoretical estimates of the size of the suction funnel. They first take into account the productivity of the plant, the diameter of the suction pipe, as well as the properties of the solid particles produced placer. The paper is considered as homogeneous slurry of higher density liquid. The article scientifically based model of the flow in the intake area of the dredge device. These

dependencies allow to justify the frequency and step movement of the mining installation, as well as to estimate the time of field development and management of the number of installations.

Key words: suction funnel, erosion radius, soil-device.

Підводна урбаністика: питання та відповіді сучасності

Людмила Рубан

Київський національний університет будівництва і архітектури
Повітрофлотський просп, 31, Київ, Україна, 03037
knuba.landscape@gmail.com, I_Ruban@knuba.edu.ua, orcid.org/0000-0002-5973-4362

Анотація. Стаття присвячена причинам виникнення зацікавленості підводною урбаністикою та відповідям на питання сучасності міжнародною архітектурно-будівельною та інженерною думкою.

В роботі вода розглянута як середовище існування людини в її трьох можливих агрегатних станах - як рідини, криги та пари. Головна увага приділена морським екосистемам та їх можливому подальшому освоєнню у XXI столітті. Також розглянуто проживання в умовах вічної мерзлоти, де вода існує в своєму твердому стані в якості криги та снігу. Та виявлені напрями використання пароподібного стану води в сучасній архітектурі та мистецтві.

Розглянуто ключові пропозиції щодо можливого планування підводних та надводних поселень, проведено аналіз міжнародного проектного досвіду за останні п'ять років, систематизовано науково-проектний матеріал, запропоновано класифікацію поселень на воді тощо.

Проведений аналіз міжнародного досвіду проектування нових міст у водному середовищі висвітлює нові підходи та сучасні інженерно-технологічні рішення, розкриваючи потенціал морських екосистем для майбутнього освоєння.

Ключові слова: підводна урбаністика, морські екосистеми, місто на воді, три фізичні стани води: лід, рідина, пара; території вічної мерзлоти, стійкий розвиток.

ВСТУП

Виникнення та розвиток людства на планеті органічно пов'язано з водним середовищем. Освоєння водного середовища

має свої коріння та традиції, але й, водночас, має величезний потенціал для майбутнього. Стійкість зв'язку між людством та водним середовищем простежується в наш час і набуває нових напрямків свого подальшого розвитку. Все частіше піднімаються питання щодо впровадження наукових інновацій в справі пошуку способів вирішення проблеми підвищення рівня моря та наслідків зміни клімату. Сьогодні напрому постає питання перевірки та тестування майбутнього планування наших міст відносно взаємодії з водним оточенням. Яким чином ми будемо розбудовувати урбанізовані центри у майбутньому, маючи обмеження нашої планетарної екосистеми? Потрібно вже сьогодні вибудувати головні принципи політики підтримуючих відношень з найбільшми екосистемами планети – водними.

Отже, актуальність дослідження пов'язано з наступними фактами.

- Вода є одним з найбільш розповсюджених природних елементів на планеті. Існування водних екосистем, та й біосфери в цілому, повністю залежить від унікальних властивостей води як одного з головних мінералів Землі [1]. Водні екосистеми складають більшу частину біосфери, займають приблизно 71% поверхні Землі, а океани продукують більше 50% земного кисню. Як один із життєво найважливіших елементів, вода завжди грала значну роль в житті людини.

- Один із важливих аспектів проблеми змін клімату планети безпосередньо

пов'язаний з водним середовищем. В 20 сторіччі загальний підйом рівня світового океану склав лише десять сантиметрів, та теперішньому сторіччю прогнозують п'ятдесят [2]. Згідно прогнозам Міжурядової групи еволюції клімату, в зоні затоплення можуть опинитися близько 25 мільйонів мешканців нашої планети, що проживають в районах вздовж узбережжя [3]. В зв'язку із змінами клімату острівні країни та країни, що мають велику прибережну границю, знаходяться в зоні ризику затоплення територій океанськими водами та повинні виробити політику адаптації до кліматичних змін.

- Людство завдяки сучасному розвитку технологій та виникнення нових матеріалів впритул підійшло до можливості успішної реалізації амбіційних проєктів автономного розселення на воді [4]. По світу вже побудовано чимало споруд під водою, зокрема готелі, трубопроводи, тунелі, біостанції вирощення водоростей тощо. Такі проєкти реалізовано в Англії, Сінгапурі, Японії, Італії, Китаї, Америці, ОАЕ, Фіджі тощо.

МЕТА ТА МЕТОДИ ДОСЛІДЖЕННЯ

Мета нашого дослідження – вивчити можливі напрями містобудівного освоєння водних ландшафтів, розкрити потенціал морських екосистем для майбутнього урбаністичного освоєння на основі гармонійного співіснування людини та океану.

Методи дослідження – порівняльний аналіз сучасного міжнародного проєктного досвіду міських поселень на воді, систематизація зібраного науково-проєктного матеріалу та інших вихідних даних; класифікація даних поселень у водному оточенні. Методологічний авторський підхід щодо проведення дослідження з позиції розгляду трьох можливих агрегатних фізичних станів води дозволяє значно розширити межі самого дослідження, підійти до проблеми більш комплексно та зрозуміти системність питання.

ПІДВОДНА УРБАНІСТИКА: ТЕРМІН ТА ВИЗНАЧЕННЯ ПРІОРИТЕТІВ

Посилаючись на визначення «урбаністики» у електронній енциклопедії [5], автор пропонує розглядати термін «підводна (або, відповідно, водна) урбаністика» в даній роботі як напрям містобудівного та економіко-географічного дослідження, що займається комплексним аналізом та вивченням проблем, пов'язаних з функціонуванням та розвитком міських поселень у водному середовищі. Найбільш затребуваними в цьому питанні є морські екосистеми.

СТІЙКІСТЬ СЕРЕДОВИЩА ІСНУВАННЯ В ХХІ СТОЛІТТІ: ВОДНЕ ОТОЧЕННЯ

Водне середовище: три фізичні стани води

Вода є єдиною речовиною на Землі, що існує в природі в усіх трьох агрегатних станах – рідкому, твердому та газоподібному (вода, лід, пара). Власне ці три стани стануть відправною точкою нашого дослідження. Існування води як рідини найбільш розповсюджено, отже цьому стану буде приділено головну увагу. Вивчення середовища проживання в умовах вічної мерзлоти (для твердого стану існування води) або впливу пари на сучасну архітектуру істотно розширить межі сприйняття проблеми та шляхи її вирішення. Такий методологічний підхід автора був представлений у доповідях на міжнародних науково-практичних конференціях: міжнародній конференції 1st World Multi-Conference on Intelligent Building Technologies & Multimedia Management IBTMM 2013 (Poland, Krakow, 16-18 жовтня 2013 р.) [6, 7]; XIV Международной конференции «Новые идеи для нового века» (Тихоокеанский государственный университет, Хабаровск, 25-27 февраля 2014 г.) [8]; 2-ї щорічній Міжнародній конференції з архітектури та громадянського будівництва ACE 2014 (Singapore, 24-25

березня, 2014 р.), де отримано диплом за краще дослідження – Best Research Paper (разом із проф. Куц С., Польща) [9, 10].

Водне середовище існування: вода як рідина

Найбільш традиційний стан сприйняття води – це її існування в якості рідини. Увага спеціалістів повернута до морських екосистем планети як найбільш затребуваних та перспективних.

До аналізу було обрано 8 проектів зі всього світу, що були розроблені або адоптовані за останні 5 років.

Систематизацію зібраних матеріалів щодо обраних проектів було проведено з визначенням наступних даних: країна, авторський колектив, рік проектування; розмір поселення та кількість мешканців; функціональне призначення; планувальні, конструктивні та інших проектні особливості; фактори стійкості («sustainability»), в окремих випадках – заплановані строки реалізації.

Всі проекти тією чи іншою мірою спрямовані на розвиток *концепції стійкого проживання в водних умовах*, що передбачає розробку альтернативних джерел енергопостачання, вивчення морських та океанських глибин, самодостатність поселень, самозабезпеченість продуктами харчування, вирішення питань дихання, очищення океанських вод, розвиток технологій та еконо-

мічного зростання цих урбанізованих поселень на воді або під нею тощо.

Проект плавучого міста Harvest City від архітектора Е. Kevin Schopfer сумісно з фірмою Tangram 3DS було розроблено наприкінці 2010 року [11]. Проект розроблявся для подолання наслідків руйнівного землетрусу 2010 року на острові Гаїті. В основі створення та планування *Harvest City* лежать три головні концепції: створення додаткової, автономної, плаваючої, самодастатньої території для проживання, так необхідної для Гаїті; планування на базі принципу Arcology (архітектури та екології), який втілює в собі екологічно стійку і практичну містобудівну платформу; заснування та розвиток міста за теорією чартерних міст [11].

Місто розраховано на 30 000 мешканців та займає водну поверхню діаметром майже у 2 милі (Рис.1). Загальне планування міста розподілене на чотири зони, що з'єднуються між собою за допомогою системи вузьких прямих каналів. За проектом штучні плаваючі модулі скріплюються між собою і об'єднуються навколо внутрішньої «гавані» з центром міста, школами, адміністративними та громадськими будинками, а також загальним ринком. Висота забудови житлових кварталів дорівнює 4 поверхам. На околицях островів запроєктовані сільськогосподарські угіддя. Можливі урагани та тайфуни матимуть мінімальний вплив на



Рис. 1. Проект плавучого міста Harvest City, архітектор Е. Kevin Schopfer спільно з фірмою Tangram 3DS, Гаїті, 2010

Fig. 1. Harvest City, by arch. E. Kevin Schopfer & Tangram 3DS, Republic of Haiti, 2010

плаваючу конструкцію міста завдяки «низькому» профілю всієї забудови (не вище 4 поверхів), її невисокій вантажопідйомності та пригнічувачам хвиль, розташованим по периметру конструкції. Хвилерізи будуть сконструйовані таким чином, щоб додати стабільності місту.

Harvest City мав бути першим плаваючим містом на Гаїті. [11]. Відкрита система плавучих платформ дуже мобільна в своєму плануванні: дозволяла збільшити розміри поселення, з'єднатися з іншими майбутніми містами в гавані тощо.

Проект органічних міст для Об'єднаних Арабських Еміратів від Luca Cusi Architects був розроблений у 2010-2013 рр. [12]. Це комплекс органічних будівель на суші та три «місяця» різних за розмірами на воді для 150 000 мешканців. Водні «місяці» трактуються як штучні острови, деякі з яких поєднанні між собою та сушею автошляхами та зеленими зонами, а до інших можна дістатися виключно водним або авіа транспортом. Функціональне різноманіття вражає: житлові апартаменти, готелі, офіси, магазини, фітнес-клуби, салони краси, спа-центри, зали культури, спортивні будівлі тощо. Три комплекси на воді запроєктовані під різне житло: у великому «місяці» розташуються резиденції, апартаменти та готель, у середньому – тільки готелі, у малому – виключно приватні резиденції. Кожна

будівля проекту трактується як екологічно чиста, й такі будівлі стають частиною сучасних мегаполісів узбережжя. Будівельні матеріали, технології – не вказані, як і строки реалізації.

Проект науково-дослідної станції «Океанська спіраль» з житловим комплексом було розроблено у 2013 році провідною будівельною компанією Shimizu, Японія [13], Рис.2. Комплекс розрахований на 5000 мешканців. В ньому передбачається поєднання декількох функцій: науково-дослідної, житлової, торговельної, готельної тощо. Верхня частина комплексу занурена у воду, нижня частина спіральної структури достає до дна океану (див. Рис. 2). Загальна довжина спіральної конструкції складає 4 км або 2,5 милі. Спіральні структури будуть зроблені з полімерних компонентів за допомогою промислових 3D-принтерів. В проекті також передбачено нові заходи видобутку енергії за рахунок температурних коливань води. Строки реалізації – до 2030 року.

Наступний проект *Lilypad Floating City*, позиціонований автором як «плавучий екополіс для кліматичних біженців» (2008 р), адаптовано для умов Дубаю у 2014 році. Його автор французький архітектор бельгійського походження Vincent Callebaut [2, 3, 14, С.208].

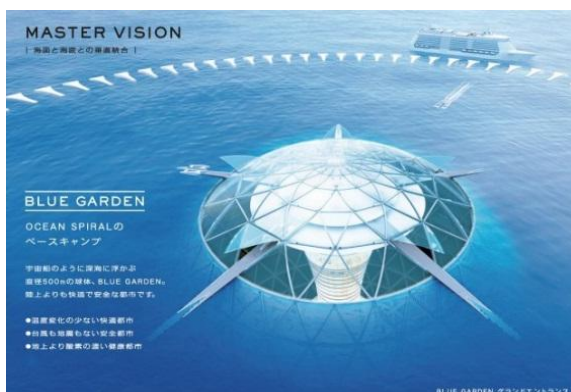


Рис. 2. Проект науково-дослідної станції «Океанська спіраль» з житловим комплексом, будівельна компанія Shimizu, Японія, 2013

Fig. 2. The research station "Ocean spiral" with apartment complex, by the construction company Shimizu, Japan, 2013

Це експериментальний зразок самодостатнього земноводного міста. Площа кожної плаваючої платформи у формі квітки лілії дорівнюється 500 000 м². Місто розраховано на 50 000 мешканців. Центром платформи Līlurad буде прісноводна лагуна з подвійною функцією. В ній збиратиметься для очищення дощова вода. Водночас лагуна буде слугувати стабілізуючим баластом плаваючої платформи, весь об'єм якої знаходиться нижче за рівень води [3]. Планування міста на воді засновано на трьох пристанях для яхт та трьох висотних будівельних об'ємів для бізнесу та розваг. Місто використовуватиме всі інженерні та технічні рішення в стилі екологічної безпеки [2]. «Зелені» рішення представлені: використанням сонячних батарей, енергії вітру і припливів, енергії біомаси Землі, збором і переробкою дощової води, очищенням води тощо. Весь вуглець і непотрібні продукти будуть перероблятися. Місто проектується як самодостатнє, з нульовим впливом на оточення. Конструкція зовнішніх огорожувальних стін планується з високоміцного поліефірного волокна, вкритого шаром діоксиду титану. Дах критий фотоелементами сонячних панелей [2]. Інвестори з Об'єднаних Арабських Еміратів покладають на цей проект надії з точки зору туризму. За думкою архітектора, проект може бути реалізований не раніше 2058 року [3].



Проект плаваючої океанської метрополії, який розробляється спеціалістами China Communications Construction Company (CCCC-FHDI) в соавторстві з архітектурним бюро AT Design Office, був представлений у 2014 році у Китаї [15, 16], Рис.3. Концептуальний проект розроблено для довгострокового автономного проживання у океанських водах. Це структура з об'єднаних плаваючих гексагональних модулів загальною площею 10,36 км² [16]. Проектна чисельність населення точно не вказана. В плані конфігурація поселення, що складається з окремих збірних гексагональних модулів розмірами 150 метрів на 30, може бути на основі рівностороннього трикутника та п'ятикутника (див. Рис. 3). Проектом передбачені житлова, комерційна та розважальна зони, що розташуються на різних рівнях, як над водою так й під нею. Велика за площею територія буде віддана під зелені насадження, які теж розташуються на різних рівнях. Так, громадський зелений пояс на поверхні води може забезпечити суспільний простір для спорту та відпочинку в оточенні свіжого повітря. Підводний зелений пояс може використовуватися для рекреаційних турів.

Транспортне сполучення між модулями буде здійснено через розгалужену мережу підводних тунелів та надводних тротуарів [16]. До віддалених модулів можна буде добратися на підводних човнах або яхтах.

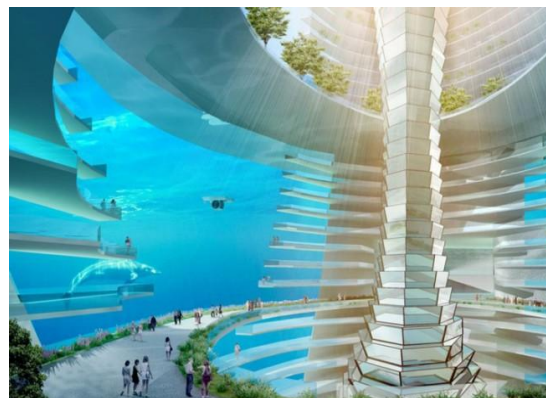


Рис. 3. Проект міста на воді, China Communications Construction Company (CCCC-FHDI) & AT Design Office, Китай, 2014

Fig. 3. Entitled Floating City, by China Communications Construction Company (CCCC-FHDI) & AT Design Office, China, 2014

Крім того, також планується будівництво магістралі наземного транспорту на електричній тязі.

Місто буде повністю самодостатнім, з нульовим викидом вуглецю, з низьким енергоспоживанням. На острові розташуються вертикальні сади та ферми для тварин, які забезпечують мешканців всім необхідним об'ємом їжі. Енергія для острова буде добуватися в процесі екологічного перероблення відходів.

Реалізувати цей проект планується за допомогою тих самих технологій, що використовуються зараз СССС-FHDI при будівництві 31-мильного мосту між містами Гонконгу, Макао і Чжухай: із штучними островами та підводними тунелями [15]. Інвестиційна фірма China Transport Investment Co анонсувала, що має наміри найближчим часом приступити до будівництва окремого модуля зменшених розмірів для тестування.

Великий інтерес представляють проекти, що спрямовані на очищення океанських вод, наприклад *проект водного міста Aequorea* для Ріо де Жанейро в Бразилії, що був розроблений у 2015 році архітектором Vincent Callebaut (автором концепції *Lilypad*, розглянутої вище) [17], Рис.4. Для проживання 20 000 мешканців запропоновано створення 1000 веж діаметром 500 м кожна. Головне призначення – очищення океанських вод від пластикового сміття, дослідження мор-

ських глибин з медичними цілями тощо. В проекті також закладено можливість його побудови за допомогою 3D друку з вилонених у океані пластикових відходів. Виробництво харчових продуктів передбачено на фермах з вирощування водоростей, планктону і молюсків, а сади і городи запроєктовані на вершині раковини-подібних надводних структур. Транспортна система буде живитися також за рахунок водоростей і рослин. Будуть використовуватися нові поновлювані джерела енергії. Як новий інноваційний матеріал буде використано *alginoplast*, винайдений композитний матеріал, що виготовляється з водоростей і сміття. Строки реалізації – не вказані.

На архітектурному бієнале 2015 року у Чикаго – Chicago Architecture Biennial 2015 – представлено *концептуальний проект міста на воді 3-C, CITY: Climate, Convention, and Cruise* від американського авторського тандему WORKac and Ant Farm design [18]. Головна мета проекту полягає у створенні плавучого міста як дослідницької лабораторії, конференц-центру та «провідника ідей», яке не обмежене будь-якими границями та слугує для вільного спілкування між людьми й обговорення важливих питань сучасності. Отже, проект не був прив'язаний до жодного географічного пункту.



Рис. 4. Проект міста на воді Aequorea, архітектор Vincent Callebaut, Бразилія, 2015

Fig. 4. Floating City Aequorea, by architect Vincent Callebaut, Brazil, 2015

Планування міста передбачає наступне. Його наріжний периметр створений за допомогою надувних конструкцій, що призначені для житлових функцій, в якому також присутні великі вертикальні об'єми для «колективної активності», де можуть розміщатися їдальні, зали тощо. Внутрішня частина міського простору призначена для громадських функцій та віддана для відкритого спілкування людей з морськими тваринами – дельфінами та китами.

Представлений виключно як ідея між людського спілкування, проект не містив в собі якихось більш детальних інженерно-технічних рішень та конкретних цифр.

Наприкінці 2015 року був представлено *проект майбутнього розвитку Токіо* на воді від Kohn Pedersen Fox and Leslie E. Robertson Associates [19]. Даний проект було розроблено у відповідь на передбачені зміни клімату та виклики екологічної уразливості територій. Розраховане на 55 000 мешканців, місто на воді має стільникову мережу гексагональних лагун зі змішаними комерційними, промисловими і туристичними функціями, яка також служитиме для руйнування хвиль і виступатиме в якості тимчасового бар'єру від повеней під час штормових припливів. Композиційним центром стане житлова вежа в мілью заввишки (1,6 км), яка сама по собі є збірником найновіших технологічних досягнень висотного будівництва сучасності: форма вежі розроблена за допомогою аеродинамічного модельного експериментування, фасадна поверхня розчленована з урахуванням збору дошової води, унікальна система ліфтів, яка використовує недавно розроблену технологію магнітної левітації тощо. Рішення для енергозабезпечення міста включатимуть використання: кінетичної енергії від руху поїздів через бухту, сонячної енергії від фотоелементів та енергії вітру, отриманою за допомогою мікротурбін верхніх поверхів головної вежі тощо. Строки реалізації анонсовані до 2045 року. Компанія розробник проекту вже має досвід возведення хмарочосу Lotte World Tower висотою понад 555 м у Сеулі в Південній

Кореї, завершення якого планується у 2015 році.

Середовище існування: вічна мерзлота

Переходячи до твердого стану існування води у вигляді снігу та криги слід зауважити, що освоєння просторів вічної мерзлоти планети в світі кліматичних змін набуло неймовірної актуальності [7, 8, 10]. Стійкість розвитку цих територій доведено реалізованими у різних країнах за останні роки архітектурно-містобудівних проектів, яким іноді передували адміністративно-соціальні зміни статусу самих територій.

Спектр проектів, що розробляються та реалізуються, дуже широкий: від окремої північної мобільної станції, стаціонарного житла, комплексу споруд, транспортної інфраструктури місцевості до планування як окремих північних поселень, так і значного регіону цілком.

Одним з яскравих прикладів освоєння льодовиків було будівництво в 2008 році урядом Норвегії незвичайного і з архітектурної, і з цільової точки зору споруди – Всесвітнього банку – зерносховища в 1000 км від північного полюса, в умовах вічної мерзлоти Шпіцбергена [7, 8, 10, 20]. Сховище розташоване в надрах скелі, на 120-метровій глибині, і на висоті 130 м над рівнем моря, де підтримується постійна температура $-18\text{ }^{\circ}\text{C}$ [20]. Кожна країна безкоштовно має в сховище власний відсік для насінневого фонду. Зерносховище розраховане на ємність 4,5 мільйона зразків насіння. Станом на 2015 рік зберігається 840 000 зразків насіння зі всього світу. (Зразок насіння складається з близько 500 насіння, запечатаних в герметичному алюмінієвому мішку) [20].

Території вічної мерзлоти стають місцем проведення культурних і спортивних заходів. У грудні 2013 року в Арктиці відбувся концерт рок групи Металіка. Марафонський забіг The Polar Circle Marathon в Гренландії проводиться щорічно, інший марафон North Pole Marathon проводиться на місцезнаходженні географічного Північно-

го Полюсу, тому потрапив в Книгу рекордів Гіннеса як найпівнічніший. На Південному полюсі також проводиться Антарктичний марафон [7, 8].

Це питання вкрай широке й потребує освітлення окремою публікацією.

Середовище перебування: пара

Активне використання пари в архітектурі, в силу його розрядженого фізичного стану, вимагає індивідуального підходу, набуває особливих вимог та швидше відноситься до перспектив майбутнього.

Сьогодні затребувані два напрями.

Перший, перевірений століттями, це розвиток індустрії спа-центрів, де традиційно використовується пара. Це історичний досвід багатьох країн світу: від давніх римських терм та традиційних турецьких вологих парних – хамамів до найсучасніших спа-центрів, в яких використанні природні джерела пари як то гейзери або термальні води. Навіть у північній Ісландії, є найвідоміший у світі геотермальний спа-комплекс Blue Lagoon [21].

Інший напрям стосується мистецтва. Сьогодні, у більшості випадків, пароподібний стан води активно використовується архітекторами, художниками і скульпторами, як середовище арт-інсталяцій [7, 8, 10].

ДО ПИТАННЯ КЛАСИФІКАЦІЇ ПОСЕЛЕНЬ У ВОДНОМУ СЕРЕДОВИЩІ

В науковій літературі можна знайти різні підходи до вивчення міст у водному оточенні. Один із них щодо виділення типів об'ємно-планувальних взаємодій води та урбанізованих структур як то підводне або водне місто представлено в статті Лесник О. [22].

Проведений аналіз проектних пропозицій щодо поселень на воді дає змогу виявити головні тенденції розвитку даного напрямку у близькому майбутньому. Також він дозволяє провести класифікацію міст на

воді, концепції яких були розроблені та запропоновані останніми роками.

Проекти урбанізованого освоєння водного середовища, на думку автора, потрібно класифікувати:

- за структурою: одночастинний, двочастинний, полічастинний (підводний, надводний тощо);

- за мобільністю (або можливістю пересування): стаціонарний, мобільний;

- за зв'язком із сушею: пов'язаний, автономний;

- за функціональною спрямованістю: монофункціональний, поліфункціональний;

- за масштабом поселення: індивідуальна будівля, комплекс споруд, місто на воді тощо;

- за принципом енергопостачання та екологічними факторами: самодостатній, частково достатній, залежний;

- за строками реалізації: концептуальний, проектний, частково реалізований, реалізований.

Класифікація може бути розширена за допомогою інших показників, наприклад, врахування структурних вертикальних зв'язків поселення «поверхня – дно океану», рівень впливу поселення на оточуюче середовище тощо.

ВИСНОВКИ

1. Стійкий розвиток середовища існування людини у 21 столітті напряму пов'язаний з подальшим засвоєнням природних водних екосистем, сучасними напрямами використання потенціалу водних об'єктів та застосуванням нових технологій на шляху до впровадження *концепції стійкого проживання в водних умовах*.

2. Вивчення водного оточення як середовища існування людини є актуальним питанням для містобудівників, ландшафтних архітекторів, екологів, гідро-інженерів та інших спеціалістів. Проживання у водному середовищі викликало зацікавленість не одного покоління архітекторів, про що свідчать футуристичні проекти міст на воді 60 – 70 років минулого століття, проекти на

зламів століть та сучасні проекти останніх 5 років, аналізу яких присвячена дана публікація.

3. В світі склалися передумови для розробки таких проектів, а саме необхідність адаптації до кліматичних змін, захист урбанізованих територій, демографічна ситуація в країнах, стрімкий розвиток урбанізації, виклики часу щодо захисту планетарної екосистеми тощо. Вирішення багатьох з них органічно пов'язане з освоєнням водного середовища.

4. Готовність будівельного ринку к таким викликам – наявність технологій, будівельних матеріалів, інженерно-проектних рішень та досвіду реалізації окремих проектів у світі.

5. В роботі вода розглянута як середовище існування людини в її трьох можливих агрегатних станах - як рідини, криги та пари. Головна увага приділена дослідженню міст на воді, де вода представлена в якості рідини, як найбільш розповсюдженному природному стану її існування на планеті та звичайному, традиційному для сприйняття людиною. Морські екосистеми планети розглядаються як найбільш затребуваних та перспективних. Також розглянуто проживання в умовах вічної мерзлоти, де вода існує в своєму твердому стані в якості криги та снігу. Та виявлені напрями використання пароподібного стану води в сучасній архітектурі та мистецтві.

6. Проведений порівняльний аналіз 8 концептуальних проектів щодо поселень на воді, розроблених за останні 5 років, показав, що кожний проект тією чи іншою мірою спрямовано на розвиток *концепції стійкого проживання у водних умовах*, а саме: розробку альтернативних джерел енергопостачання, вивчення морських та океанських глибин, самодостатність поселень, очищення океанських вод, нульовий вплив на природне оточення, розвиток інноваційних технологій, нових матеріалів тощо з метою досягнення стійкого економічного зростання цих урбанізованих поселень на воді або під нею.

7. Запропоновано класифікацію поселень на воді: за структурою, за мобільністю,

за зв'язком із сушею, за функціональною спрямованістю, за масштабом поселення, за принципом енергопостачання та екологічними факторами, за строками реалізації тощо.

8. Майбутнє підводної урбаністики бачиться у *паритетному співіснуванні людства та водної екосистеми*. Нові поселення мають бути запланованими таким чином, щоб найважливіші соціальні та середовищні умови були поліпшені та могли б забезпечити краще життя у XXI столітті. Нульовий вплив на водне середовище, покращення здоров'я та соціальних умов людського проживання мають бути в центрі уваги нових урбаністичних проектів та розробок. До 2100 року, вважають інженери, в таких містах могло б проживати до 250 мільйонів чоловік.

9. Можливо дискутувати окремі питання існування в умовах стійкого морозу, але території вічної мерзлоти отримали сьогодні стійкий розвиток й потребують його в майбутньому. Це території із особливим статусом – транснаціональним. Вони перестали бути суто для місцевих народностей, вони відкриваються для всього населення планети, хто полюбає екстремальні умови життя та праці.

10. Існування води в якості пари найбільш складне, в силу її існування у розрідженому вигляді, та його активне використання в архітектурі йде за двома напрямками: традиційному – це індустрія спавідпочинку та креативному – використання в чисельних арт-інсталяціях у світі. Сьогодні на ринку затребувані з різних позицій та в різній мірі всі три стани води, як показало проведене дослідження.

ЛІТЕРАТУРА

1. **Світ енциклопедій**. Природокористування. Водна екосистема. <http://gx3000.ru/prirodokoristuvannja/vodna-ekosistema.html>. Переглянуто 21.02.2016.
2. **Заводсков С., 2014**. Lilypad плаваючий город в Дубає. <http://uae-dubai.ru/uae-blogs/article/lilypad-plavayuschiy-gorod-v-dubae>. Переглянуто 22.02.2016.

3. **Французский** архитектор придумал плавучие города для климатических беженцев, **2008**. <http://reality.newsru.com/article/23Jun2008/lily>. Переглянуто 23.02.2016.
4. **Сукач М., 2015**. Перша міжнародна науково-практична конференція «Підводні технології, 2015». Підводні технології. Промислова та цивільна інженерія, Вип.1, 3-12.
5. **Урбанистика**. <http://ru.wikipedia.org/wiki/Урбанистика>. Переглянуто 21.02.2016.
6. **Ruban L., 2013**. Recent Trends in the Use of Water in Modern Architecture: New Approaches to Space Modeling. 1st World Milti_Conference on Intelligent Building Technologies & Multimedia Management, 10th International Conference New Building Technologies and Architectural Design, NBTAD 2013, Krakow, Abstracts, 86.
7. **Ruban L., 2014**. Three States of Water: How Technology Makes Water a Construction Material. Technical transactions, Architecture. Cracow: Politechnika Krakowska, Issue 8-A, 27-37.
8. **Рубан Л.И., 2014**. Новые направления использования воды в архитектурно-ландшафтной практике современности. Новые идеи нового века – 2014. Материалы 14-й Междунар. науч. конф. = The new Ideas of New Century – 2014: The Fourteenth International Scientific Conference Proceedings: в 3 т. Тихоокеан. гос. ун-т. Хабаровск, Изд-во Тихоокеан. гос. ун-та. 3 т., 160-166.
9. **Kuc S., Ruban L., 2014**. Water as the Factor of Techno-creation. Proceedings of a 2nd Annual International Conference of Architecture and Civil Engineering (ACE-2014), ISSN: 2301-394X, published and organized by Global Science and Technology Forum (GSTF), Singapore, 50-54. (Best Paper Awards ACE 2014).
10. **Kuc S., Ruban L., 2014**. Contemporary Water Landscapes. Trends, Issues and Techno-creation. GSTF Journal of Engineering Technology (JET), ISSN: 2251-3701, Vol. 3, N 1, DOI: 10.5176/2251-3701_3.1.116, 96-105.
11. **Lomholt Is., 2010**. Harvest City Haiti, Caribbean, 'A Concept to Recovery'. <http://www.e-architect.co.uk/haiti/harvest-city-haiti>. Переглянуто 21.02.2016.
12. **Горшкова Д., 2013**. Органические города: проект Luca Curci Architects в ОАЭ. <https://www.buro247.ru/lifestyle/design/organicheskie-goroda-proekt-luca-curci-architects.html>. Переглянуто 22.02.2016.
13. **Frearson A., 2014**. Spiralling underwater cities could make oceans inhabitable by 2030. <http://www.dezeen.com/2014/11/26/ocean-spiral-underwater-cities-shimizu-corporation>. Переглянуто 23.02.2016.
14. **Плешкановская А.М., Савченко Е.Д., 2011**. Города и эпохи. К., Институт урбанистики, 230.
15. **Скрипин В., 2014**. Китайцы планируют использовать для построения городов будущего поверхность Земли, покрытую водой. <http://itc.ua/news/kitaytsyi-planiruyut-ispolzovat-dlya-postroeniya-gorodov-budushhego-pooverhnost-zemli-pokrytuyu-vodoy>. Переглянуто 22.02.2016.
16. **Frearson A., 2014**. Floating City concept by AT Design Office features underwater roads and submarines. <http://www.dezeen.com/2014/05/13/floating-city-at-design-office>. Переглянуто 21.02.2016.
17. **Mairs J., 2015**. Vincent Callebaut proposes underwater "oceanscrapers" made from 3D-printed rubbish. <http://www.dezeen.com/2015/12/24/aequorea-vincent-callebaut-underwater-oceanscrapers-made-from-3d-printed-rubbish-ocean-plastic>. Переглянуто 21.02.2016.
18. **McKnight J., 2015**. WORKac and Ant Farm design a utopian floating city for humans and marine animals. <http://www.dezeen.com/2015/10/07/workac-ant-farm-utopian-floating-city-concept-chicago-architecture-biennial-2015>. Переглянуто 23.02.2016.
19. **Keskeys P., 2016**. Honeycomb Lagoons and a Mile-High Tower: Envisioning Tokyo Bay in the Year 2045. <http://architizer.com/blog/next-tokyo/>. Переглянуто 21.02.2016.
20. **The Svalbard Global Seed Vault, Norway, 2008**. https://en.wikipedia.org/wiki/Svalbard_Global_Seed_Vault. Переглянуто 21.02.2016.
21. **Blue Lagoon (geothermal spa), 1992**. [https://en.wikipedia.org/wiki/Blue_Lagoon_\(geothermal_spa\)](https://en.wikipedia.org/wiki/Blue_Lagoon_(geothermal_spa)). Переглянуто 23.02.2016.
22. **Лесник Е.Л., 2011**. Взаимодействие урбанизированных структур и водных пространств. «Архитектон: известия вузов», Екатеринбург, Россия, №34. http://archvuz.ru/2011_22/24.

REFERENCE

1. **Svit encyklopedij**. Pryrodokorystuvannja. Vodna ekosystema. <http://gx3000.ru/prirodokorystuvannja/vodna-ekosistema.html>. Viewed 21.02.2016 (in Ukrainian).
2. **Zavodskov S., 2014**. Lilypad plavajushhyj gorod v Dubae. <http://uae-dubai.ru/uae-blogs/article/lilypad-plavayuschiy-gorod-v-dubae>. Viewed 22.02.2016 (in Russian).

3. **Francuzskij** arhytektor pryдумал plavuchye goroda dlja klymatycheskyh bezhencev, 2008. <http://realty.newsru.com/article/23Jun2008/lily>. Viewed 23.02.2016 (in Russian).
4. **Sukach M., 2015.** Persha mizhnarodna naukovo-praktychna konferencija «Pidvodni tehnologii', 2015». Pidvodni tehnologii'. Promyslova ta cyvil'na inzhenerija, vyp.1, 3-12 (in Ukrainian).
5. **Urbanistyka.** <http://ru.wikipedia.org/wiki/Urbanistyka>. Viewed 21.02.2016 (in Russian).
6. **Ruban L., 2013.** Recent Trends in the Use of Water in Modern Architecture: New Approaches to Space Modeling. 1st World Milti_Conference on Intelligent Building Technologies & Multimedia Management, 10th International Conference New Building Technologies and Architectural Design, NBTAD 2013, Krakow, Abstracts, 86.
7. **Ruban L., 2014.** Three States of Water: How Technology Makes Water a Construction Material. Technical transactions, Architecture. Cracow: Politechnika Krakowska, Issue 8-A, 27-37.
8. **Ruban L. 2014.** New Trends in Usage of Water in Modern Architectural and Landscape Practice. "The new Ideas of New Century – 2014: The Fourteenth International Scientific Conference Proceedings: v 3 t. Tyhookean. gos. un-t. Habarovsk, Yzd-vo Tyhookean. gos. un-ta. 3 t., 160-166 (in Russian).
9. **Kuc S., Ruban L., 2014.** Water as the Factor of Techno-creation. Proceedings of a 2nd Annual International Conference of Architecture and Civil Engineering (ACE-2014), ISSN: 2301-394X, published and organized by Global Science and Technology Forum (GSTF), Singapore, 50-54. (Best Paper Awards ACE 2014).
10. **Kuc S., Ruban L., 2014.** Contemporary Water Landscapes. Trends, Issues and Techno-creation. GSTF Journal of Engineering Technology (JET), ISSN: 2251-3701, Vol. 3, N 1, DOI: 10.5176/2251-3701_3.1.116, 96-105.
11. **Lomholt Is., 2010.** Harvest City Haiti, Caribbean, 'A Concept to Recovery'. <http://www.e-architect.co.uk/haiti/harvest-city-haiti>. Viewed 21.02.2016.
12. **Gorshkova D., 2013.** Organycheskye goroda: proekt Luca Curci Architects v UAE. <https://www.buro247.ru/lifestyle/design/organicheskie-goroda-proekt-luca-curci-architects.html>. Viewed 22.02.2016 (in Russian).
13. **Frearson A., 2014.** Spiralling underwater cities could make oceans inhabitable by 2030. <http://www.dezeen.com/2014/11/26/ocean-spiral-underwater-cities-shimizu-corporation>. Viewed 23.02.2016.
14. **Pleshkanovskaja A.M., Savchenko E.D., 2011.** Goroda y epohy. K., Ynstytut urbanistyky, 230 (in Russian).
15. **Skrypyn V., 2014.** Кытайсы planyrujut yspol'zovat' dlja postroenyja gorodov budushhego poverhnost' Zemly, pokrytuju vodoj. <http://itc.ua/news/kitaytsy-planiruyut-ispolzovat-dlya-postroeniya-gorodov-budushhego-poverhnost-zemli-pokrytyu-vodoy>. Viewed 22.02.2016 (in Russian).
16. **Frearson A., 2014.** Floating City concept by AT Design Office features underwater roads and submarines. <http://www.dezeen.com/2014/05/13/floating-city-at-design-office>. Viewed 21.02.2016.
17. **Mairs J., 2015.** Vincent Callebaut proposes underwater "oceanscrapers" made from 3D-printed rubbish. <http://www.dezeen.com/2015/12/24/aequorea-vincent-callebaut-underwater-oceanscrapers-made-from-3d-printed-rubbish-ocean-plastic>. Переглянуто 21.02.2016.
18. **McKnight J., 2015.** WORKac and Ant Farm design a utopian floating city for humans and marine animals. <http://www.dezeen.com/2015/10/07/workac-ant-farm-utopian-floating-city-concept-chicago-architecture-biennial-2015/>. Viewed 23.02.2016.
19. **Keskeys P., 2016.** Honeycomb Lagoons and a Mile-High Tower: Envisioning Tokyo Bay in the Year 2045. <http://architizer.com/blog/next-tokyo/>. Viewed 21.02.2016 (in English).
20. **The Svalbard Global Seed Vault, Norwegia, 2008.** https://en.wikipedia.org/wiki/Svalbard_Global_Seed_Vault. Viewed 21.02.2016.
21. **Blue Lagoon (geothermal spa), 1992.** [https://en.wikipedia.org/wiki/Blue_Lagoon_\(geothermal_spa\)](https://en.wikipedia.org/wiki/Blue_Lagoon_(geothermal_spa)). Viewed 23.02.2016.
22. **Lesnyk E.L., 2011.** Vzaymodejstvye urbanyzovannyh struktur y vodnh prostranstv. «Arhytektion: yzvestyja vuzov», Ekaterynburg, Rossyja, №34. http://archvuz.ru/2011_22/24 (in Russian).

**Underwater urban studies:
modern issues and trends**

Liudmila Ruban

Kyiv National University of Construction
and Architecture

Povitroflotsky prosp., 31, Kyiv, Ukraine, 03037

e-mail: knuba.landscape@gmail.com

l_Ruban@knuba.edu.ua

orcid.org/0000-0002-5973-4362

Summary. The paper is devoted to the causes and reasons of the interest paid to the underwater urban studies; to the answers on the main issues of our time by the international architectural, construction and engineering minds.

The paper examined the water as the habitat in its three possible physical states – liquid, solid and vapor. The main focus is on marine ecosystems and their possible future development in the 21st century. It's also considered the accommodation in permafrost where water is in its solid form as ice and snow. The directions of water's usage as vapor in modern architecture and art are identified.

The possible planning of underwater and above-water settlements, the analysis of international project's experience over the past five years, the systematization of the scientific and project materials, the classification of cities on water and other issues are considered as key proposals of this research.

Conducted analysis of international experience in the design and planning of new cities in the aquatic environment highlights the new approaches in modern engineering and technology solutions, revealing the potential of marine ecosystems for future development and coming accommodation.

Key words: underwater urban studies, marine ecosystems, city on water, three physical states of water: liquid, solid and vapor; territory of permafrost, sustainable development.

Pre-project research cycle of the architectural environment of the small town's historical center as an analytical stage of its reconstruction

Nellya Leshchenko

Kyiv National University of Construction and Architecture
Povitroflotskyi prosp., 31, Kyiv, Ukraine, 03037
ardisconn@ukr.net, orcid.org/0000-0002-3198-4554

Summary. To create a competent reconstruction projects in the historical environment it's necessary to carry out pre-project research cycle. It's goal - to produce detailed baseline data. Pre-project research should be carried out using the method of graph-analytical analysis of the historical architectural environment and its current state, the method of comparative analysis, synthesis by drawing up the result recommendations schemes. The article marks the stages of pre-project research of the architectural environment of the small town's historical center. It consists of historical-genetic analysis, analysis of the current state of the urban historical architectural environment, implementation the historical-reference plan, project of zones of protection monuments of architecture and urban planning, preparation the historical and urban planning substantiation. These researches are directed to identify characteristics of the formation and development of historic urban environment, to determine its value and the state of preservation, to define the limits of architectural and town-planning constraints and demands during reconstruction or new construction in the historic environment. The article shows the sequence of pre-project researches and their mutual influence. The result schemes of each stage were noted. A scheme-model of reconstruction activities as the result pre-project research and as the implementation of recommendation to the reconstruction project was determined.

Key words: pre-project research cycle, historical-genetic analysis, historical-reference plan, the historical and urban planning substantiation.

INTRODUCTION

The need to ensure the preservation of the existing cultural heritage and the harmonious modern development of the historical centers of small Ukrainian towns is a very topical question today. The urban architectural environment can't be unchanged. With time it constantly receives various changes, adapts to the needs of people throughout its history of existence and development. With the construction of any new building architects at various times made changes in historical urban environment. It was always very important that this new building not only did not broke established traditions, planning, volumetric, spatial and functional features, but also had become a harmonious complement to the existing historic buildings. The main principles of any new construction in the existing historic environment should be tolerance, continuity and harmonious supplement. In this case, the urban environment will retain its historical features and will get a new development that is necessary for him at this time point.

Unfortunately, the existing experience of new construction in the historical center of small Ukrainian towns shows off a completely different picture.

Small historical towns have unique monuments of architecture and urban state and local levels, but many of them are in disrepair as a result of incorrect modern use or disuse in general [7]. Further ignoring the existing problems could lead to their complete destruction, and thus towns lose its authentic buildings, which are urban dominants. Also, today in these towns are very badly preserved ordinary historic buildings which are the background to highlight the dominant monuments [8]. And existing new buildings are, most, or typical buildings that are not suitable for the kind of small town environment, or have not enough quality architectural design.

Therefore, the main task of reconstruction of the historic centers of small towns should preserve their authenticity, historical and architectural value of existing monuments improve the quality of existing architectural environment and create a new quality environment with considering all the historic features [9].

The quality of the reconstruction projects of the historical architectural environment greatly depends on from the carried out scientific research work to the creation of detailed baseline data. That it requires pre-project research cycle.

PURPOSE OF WORK

The purpose of the pre-project research cycle is to create, as much as possible, the original database for the new design in historic environment and for drafting the reconstruction of the historical architectural environment. In the article is proposed consistently to consider the stages of the pre-project research cycle and their connections.

MATERIALS AND METHODS

Research to create the baseline data should be carried out with using the method of graph-analytical analysis of the historical architectural monuments and environment, the method of graph-analytical analysis of the current state historical architectural environment, the method of comparative analysis; generalization by drawing up the result recommendations schemes.

RESULTS AND DISCUSSION

Pre-project research consists of the following steps.

1. Historical-genetic analysis.
2. Analysis of the current state of the urban historical architectural environment (historical center, ensemble, quarter, house).
3. Analysis of the historical-reference plan.
4. Analysis of the project of zones of protection monuments of architecture and urban planning.
5. Drafting of historical and urban planning substantiation.

Historical-genetic analysis is made to determine the characteristics of the formation and development of the studied architectural urban environment at different time stages, to identify the sustainable characteristics of its planning and volumetric-spatial composition and typological structure of buildings.

It includes the study and comparison of historical urban plans. Its task is to identify the town's genetic code. That is:

1. Identify the patterns of formation and development of this historic town. Under the influence of which factors this town acquired its characteristics, and which ones. It is necessary to analyze:
 - natural factor (geographical location, climate influence, natural environment, orientation on water, relief);
 - historical factor (historical events and personalities that have influenced the formation of the town);

- cultural factor (under the influence of which cultures the urban environment was formed);

- social factor (who inhabited the city by the kind of activity: traders, artisans, farmers, etc.; we can see this by saved to the present historical names of streets, squares, districts, quarters);

- national factor (different mentality - a different way of life, and therefore different housing);

- religious factor (which temples were built in the town, and they became urban dominant and determined the features of ordinary buildings that formed around them, as a rule, they were houses of parishioners);

- urban factor (planning and spatial features of the urban environment, urban dominant and their visual links, urban hierarchy: dominant – accents - ordinary buildings);

- architectural factor (volume, percolation, coloring, regional stylistic features that are formed under the influence of different cultures).

2. Identify steel features of urban planning, volumetric-spatial, functional, architectural and artistic organization, that is:

- what distinguishes this town from others;

- what kept and passed from stage to stage of this town development;

- what remained to this day.

Historical-genetic analysis is carried out on archival research and inspection on location.

Archival research - is the collection and comparing the data from the history and town development (historical plans, iconographer, text materials, photos).

The results of these studies are:

- analytical scheme stages of urban planning;

- scheme of its silhouette;

- volumetric-spatial diagram of major urban ensembles and ordinary urban environment;

- scheme of composition and visual communications dominants, accents and ordinary building;

Inspection on location – is the identification of the historic elements that have survived to the present (remains of defensive walls, forts,

territories of historic squares, streets, districts, historic buildings).

Based on a comparison of archival research and inspection on location:

- stages of planning and spatial organization of urban architectural environment are determined;

- provides an assessment of importance of these stages for citywide composition as a whole;

- distinguish the main historically valuable planning and architectural elements that make up the genetic code, and thus are subjects to preservation [14].

Analysis of the current state is to discover the modern features of historic architectural environment and its role in the present citywide structure [14]. It provides:

1) the evaluation of the modern urban values researched historical architectural environment;

2) determining its current planning and buildings and the correlation of citywide planning and buildings;

3) the definition of the modern typology of buildings that make up the studied architectural environment;

4) the definition of the modern space-planning and constructive resolution of these buildings;

5) determination of its modern functions;

6) determination the disharmonized elements in the historic urban environment which violate its visual complete perception and bring negative changes in its silhouette [14].

The study of the current state historical architectural environment shows how it has kept its urban, architectural and functional characteristics, and how they can meet modern needs.

These analytical analysis of the current state issued a graphical diagram plan - destructive scheme on which we can make a conclusion about the degree of preservation of historic architectural environment as a whole and individual buildings and structures that compose it.

The scheme collected all currently existing buildings. Determined by their architectural and stylistic features, number of storeys and degree of preservation. Also are shown visual

connections between buildings in the study historic architectural environment (dominants, accents and ordinary buildings) and links between dominants and accents the whole historical center. Based on this are determined the disharmonized buildings that destroy the visual communications. The links between the historical center and new modern centers of gravity and cultural centers are established.

Conducted by graph-analytic method the analysis of the current state historical architectural environment will make it possible to conclude:

- how is preserved its original urban value;
- how serious is the change in the planning and volumetric-spatial composition caused by incorrect new building and unreasonable demolition of historic buildings (if any);
- which houses more preserved, in which style, in which the state;
- what changes have occurred in the functional structure, how is architectural environment functionally active and attractive;
- and identify links to modern centers of gravity and cultural centers.

These studies of the current state compared with the historical research data by the method of comparative analysis. The result of the comparison is the plan diagram - the historical-reference plan. This is complex urban conservation document that summarizes the results of research on the historic city [6]. Historical reference plan for each historic town is developed according to «DBN B.2.2-3-2008 Composition, content, procedure of development, coordination and approval of historical-architectural reference plans, the special scientific and design documentation to determine the historical areas of settlements of Ukraine» [2] and «Instructions for compiling the historical-architectural reference plans of cities of Ukraine» [5].

At the historical-architectural reference plan are shown and systemized by the degree of values all objects of city planning, architectural, historical and cultural heritage of the city. Also are marked the lost dominants and modern buildings that break the links between historical dominants. Historical planning (historical streets, squares, quarters, neighborhoods,

defensive walls, forts, border of settlements, monasteries, etc.) applied to modern planning. Also are shown:

- the main historical urban dominants and accents;
- visual connections between historical dominants;
- view points and angles of opening historical urban perspectives and panoramas;
- streets that form view directions to dominant.

After comparing are made the conclusions about the degree of preservation of historic architectural environment.

All historical urban and architectural objects systemized by the degree of value, that is:

- architectural monuments (world, national, local);
- monuments of town planning;
- historical monuments;
- monuments of landscape architecture;
- monuments of archeology;
- historically valuable natural landscapes;
- dry channels of rivers, underground reservoirs, the channels of small rivers enclosed in tunnels.

At the historical-reference plan also are shown:

- valuable historical and modern buildings;
- low-value buildings;
- disharmonized buildings.

So, based on comparative analysis and historical-reference plan it concludes:

- 1) about the urban environment preservation;
- 2) about the preservation of individual buildings and their degree of value;
- 3) about the functional preservation of the historic architectural environment.

Detailed analysis of the historical-reference plan will provide an opportunity to make a correct conclusion:

- the further modern development of historical architectural environment with current requirements;
- choose the best planning and volumetric-spatial composition;
- determine how to modify and supplement the street network, square, buildings to maximize preserve or restore typical historical image

of the environment and at the same time adapt it for modern requirements.

Based on the comparison of the historical-architectural reference plan that determines the degree of values of the historic buildings and architectural environment in general and destructive schemes on which is determined the degree of their preservation, can be drawn the conclusions about the need and the measure of the reconstruction. The choice of methods of restoration or reconstruction of the buildings and the historic environment as a whole depends on its values and modern conservation.

The project of zones of protection monuments of architecture and urban planning is another urban obligatory document which is necessary in developing reconstruction projects in the historic environment.

The project of zones of protection is a town-planning document that defines the boundaries of special areas in the historic city, which have limitations and the special regime of architecture and urban planning [6] (a special regime of reconstruction). It is developed based on the historical-architectural reference plan under the «DBN B.2.2-2-2008 Composition, content, procedure of development, coordination and approval of scientific and design documentation to determine the limits and regimes of usage, zones of protection the monuments of architecture and urban planning» [1].

The aim of this project is to protect monuments and to preserve the traditional character of the environment in which these monuments are located (the character of the ordinary buildings, which are the background for the monuments).

Protected area of the historic town includes:

- 1) the territory of the monument.
- 2) the complex protected zone.

Located in the historical center. Composed of protected zones of monuments and urban planning, which are located in the historic center.

- 3) protected zones of separate monuments located outside the historic center.
- 4) buildings regulation zones.
- 5) areas of protected landscape.

6) areas of the archaeological cultural layer [11].

The territory of the monument is a plot where the monument was located historically and which is necessary for its preservation as cultural heritage [1].

The protected zone of the monument is the area which is necessary to preserve the dominant in its immediate environment, historical architectural environment and to ensure its optimal visual perception.

Buildings regulation zone is a territory that surrounds or is adjacent to the complex protected zones or protected zone of separate monument designed to preserve the traditional character of buildings of the historic architectural environment. This means preserving the right size and shape for ordinary buildings which are the background of the architectural monuments, which have always been the city dominants and accents. This is the «buffer zone», which should provide a harmonious transition from the buildings of the historic core to the modern buildings.

Area of protected landscape is a territory outside the complex protected zone or protected zone of separate monument designed to preserve the historical landscape surrounding the monument, city building unity with nature and visual disclosure monument from distant points.

The areas of archaeological cultural layer set in the cities that were founded to 14-16 centuries [11]. This is the area where excavations are conducted, or where have been found the remains of the cultural layer.

Zones of protection are allocated specifically to protect the traditional character of environment, monuments and the ensemble of historical center as a whole and for the regulation of new construction and reconstruction of the historical architectural environment. According to the state building codes those zones have limitations and special regime of their usage that must be performed during the reconstruction projects and the introduction of new buildings in the historic city center.

Another important document that regulates the possibility of modern construction or reconstruction of the historic city center is his-

torical and urban planning substantiation. This is the type of planning documentation, which is being developed in order to prove a particular object locations in a given area, located in the historically valuable architectural environment or for the allocation of plot within historical areas of cities for the new design or reconstruction. It is necessary to substantiate new design solutions that should be developed taking into account the planning, spatial, architectural and stylistic features of the historical valuable environment.

The task of the historical and urban planning substantiation is to identify the historical and cultural potential architectural environment where planned to place a new object, determine the conditions and limitations on buildings on selected land plot and the limit parameter of object that can be placed on it.

The historical and urban substantiation «clarifies and details the positions of historical-architectural reference plan of historical settlement to preserve the traditional character of the historic environment within the historical area» [10].

It is carried out:

1) by analyzing urban setting within the studied planning (quarter, group of quarters, microdistrict);

2) taking into account the urban value of the object;

3) on the basis of normative documents with the requirements of the current legislation [3, 12] and approved planning documentation.

The historical and urban planning substantiation consists of analytical and graphical parts. The analytical part includes historical research and inspection on location.

First it necessary to study the historical-literary and archival materials of the investigated area and adjacent territories. Based on these materials, it can make a conclusion about the historical features of urban formation of the plot in the urban environment. This makes it possible to correctly identify the territory, surrounding the plot, which should be in the study. The plot formed and developed not in isolation but in a town-planning context. Further, this area is subject to inspection on location.

During the inspection on location the main attention should be given to identify sustainable urban and architectural features of the site and adjacent areas and existing buildings on them. After the investigation we can make a conclusion about the degree of preservation of the historic environment as a whole and its individual components:

- what was preserved, what was lost;
- what is necessary to preserve;
- what it is necessary to upgrade in the process of reconstruction.

This will determine the limits of architecture and urban restrictions and requirements for reconstructing or designing a new building in the historic built environment.

Also is important the prediction about the impact of the new building in historically made up the urban environment. At this stage must be analyzed and taken into account the artificially created architectural environment as well as the primary natural environment and their mutual influence. For harmonious inscribing the new building into the existing historic environment, should be followed its traditionally formed planning, volumetric-spatial, composite and silhouette features; historic parcellation, stylistic, color and texture parameters. Also, the new construction or reconstruction of existing buildings should be given the characteristics of underlying natural terrain (relief, natural water pond, vegetation). From these to a large extent depends on the possibility of add-ins, extensions, creation of underground levels, etc. Difficult relief and hydrography of area require additional special calculations and limits [4, 13], which should be considered in the development of the reconstruction projects and new construction.

Analytical researches are made in the schemes-drawings that make up the graphical part of the historical and urban planning substantiation. That are following.

1. Situational scheme of plot placement. The limits of the selected area are shown on it. This scheme is carry out on the copy of the master plan or on the copy of the reference plan. These plans must show all the objects that were built after the adoption of the docu-

ment. Under this scheme the placement of the site, its limits and its area are determined.

2. Fragments of the historical plans of the town.

With the help of historical plans the main stages of planning and volumetric-spatial structure of the city and the construction area are defined and characterized. If there are historical photos they are also included.

3. Fragment of the historical-architectural reference plan.

This plan is determined the value of the historical architectural environment in which the selected plot for design is situated; view disclosure and view influence of existing monuments. The presence of modern and preservation historical dominants and accents. Availability of the disharmonized buildings.

4. Fragment of the scheme of zones of protection monuments of architecture and urban planning.

The lines of design area are allocated on the scheme. A conclusion is made, to which protection zone the plot gets, which are limitations for design in this area.

On the basis of research and analysis of previous schemes is the conclusion about the possible methods of restoration and reconstruction buildings in selected area.

5. Scheme of storey and density of buildings on the site.

This scheme:

- determines the spatial characteristics of the existing building;
- analyzes the historical and contemporary accents and dominant, valuable ordinary historical and modern buildings;
- determines the valuable visual communications, valuable view points that must be preserved in the new construction or reconstruction.

It's necessary to consider the historically compiled storey and density, and compositional methods of building.

6. Scheme of style and preservation of buildings.

The scheme analyzes the all buildings on the site and surrounding area for the period of construction and stylistic identity. The historic percolations is determined. Also, the degree of

preservation of buildings by preservation category is determined. A conclusion about the influence of the new object design to the existing the historically compiled buildings is made.

7. Scheme of the functional zoning.

The plot design is allocated on the scheme. Is defined in which functional area of the city it is. Also, the scheme is analyzed the modern functional using of the existing buildings in the plot. After analyzing the conclusions are drawn:

- what function for building will be a priority after the reconstruction or new construction in the plot;
- which function it can complement;
- what function should be deleted.

8. The scheme of transport and pedestrian links.

Under this scheme are described which line, stations and public transport are within or near the plot. The diagram are shown:

- highways;
- city roads;
- local driveways and entrances;
- bike route (if any);
- pedestrian roads, areas;
- pedestrian squares, parks;
- public transport stops;
- car and bicycle parking.

9. The concept scheme of reconstructive measures.

The proposals for restoration or reconstruction planning and spatial structure of the area (urban reconstruction) and architectural and planning structure of the buildings which are located in this area (volumetric reconstruction) are given in this diagram. The scheme is linked to the conclusions the historical and urban planning substantiation and is recommendatory to select methods of restoration or reconstruction.

The conclusion of the historical and urban planning substantiation should determine the possibility or impossibility of new construction or reconstruction in this part of the historical town. Setting conditions, restrictions and limiting options for a new building if it possible its construction.

CONCLUSIONS

Each stage of pre-project analysis aimed at identifying the specific features of the historical urban environment. Their consistent linkage in one system gives a complete picture of baseline data to design the project of reconstruction of the historical urban environment or new construction in it.

1. Historical-genetic analysis.

Identification the genetic code of the town (the historic town center, the historic architectural environment).

2. Analysis of the current state of the urban historical architectural environment (historic town center, ensemble, quarter, house). Drawing the destructive scheme.

3. Analysis of the historical-architectural reference plan of historic town (historic town center). The conclusions about the degree of historical and cultural value of the existing buildings in the construction area.

4. The analysis of zones of protection monuments of architecture and urban planning and regime of their usage. The conclusion is which protection zone gets the plot design, limitations and possible regime of it usage.

5. The historical and urban planning substantiation of new construction (reconstruction buildings) in the sites in the historic town center. The conclusion is about the conditions and restrictions of building on the land plot and limiting parameters of the object that can be placed in the selected area.

The general conclusions and recommendations should be the model scheme of reconstruction of the historic environment with using modern methods of restoration and reconstruction (the historic city center, the historic architectural environment).

REFERENCES

1. **DBN B.2.2-2-2008, 2008.** Composition, content, procedure of development, coordination and approval of scientific and design documentation to determine the limits and regimes of usage, zones of protection of monuments of architecture and urban planning. Kyiv, Ministry

- of Regional Development of Ukraine, 16 (in Ukrainian).
2. **DBN B.2.2-3-2008, 2008.** Composition, content, procedure of development, coordination and approval of historical and architectural reference plans, the special scientific and design documentation to determine the historical areas of settlements of Ukraine. Kyiv, Ministry of Regional Development of Ukraine, 16 (in Ukrainian).
3. **DBN B.1.1-4-2009, 2009.** Composition, content, procedure of development, coordination and approval of urban planning substantiation. Kyiv, Ministry of Regional Development of Ukraine, 21 (in Ukrainian).
4. **DBN V.1.1-3-1997, 1998.** Engineering protection of territories, buildings and structures from landslides and mudslides. The main provisions. Kyiv, State Committee for Construction, Architecture and Housing Policy of Ukraine, 41 (in Ukrainian).
5. **Instruction** to the compilation of historical and architectural reference plans of settlements of Ukraine, **1992.** Kyiv, State Construction of Ukraine, 26 (in Ukrainian).
6. **Kodin V.O., 2009.** Fundamentals of reconstruction of historic towns. Kharkiv, KHMAMG, 172 (in Ukrainian).
7. **Leshchenko N.A., 2014.** The revival of architectural ensemble of the historical center of a small town (for example a proposal for the regeneration of the historic center of Olyka Volyn region). Modern problems of architecture and urban planning: Scientific-technical collection, Kyiv, KNUCA, Vol.35, 421-428 (in Ukrainian)
8. **Leshchenko N.A., 2000.** Reconstruction principles for architectural constructions in historical ensembles of West Ukrainian small towns: thesis. dis. candidate. architect: 18.00.02. Kyiv, KNUCA, 20 (in Ukrainian).
9. **Leshchenko N.A., 2015.** Revalorization of historical centers of small towns. Modern problems of architecture and urban planning: Scientific-technical collection, Kyiv, KNUCA, Vol.41, 218-223 (in Ukrainian).
10. **Methods** of development of historical and urban substantiation, **2010.** Manifasova T., Plamenitska O., Khodorkovski JU. Kyiv, Ministry of Regional Development of Ukraine, 24 (in Ukrainian).
11. **Methodological** recommendations for research the historical and architectural heritage in the cities of Ukraine, **1982.** Vodzinski E.E. and others. Kiev, Kiev Research Institute of Urban Development, 120 (in Russian).

12. **Order** of the State Service of cultural heritage protection from 22.03.2004, **2004**. № 7 On approval the Procedure of development of historical and urban substantiation. Kyiv (in Ukrainian).
13. **Petrenko E., Gharakhanlov M., 2015**. Analysis of slop at increase of the static load. Underwater Technologies, Kyiv, KNUCA, Vol.02, 40-45.
14. **Pre-project** research cycle of historical architectural environment: methodical instructions for individual work, **2015**. Leshchenko N.A. Kyiv, KNUCA, 17 (in Ukrainian).

Предпроектный цикл исследования архитектурной среды исторического центра малого города как аналитический этап его реконструкции

Нелля Лещенко

Киевский национальный университет
строительства и архитектуры
Воздухофлотский просп., 31, Киев,
Украина, 03037, ardisconn@ukr.net
orcid.org/0000-0002-3198-4554

Аннотация. Для создания грамотных проектов реконструкции исторической среды необходимо проведение предпроектного цикла исследований. Его цель – создание детальной базы исходных данных. Предпроектные исследования следует проводить с использованием метода графоаналитического историко-архитектурного анализа и анализа современного состояния, метода сравнительного анализа, обобщения путем составления выводных и рекомендательных схем.

В статье выделены этапы предпроектного цикла исследования архитектурной среды исторического центра малого города. Он состоит из историко-генетического анализа, анализа современного состояния архитектурной среды исторического города, выполнения историко-опорного плана, проекта зон охраны памятников архитектуры и градостроительства, составления историко-градостроительного обоснования. Эти исследования направлены на выявление особенностей формирования и развития исторической городской среды, определение ее ценности и степени сохранности, определение границ архитектурно-градостроительных ограничений и требований при проведении реконструкции или новом проектировании в исторической среде. В статье показана последовательность предпроектных исследований и их взаимное влияние. Отмечены выводные схемы каждого этапа. Определена схема-модель реконструктивных мероприятий как результирующая предпроектных исследований и рекомендация к выполнению проекта реконструкции.

Ключевые слова: предпроектный цикл исследования, историко-генетический анализ, историко-опорный план, историко-градостроительное обоснование.

Містобудівний досвід реалізації кільцевого принципу організації руху транспорту на підходах до мостів

Микола Осетрін, Олександра Бондар

Київський національний університет будівництва і архітектури
Повітрофлотський просп., 31, Київ, Україна 03037
olex.va@gmail.com, orcid.org/0000-0002-4011-0357

Анотація. У даній статті розглянуто вітчизняний та закордонний містобудівний досвід реалізації перетинів міських магістральних вулиць з кільцевим рухом транспорту на підходах до мостів. Наведено переваги застосування даного типу перетину у порівнянні з іншими перетинами міських магістральних вулиць. Також встановлено, що в результаті екологічної оцінки забруднення прилеглої території даний тип перетину є найбільш оптимальним варіантом.

Ключові слова: перетини міських магістральних вулиць, кільцеві перетини, підходи до мостів, мостові переходи, екологічна оцінка.

ВСТУП

Міський міст відіграє важливу роль не тільки як складна інженерна споруда, а й як активний художній компонент міського архітектурного пейзажу. Складним моментом в проектуванні міських мостів є визначення місця його розташування в плані міста. Вирішення цієї проблеми повинно вестись з урахуванням низки вихідних положень, серед яких слід виділити необхідність ув'язки мостового переходу з загальною системою вулично-дорожньої мережі (ВДМ) міста та забезпечення економічних вимог [1].

Підходи до мосту повинні ув'язуватись з ВДМ міста. Сам мостовий перехід – це вузловий елемент ВДМ міста, де концентруються максимальні об'єми транспортного потоку.

ПОСТАНОВКА ПРОБЛЕМИ

Перетин магістральних вулиць та доріг загальноміського значення з річками бажано виконувати у вигляді мостів. Однак це не однозначно, оскільки світова практика показує, що окремі магістралі, які виходять на набережну, можуть і не мати продовження через річку у вигляді мостового переходу. Необхідність в спеціальних заходах щодо організації руху на підходах до мостів виникає в тих випадках, коли вздовж набережних передбачається пропуск транспортних засобів.

На підходах до мостів часто виникають труднощі в русі транспортного потоку через важкий поздовжній профіль на ділянках, що прилягають до мосту, особливо в районах зі складним рельєфом. У випадках, коли необхідно перевищити рекомендовані уклони на підходах до мостів через місцеві умови, слід врахувати наслідки, які при цьому виникають – зниження безпеки та швидкості руху, зменшення пропускної здатності, збільшення транспортних витрат.

Визначення принципів проектування типу мостового переходу, який реалізується в значній мірі пов'язано з принципом організації руху транспорту на підходах до нього. Як показує світовий містобудівний досвід є два принципіальні варіанти організації руху транспорту: в одному рівні та в різних рівнях.

Основними факторами, що визначають ширину проїжджої частини міських мостів і шляхопроводів, є склад і розміри транспо-

ртних потоків, а також особливості руху в зоні штучних споруд.

Якщо вулиця, яка проходить через міст, і набережна знаходяться в одному рівні, то організація руху транспорту може бути виконана організацією кільцевого руху (Рис. 1, а, б, в).

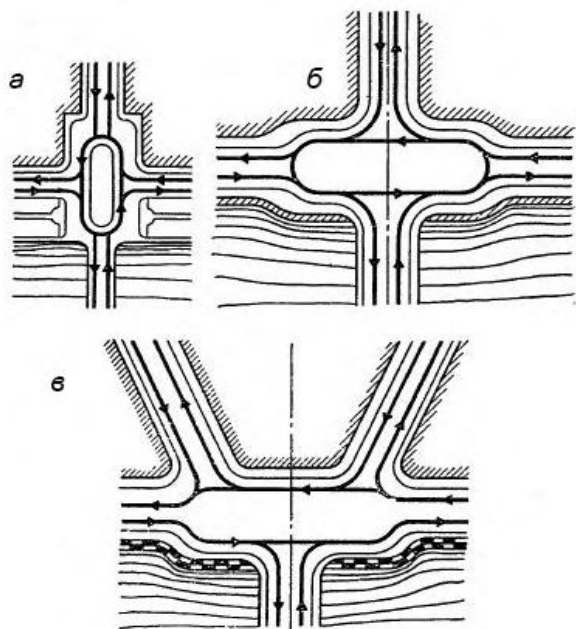


Рис. 1. Схеми організації руху на підходах до мосту
Fig. 1. Plans of traffic on the approaches to the bridge

Особливістю влаштування передмостових площ є те, що вони територіально обмежені. Геометричні елементи площ залежать від прийнятої схеми організації руху транспорту, висоти і профілю мостового переходу, рельєфу берега і характеру прилеглої забудови.

Якщо рух транспорту організовується в одному рівні, то необхідно йому забезпечити безперешкодний рух по основному напрямку.

Світлофорне регулювання передбачає почерговий пропуск транспортних потоків по напрямках, що перетинаються. Тому така схема організації руху має характерні недоліки – значні затримки транспорту та накопичення лівоповоротного потоку в центрі перехрестя. Таке рішення ніби «блокує» міст, приводить до неефективного його використання [1].

При наявності достатньої ширини на підходах до мосту доцільно організовувати саморегульований кільцевий рух та створювати найкращі умови для основного напрямку руху [2].

АНАЛІЗ МІСТОБУДІВНОГО ДОСВІДУ

Аналіз містобудівного досвіду показує широке використання кільцевого принципу організації руху транспорту на підходах до мостів. Широке використання кільцевого принцип організації руху перед мостовими переходами здобув в Великобританії. В 1951 році було побудовано перетин міських магістральних вулиць з кільцевим рухом транспорту біля мосту Ламбет (Рис. 2) через річку Темза в Лондоні.

Це був спеціально спроектований перетин з невеликим розміром центрального острівця (діаметр ≈ 20 м), але він мав велике значення в зниженні заторів. З обох боків мостового переходу підходи до нього влаштовані у вигляді розв'язок з кільцевим рухом транспорту. Декілька разів цей перетин вдосконалювали в 1984, 1995, 1999 та 2013 рр.

На даний момент цей перетин облаштований доріжкою для велосипедистів (bicycle treatment), яка влаштована в обхід

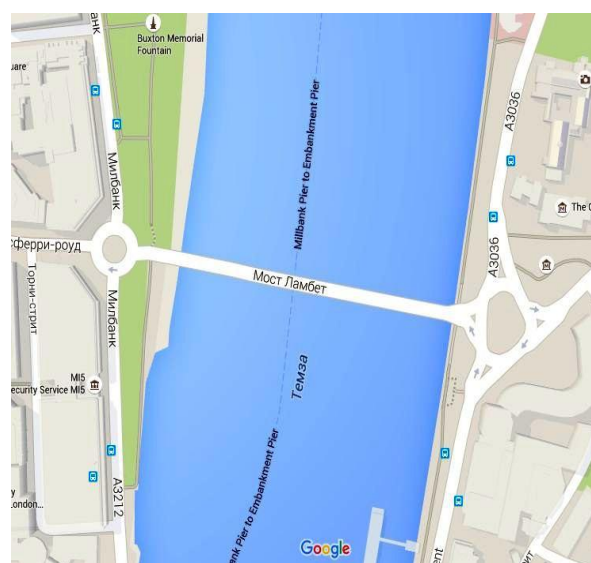


Рис. 2. Міст Ламбет у Лондоні
Fig. 2. Lambeth Bridge in London



Рис. 3. Кільцевий перетин на підході до мосту Ламбет у Лондоні

Fig. 3. Roundabout on the approach to the bridge Lambeth in London

кільцевої проїжджої частини по зовнішньому периметру перетину міських магістральних вулиць з кільцевим рухом транспорту, пішохідні переходи влаштовані до входу на перетин. Головною особливістю цього перетину є повне розділення пішохідного та велосипедного руху, ці потоки не пересікаються. Завдяки такому методу організації руху підвищується безпека руху на перетині (Рис. 3.)

Париж (Франція) розділяє на дві частини ріка Сена, на ній розташовано 38 мостів. Більшість підходів до мостів виконано у вигляді перетинів в одному рівні. Так, наприклад, біля мосту Астерліс (Рис.4), Англійського мосту, мосту Альма влаштовано перетини міських магістральних вулиць з кільцевим рухом транспорту.

За інтенсивністю руху транспортних засобів міст Астерліс займає друге місце у Парижі після мосту Згоди. Діаметр центрального острівця складає 16 м.

В світовій містобудівній практиці багато прикладів частого розташування мостів. Середня відстань між мостами на р. Темзі в Лондоні складає 0,7 км. І більшість підходів до мостів виконано у вигляді перетинів міських магістральних вулиць з кільцевим рухом транспорту.

Влаштування перетинів міських магістральних вулиць з кільцевим рухом транспорту мають ряд переваг у порівнянні з іншими типами розв'язок [3, 4]:



Рис.4. Міст Астерліс у Парижі

Fig. 4. Asterix bridge in Paris

- є можливість раціональної організації руху при перетині в одній точці більше чотирьох вулиць;
- відсутні витрати на регулювання руху;
- поділ конфліктних точок, низька відносна швидкість руху і гострі кути злиття (переплетення) на кільцевому перетині сприяють більшому ступеню безпеки руху;
- втрати часу автомобілями значно менші, ніж на звичайних перетинах в одному рівні;
- схема руху на перетині проста і зрозуміла водіям;
- забезпечуються кращі умови для виконання лівоповоротного маневру в порівнянні з іншими типами перетинів в одному рівні;
- капітальні витрати на влаштування кільцевого перетину істотно менші в порівнянні з перетином в різних рівнях;
- є можливість без збільшення території поетапно розвивати вузол (використовуються при стадійному будівництві як перший етап).

Разом з тим кільцеві перетини мають ряд недоліків [3, 4]:

- при проїзді перетину автомобілі знижують швидкість навіть у вільних умовах руху;
- на кільцевому перетині з великим центральним острівцем спостерігається

перепробіг автомобілів при наскрізному і лівоповоротні русі;

- для влаштування перетину потрібна значно велика територія в порівнянні з іншими типами перетинів в одному рівні (особливо при великих діаметрах центрального острівця);
- дещо складніше розмістити пішохідні переходи в порівнянні зі звичайними регульованими перетинами в одному рівні [5].

Тому на підходах до мостів такий тип перетинів рекомендується влаштовувати якщо виникає необхідність у зниженні швидкості руху, зменшенні кількості дорожньо-транспортних пригод та покращення екологічної ситуації на прилеглий території.

Встановлено, якщо на підходах до мосту організувати безперервний рух транспорту з перехрещенням підходу з набережною в різних рівнях, то пропускна здатність однієї смуги руху зростає більше ніж у два рази. Таким чином міст однієї ширини може пропускати транспортні потоки різної величини, в залежності від прийнятої схеми організації руху на підходах до мосту [1].

Естакади спрямовані до високо водних мостів, які в основному, можуть бути збудовані замість високих насипів. Розміщення міст вздовж берегів великих та глибоких річок спонукає до необхідності влаштування мостових переходів. На таких річках можливий прохід річкових, морських та океанських суден, тому рівень руху на таких мостах доводиться підіймати на значну висоту. Для сполучення з мережею прилеглих вулиць, на підходах до цих мостів влаштовують складні розгалужені та багатоярусні естакади. Ці рішення в умовах міст пояснюються, насамперед, архітектурно-планувальними міркуваннями. Вартість будівництва естакад у всіх випадках більша ніж влаштування насипів [6].

Естакади для розв'язки руху в різних рівнях широко використовуються при будівництві багаторівневих розв'язок, коли в складних транспортно-планувальних умовах необхідно забезпечити високу швидкість поворотних потоків. Такі розв'язки зустрічаються у містах з складною ВДМ і інтенсивним рухом у всіх напрямках, так і

на пересіченні міських магістралей радіального напрямку з магістральними вулицями і дорогами.

Естакади використовуються в обмежених умовах забудови, коли використання інших типів перетинів зв'язане з необхідністю знесення забудови.

Виключне місце у вулично-дорожній мережі міста Києва займає магістраль Столичне шосе – Наддніпрянське шосе – Набережне шосе – Набережно-Хрещатицька вулиця. Вона ж являється подовженням зовнішніх підходів до міста з боку Дніпропетровська з півдня та Овруча з півночі. Сьогодні просп. 40-річчя Жовтня, бульв. Дружби Народів, просп. Возз'єднання, є ділянкою важливої магістралі, що проходить по межі центрального ядра міста та через міст імені Патона з'єднує два основних автодорожніх підходи до Києва з боку Одеси та Санкт-Петербурга. На підходах до мосту імені Патона, збудованому в 1956 році через Дніпро, було виконано перехрещення в двох рівнях типу «клеверного листа» (Рис. 5) ускладненого наявністю трамвайної лінії. В ході першої реконструкції цієї розв'язки було знято трамвайні колії з бульвару Дружби народів (Рис. 6).

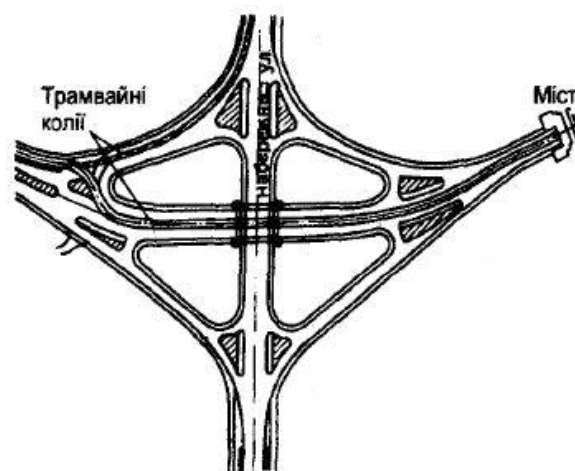


Рис. 5. Перетин на підході до моста Патона в м. Києві з трамвайними коліями

Fig. 5. The intersection on the approach to the bridge Paton in Kiev with tram tracks



Рис. 6. Перетин на підході до моста Патона в Києві після зняття трамвайних колій

Fig. 6. The intersection on the approach to the bridge Paton in Kiev after removing the tram tracks

В 2012 році було проведено ще раз реконструкцію цієї розв'язки і замість двох рівнів зробили три (Рис. 7). Даним проектом передбачалась реконструкція мосту ім. Є.О.Патона з розширенням до 38,0 м і влаштуванням проїзної частини 2×16,0 м (8 смуг руху) з розділювальною смугою шириною 1,25 м та з тротуарами по обидва боки шириною 2,375 м.

Також 2012 року в Київському національному університеті будівництва та архітектури була захищена дипломна робота на тему: «Реконструкція дорожньо-транспортного вузла на підході до моста Патона (правий берег) в м. Києві». В ході цієї роботи пропонувалось три альтернативних варіанти інженерно-планувального рішення реконструкції підходу до моста Патона. По цим варіантам була проведена екологічна оцінка та оцінка енергетичних витрат транспорту. Було прийняте рішення, що найбільш доцільним варіантом інженерно-планувального рішення є варіант з кільцевим принципом організації руху транспорту.

Проектанти вирішили зробити так зване розподільне кільце радіусом 80,0 м для всіх потоків, які здійснюють повороти. Це класична європейська розв'язка, яку називають «турбіна». На перетині йде поділ потоків, всі маневри відбуваються на кільці, немає

вклинювання потоків в інші, як було раніше. Через Набережне і Наддніпрянське шосе збудували шляхопроводи. А під насипом під мостом Патона і бульваром Дружби Народів зробили тунелі. І це все з'єдналося в кільці. А всередині кільця зробили так звані «турбіни» для здійснення лівих поворотів.

В межах перетину інтенсивність в «годину-пік» складає 13482 авт./год.

Поздовжні уклони в межах перетину:

- прямі напрями – від 1‰ до 45‰ (згідно Табл. 2.8 ДБН В.2.3-5-2001[7]: для $V_p = 60$ км/год уклони повинні бути в межах від 5‰ до 70‰ [2]);
- правоповоротні з'їзди – від 54‰ до 74‰;
- лівоповоротні з'їзди та кільце – від 12‰ до 60‰.

Розрахункова швидкість на кільці – 30 км/год (згідно табл. 3.3 ДБН В.2.3-5-2001 для III класу перетину та частці лівоповоротних потоків 15...30% – $V_p = 40$ км/год) [7].



Рис. 7. Перетин на підході до моста Патона в Києві після реконструкції в 2012 р.

Fig. 7. The intersection on the approach to the bridge Paton in Kiev after reconstruction in 2012

Радіуси лівоповоротних з'їздів – 30 м (згідно Табл. 3.4 ДБН В.2.3-5-2001 для $V_p = 30$ км/год найменший радіус має бути 35 м) [7].

Влаштування розподільчого кільця надало ряд переваг:

- всі потоки безперервні та саморегульовані;

- можливість здійснення розвороту по всіх напрямках;
- розділення транспортних потоків прямих напрямків від потоків, які здійснюють лівоповоротні маневри;
- реконструкція не передбачала зносу існуючих споруд.

Під екологічною оцінкою в загальному випадку слід розуміти процес систематичного аналізу й оцінки екологічних наслідків намічуваної діяльності, консультацій із зацікавленими сторонами, а також облік результатів цього аналізу у плануванні, проектуванні і здійсненні даної діяльності [8].

Забруднення атмосферного повітря – змінення складу і властивостей атмосферного повітря в результаті надходження або утворення в ньому фізичних, біологічних факторів і (або) хімічних сполук, що можуть несприятливо впливати на здоров'я людини та стан НПС. Забруднююча речовина – речовина хімічного або біологічного походження, що присутня або надходить в атмосферне повітря і може прямо або опосередковано негативно впливати на здоров'я людини та стан НПС. Викид – надходження в атмосферне повітря забруднюючих речовин або суміші таких речовин. Джерело викиду – об'єкт (підприємство, цех, агрегат, установка, транспортний засіб тощо), з якого надходить в атмосферне повітря забруднююча речовина або суміш таких речовин.

Необхідність характеристики (оцінки) стану повітряного середовища обумовлена вимогами забезпечення відповідності рівнів залишкових впливів проектного об'єкта містобудівним [9], санітарно-гігієнічним й екологічним правилам і нормам. Згідно з 2.9 ДБН А.2.2-1-2003 [10] в складі ОВНС проектною документації слід подавати обґрунтування необхідності такої оцінки. У містобудівному аспекті основні вимоги до проектування транспортних комплексів в екологічному відношенні визначені ДБН 360-92**[11], ДБН Б.2.4-1-94, ДСП 173-96, ДСП 201-97 [12-14]. Провідною вимогою до залишкових впливів на повітряне середовище є забезпечення безпечних рівнів забруднення території. Погодженню з ор-

ганами державного санітарного нагляду підлягають усі проекти будівництва, реконструкції, розширення, технічного переоснащення чи перепрофілювання промислових і інших об'єктів, що здійснюється в складі комплексної експертизи.

Згідно з 9.3 ДБН В.2.3-4-2000 до негативних впливів автодоріг відносяться: забруднення середовища відпрацьованими газами, твердими викидами, радіоактивними сполуками, шумом, вібрацією, пилом від зношення покриттів тощо [15], а також згідно з 1.4 та 3.2 ДБН 2.3-218-007-98 зміни ландшафту та низку інших. При існуючому рівні технології автотранспортні засоби крім основних інгредієнтів хімічного впливу (NO_2 – діоксид азоту, CO – оксид вуглецю, C_xH_y – вуглеводні) викидають в атмосферне повітря близько 200 речовин, що шкідливі безпосередньо або за комбінованою дією.

Структура шкідливих автотранспортних викидів залежить від режиму руху. Вуглецю оксиду CO виділяється більше на малих швидкостях, менше – на великих, азоту діоксиду NO_2 – навпаки. За рахунок збільшення швидкості потоку з 10...20 до 50...60 км/год пробігові викиди (г/с) зменшуються майже в 5 разів. Проте при цьому частка азоту діоксиду NO_2 дещо збільшується, а вуглецю оксиду CO та вуглеводнів C_xH_y – зменшується.

Як правило, якщо проект реконструкції вулично-дорожньої мережі міста або енергооб'єкта забезпечує нормативний стан території за NO_2 , то вплив інших викидів (крім $\text{C}_{20}\text{H}_{12}$) на стан повітря буде щонайменше на порядок нижчий. Але рівень шуму може підвищитися за рахунок збільшення швидкості руху потоку. При орієнтовних оцінках наслідків будівництва або реконструкції вулично-дорожньої мережі негативний вплив автотранспорту на прилеглу територію достатньо повно характеризує забруднення атмосферного повітря азоту діоксидом NO_2 і еквівалентний рівень шуму L.A.екв [16].

В ході екологічної оцінки забруднення прилеглої території по трьом варіантам було встановлено, що варіант реконструкції,

який пропонувався Інститутом «Київдормістпроект» є найбільш оптимальним.

На першому етапі проектування правобережної транспортної розв'язки мосту Метро у станції метрополітену «Дніпро» (Рис. 8) було реалізовано кільцевий принцип організації руху транспорту.



Рис. 8. Перетин на підході до мосту Метро у станції метрополітену «Дніпро» в Києві після реконструкції

Fig. 8. Crossing bridge on the approach to the Metro subway station "Dnipro" in Kiev after reconstruction

На наступному етапі був запроєктований з'їзд на міст Метро з вул. Паркової.

В подальшому виникла необхідність підвищення якості транспортного обслуговування потоків, які виходять на цей перетин. Було запропоновано удосконалення кільцевого перетину за допомогою створення двох лівих поворотів, що підвищило пропускну здатність перетину.

Естакада, що розташована на Набережному шосе в м. Києві дозволяє транспортному потоку з мосту «Метро» безперешкодно здійснювати лівий поворот в напрямку бул. Дружби народів. У плані споруда розташована на кривій по колу радіусом 19 м. Пролітна будова естакади - нерозрізна монолітна залізобетонна. Незважаючи на обмежені умови будівництва в умовах існуючої міської забудови, складності рельєфу і завдання безперешкодного пропуску транспорту під час будівництва по одній з інтенсивних магістралей міста, естакада добре вписалася в архітектуру міста Києва.

ВИСНОВКИ

Вибір раціональної схеми організації руху на підході до мосту має велике значення для забезпечення ефективності руху транспорту на вулично-дорожній мережі міста та повинен бути обґрунтований належним чином.

Аналіз вітчизняної і закордонної містобудівної практики говорить про доцільність використання кільцевого принципу організації руху на перетинах міських магістралей біля мостових переходів. Але в кожному конкретному випадку необхідно враховувати додаткові фактори, які остаточно обґрунтовують інженерно-планувальне рішення перетину міських магістральних вулиць.

Влаштування перетинів міських магістральних вулиць з кільцевим рухом на підходах до мостів надає можливість покращити безпеку руху транспорту, знизити відносну аварійність та зменшити забруднення прилеглої території шкідливими викидами.

ЛІТЕРАТУРА

1. **Осстрін М.М., 1997.** Міські дорожньо-транспортні споруди: навч. посібник. Київ, ІЗМН, 196.
2. **Фишельсон М.С., 1967.** Городские пути сообщения. Москва. Высшая школа, 365.
3. **Гохман В.А., Визгалов В.М., Поляков М.П., 1989.** Пересечение и примыкание автомобильных дорог. Москва, Высшая школа, 35-88.
4. **Лобанов Е.М., Шевяков В.М., Гохман В.А., 1972.** Проектирование и изыскание пересечений автомобильных дорог. Москва, Транспорт, 40-84.
5. **Неизвестна Н.В., Лисий В.С., 2011.** Кільцеві дорожні розв'язки на одному рівні. Тези доповідей 67-ої наук. конф. Професорсько-викладацького складу, аспірантів, студентів та структурних підрозділів університету. Київ, НТУ, 139.
6. **Горбатенко Е., Братасюк І., Шаров В., 2015.** Мобильные сооружения в береговой гидротехнике. Підводні технології. Вип.01, 23-32.

7. ДБН В.2.3-5:2001. Улицы и дороги населенных пунктов. Госстрой Украины, 42.
8. **Ustinova I., 2015. Theoretical principles of wave urbanistics.** Підводні технології. Вип.01, 33-42.
9. **Осетрін М.М., Луценко О.В., 2015.** Фактори, які визначають вибір інженерно-планувальних рішень перетинів міських магістральних вулиць з кільцевим рухом. Містобудування та територіальне планування. Вип. 58. Київ, КНУБА, 354-364.
10. ДБН А.2.2-1-2003, 2003. Структура і зміст матеріалів оцінки впливів на навколишнє середовище. Київ. Держбуд України, 23.
11. ДБН 360-92**, 2002. Містобудування. Планування і забудова міських і сільських поселень. Київ. Мінбудархітектури України, 102.
12. ДБН Б.2.4-1-94, 1994. Планування і забудова сільських поселень. Київ. Мінбудархітектури України, 86.
13. ДСП 173-96, 1996. Державні санітарні правила планування та забудови населених пунктів.
14. ДСП 201-97, 1997. Державні санітарні правила охорони атмосферного повітря населених місць.
15. ДБН В.2.3-4-2000, 2000. Автомобільні дороги. Київ. Мінбудархітектури України, 114.
- settlements. State Committee for Construction of Ukraine, 42 (in Ukrainian).
8. **Ustinova I., 2015.** Theoretical principles of wave urbanistics. Underwater technology. Ed.1, 33-42 (in Ukrainian).
9. **Osyetrin M.M., Lutsenko O.V., 2015.** Factors that determine the choice of engineering designs of sections of urban highways with a circular motion. Urban planning and spatial planning. Vol. 58. Kyiv, KNUCA, 354-364 (in Ukrainian).
10. **DBN A.2.2-1-2003, 2003.** Structure and Content of the impacts on the environment. Kiev. State Building Ukraine, 23 (in Ukrainian).
11. **DBN 360-92**, 2002.** Town planning. Planning and development of urban and rural in settlement. Kyiv, Minbudarhitektury Ukraine, 2002, 102 (in Ukrainian).
12. **DBN B.2.4-1-94, 1994.** Planning and development of rural settlements. Kiev. Minbudarhitektury Ukraine, 86 (in Ukrainian).
13. **DSP 173-96, 1996.** The state sanitary rules of planning and development of population, their settlements (in Ukrainian).
14. **DSP 201-97, 1997.** State Sanitary rules of air protection settlements (in Ukrainian).
15. **DBN V.2.3-4-2000, 2000.** Highways. Kiev. Minbudarhitektury Ukraine, 114 (in Ukrainian).

REFERENCES

1. **Osetrin M.M., 1997.** Urban traffic facilities. Textbook for students. Kyiv, IZMN. 196 (in Ukraine).
2. **Fishelson M.S., 1967.** Urban traffic routes. Moscow. Higher School, 365 (in Russian).
3. **Hochman V.A., Vizgalov V.M., Polyakov M.P., 1989.** Crossings and junctions of roads. Moscow, High School, 35-88 (in Russian).
4. **Lobanov E.M., Sheviakov V.M., Hochman V.A., 1972.** Design and research of the intersection of highways. Moscow, Transport, 40-84 (in Russian).
5. **Neizvestna N.V., Lusuy V.S., 2011.** Ring Road junction on one level. Proceedings of the 67th Science. Conf. The teaching staff, graduate students and university department. Kyiv, NTU, 139 (in Ukrainian).
6. **Gorbatenko E., Bratasyuk I., Sharov V., 2015.** Mobile building is in coastal hydraulic engineering. Underwater technology. Vyp.01, 23-32 (in Ukrainian).
7. **DBN V.2.3-5:2001.** Streets and roads

The town planning experience in implementing the principle of roundabouts on the approaches to bridges

Mykola Osetrin, Oleksandra Bondar

Kyiv National University of Construction and Architecture
 Povitroflotskyy prosp., 31, Kyiv, Ukraine, 03037
 olex.va@gmail.com
 orcid.org/0000-0002-4011-0357

Summary. This article deals with native and foreign urban planning experience in the use of the principle of circular organizing traffic on the approaches to the bridge. An advantage of using this type of intersection compared to other city intersections of main streets. Also found that as a result of environmental contamination assessment of the surrounding area, this type of intersection is the best option.

Key words: roundabouts, circular intersection, approaches to bridges, bridges, environmental assessment.

Міцність та тріщиностійкість сталевібробетонних плит, опертих по контуру при повторних навантаженнях

Олег Скорук

Київський національний університет будівництва і архітектури
Повітрофлотський просп, 31, Київ, Україна, 03037,
2120756@mail.ru, orcid.org/0000-0003-3510-3758

Анотація. Проводилися експериментальні та теоретичні дослідження напружено-деформованого стану одно-, і двошарових бетонних, залізобетонних та сталевіброзалізобетонних плит під дією поперечного малоциклового навантаження. Загальною картиною роботи плит при повторних навантаженнях, аж до їх руйнування є почергове проходження трьох стадій роботи конструкції. Це – стадія пружної роботи до появи першої тріщини, стадія експлуатації, тобто робота з тріщинами і стадія руйнування зразка.

При вивченні деформацій опертих по контуру плит під дією рівномірного повторного навантаження приведена обробка власних експериментальних досліджень та розглянуті методики теоретичних розрахунків дослідних плит.

Ключові слова: сталевібробетон, фібра, двошарові плити, фіброве армування, міцність.

ВСТУП

Про застосування різного виду волокон або фібр для покращення експлуатаційних властивостей будівельних матеріалів відомо з давнини.

На даний час використовують в якості фібр скловолокно, вуглецеве волокно, різного роду синтетичні волокна та сталеві фібри.

За останні три десятиріччя вченими в багатьох країнах світу отримано результати, якими підтверджено якісно кращі показни-

ки сталевібробетону у порівнянні зі звичайним бетоном [1, 3, 6, 7, 14].

На ефективність сталевібробетону значно впливає вид та спосіб виготовлення фібр, їх геометричні характеристики та орієнтація в бетонній матриці.

Найефективнішими за даними різних авторів [2, 4, 9], є фібри діаметром 0,23...0,3 мм, а також плоскі завтовшки 0,4...0,4 мм і завширшки 0,23...0,9 мм. Відношення довжини l_f до еквівалентного круглого перерізу d_f фібр рекомендується в межах 23...113. Найчастіше використовують фібри з $l_f/d_f = 8...100$, а за умови максимальної міцності та в'язкості при згині оптимальне відношення складає $l_f/d_f = 73$.

Багато дослідників [2, 9, 16] акцентують увагу на тому, що введення в бетон хаотично орієнтованих коротких волокон мало впливає на міцність сталевібробетону на стиск і на модуль пружності, але приводить до суттєвого збільшення міцності на розтяг та згин.

Поряд з вивченням фізико-механічних характеристик сталевібробетону, багато науковців [3, 13, 14] займалися дослідженнями деформативних властивостей сталевібробетонних конструкцій. Варто зауважити, що застосування сталевібробетону веде до підвищення жорсткості, тріщиностійкості та міцності елементів, які працюють на згинання. Це також дозволяє підви-

щити експлуатаційні показники конструкцій.

Більшість робіт присвячена балочним конструкціям, а от щодо роботи сталевібробетону у плитних шаруватих конструкціях інформації небагато.

МЕТА, ЗАВДАННЯ І МЕТОДИ РОБОТИ

Мета дослідження – дослідити доцільність застосування в шаруватих конструкціях (плитах), високоміцного матеріалу, такого як сталевібробетон і ефективність його роботи при у мові, що розтягуючи зусилля сприймає шар залізобетону, а у стиснутій зоні влаштований шар сталевібробетону.

Виділені основні завдання досліджень одношарових і двошарових плит:

- провести порівняння експлуатаційних якостей одношарових і двошарових плит, які працюють у двовісному напруженому стані;
- дослідити вплив обох шарів двошарових плит на міцність і тріщиностійкість у цілому.

Методи дослідження – експериментальні і теоретичні. Які базуються на рекомендаціях вітчизняних нормативних документів і Європейських стандартів.

ПОЯСНЕННЯ І РЕЗУЛЬТАТИ ДОСЛІДЖЕННЯ

Для порівняння роботи шаруватих конструкцій проводилися експериментальні дослідження напружено-деформованого стану одно-, і двошарових бетонних, залізобетонних та сталевіброзалізобетонних плит під дією поперечного малоциклового навантаження (Рис. 1, 2). Об'єм та характеристика експериментальних зразків наведена у Табл. 1. Тип застосованих сталевих фібр і їх характеристика представлена у Табл. 2.

Як зразки використовувались плити розмірами 800×800×75 мм (Рис. 1).

Для випробовування дослідних плит використовувалася спеціальне обладнання для випробовування плит опертих по контуру з можливістю створювати рівномірно-розподілене навантаження (Рис. 2).

Для армування залізобетонних плит прийнята арматура Ø 5 мм класу Вр-І і арматура Ø 8 мм класу А500С. Арматурні стержні в серіях III, IV, V розташовані у розтягнутій зоні із захисним шаром бетону товщиною 15 мм.

Для порівняння деформаційних властивостей плит випробувані одношарові (серія I, II, III) і двошарові плити (серія IV, V), де шари сталевібробетону розташовані зверху (у стиснутій зоні), див. Табл. 1.

З метою виявлення ступеню сумісної роботи плит випробувані одношарові плити серія I, II, III – бетоні, сталевібробетонні та залізобетонні. Сталевібробетон не має додаткової стержневої арматури, оскільки дослідження різних авторів [4, 12, 13] свідчать про неефективність такого армування. При випробуванні поперечним навантаженням як одношарових, так і двошарових плит використовували одну розрахункову схему – плита шарнірно оперта по контуру і навантажена рівномірно розподіленим навантаженням (Рис. 1).

У процесі навантаження у центрі плити фіксували прогини, а також деформації над опорами за допомогою індикаторів годинникового типу з ціною поділки 0,01 мм. На нижній і верхній сторонах плити вимірювали деформації бетону за допомогою тензорезисторів з базою 50 мм (Рис. 3).

Характер деформування дослідних зразків у зонах з тріщинами залежить від схеми тріщин, тобто від орієнтування тріщин відносно напрямку армування, взаємного перетину тріщин, виникнення тріщин на одній або на обох поверхнях елемента.

Наскрізні тріщини зустрічаються при безмоментному напруженому стані або при додатковій дії невеликих моментів.

Прийняті конструктивні рішення та методика випробовування реалізує різні види руйнування зразків: без тріщин у стиснутій зоні та з тріщинами у стиснутій зоні.

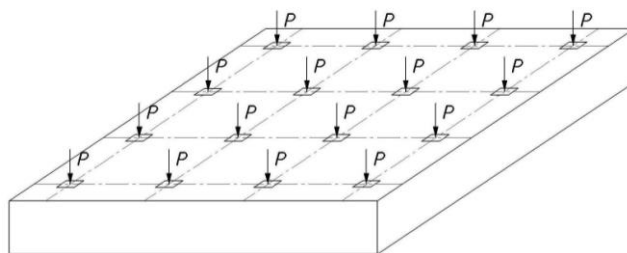


Рис. 1. Схема прикладення рівномірно-розподіленого навантаження на плити:

P – точка прикладення навантаження

Fig. 1. The scheme applying uniformly distributed load on a slabs:

P – point of application of load

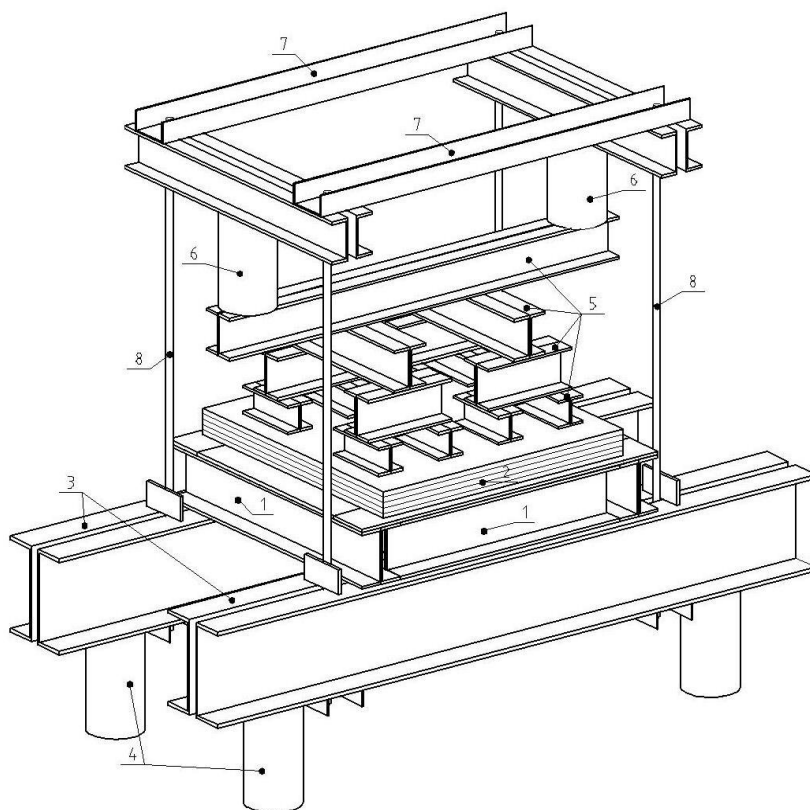


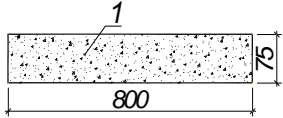
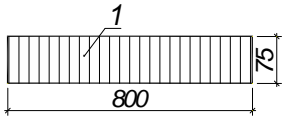
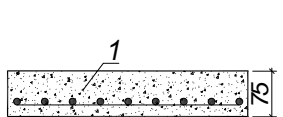
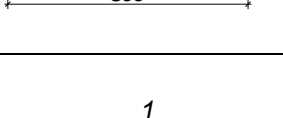
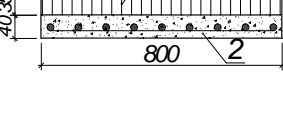
Рис. 2. Загальний вигляд обладнання для випробовування плит опертих по контуру з можливістю створювати рівномірно-розподілене навантаження:

1 – розвантажувальна рама; *2* – плита, що випробовується; *3* – силова рама; *4* – опори; *5* – розподільчі траверси; *6* – гідравлічні домкрати; *7* – розпірки; *8* – тяжі

Fig. 2. General view of the equipment for testing circuit boards reliance on with the ability to create a uniformly distributed load:

1 – loading frame; *2* – slabs; *3* – frame for loading; *4* – support; *5* – Distribution arms; *6* – hydraulic jacks; *7* – spacers; *8* – bands

Таблиця 1. Об'єм експериментальних досліджень
Table 1. Score of experimental studies

№ серії	Марка	Вид зразків	Кількість, шт.	Переріз	Склад
I	ПБ-1	Плита бетонна	3		1 – бетон (по всьому об'єму)
II	ПФ-1	Плита фібробетонна, тип фібри Ф-1	3		1 – фібробетон (по всьому об'єму)
	ПФ-2	Плита фібробетонна, тип фібри Ф-2	3		
III	ПЗ-1	Плита залізобетонна, арматура Ø 5 мм класу Вр-І	3		1 – бетон (по всьому об'єму)
	ПЗ-2	Плита залізобетонна, арматура Ø 8 мм класу А500С	3		
IV	ПФЗ-1	Плита двошарова (залізо+фібробетон, тип фібри Ф-1)	3		1 – фібробетон 2 – залізобетон
	ПФЗ-2	Плита двошарова (залізо+фібробетон, тип фібри Ф-2)	3		
V	ПФЗК-1	Плита двошарова (залізо+фібробетон, тип фібри Ф-1, Ф-2 – коктейль)	3		1 – фібробетон, (коктейль) 2 – залізобетон

Таблиця 2. Характеристика фібр застосованих у експериментальних зразках
Table 2. Characteristics of the fiber employed in the experimental samples

№	Найменування	Діаметр, мм	Довжина, мм	Висота, мм	Загальний вигляд (ескіз)
1	Фібра з дроту хвилеподібної форми, тип Ф-1	1,0	50,0	2,0	
2	Фібра з дроту, що має анкерні кінці, тип Ф-2	0,75	30,0	2,9	

Загальною картиною роботи плит при повторних навантаженнях, аж до їх руйнування є почергове проходження трьох стадій (Рис. 4). Це – стадія пружної роботи до появи першої тріщини, стадія експлуатації, тобто робота з тріщинами і стадія руйнування зразка.

Графік зростання прогинів згинальних елементів, у тому числі плит, опертих по контуру, характеризується трьома ділянками, на яких деформування конструкцій суттєво відрізняється. Перша ділянка поширюється до моменту утворення перших тріщин, а друга – до утворення пластичних

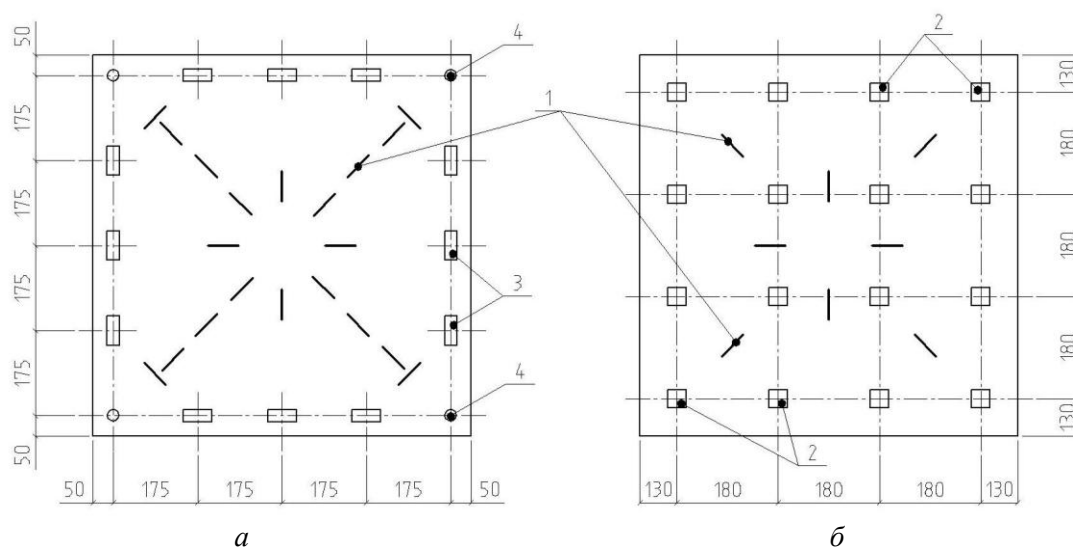


Рис. 3. Схема розташування тензодатчиків і опор випробувальних зразків:
a – вид нижньої поверхні плити; *b* – вид верхньої поверхні плити; 1 – тензодатчик;
 2 – точки прикладання навантаження; 3 – циліндрична опора; 4 – кулькова опори

Fig. 3. Location of load cells and supports test samples:
a – view of the bottom surface plates; *b* – view of the upper surface plate
 1 – strain gauge transducer; 2 – point of application of load; 3 – cylindrical support; 4 – ball bearing

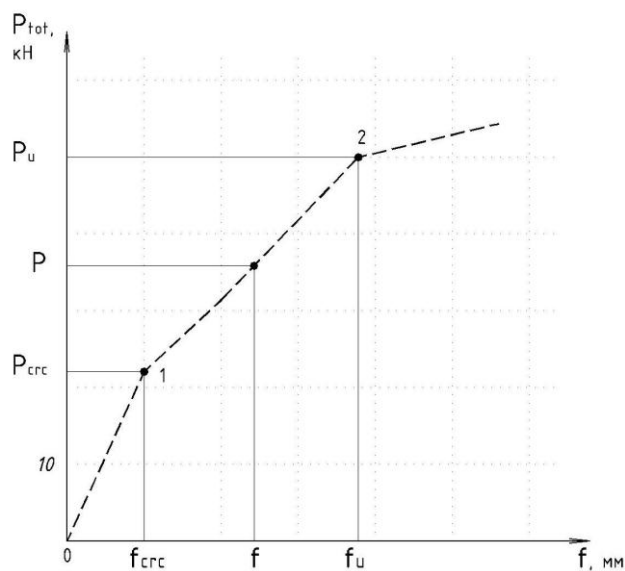


Рис. 4. Розрахункова схема прогинів плит:
 1 – утворення тріщин; 2 – поява пластичних деформацій у розтягнутій зоні

Fig. 4. Diagram deflection plates:
 1 – crack formation; 2 – the appearance of plastic deformations in the stretched area

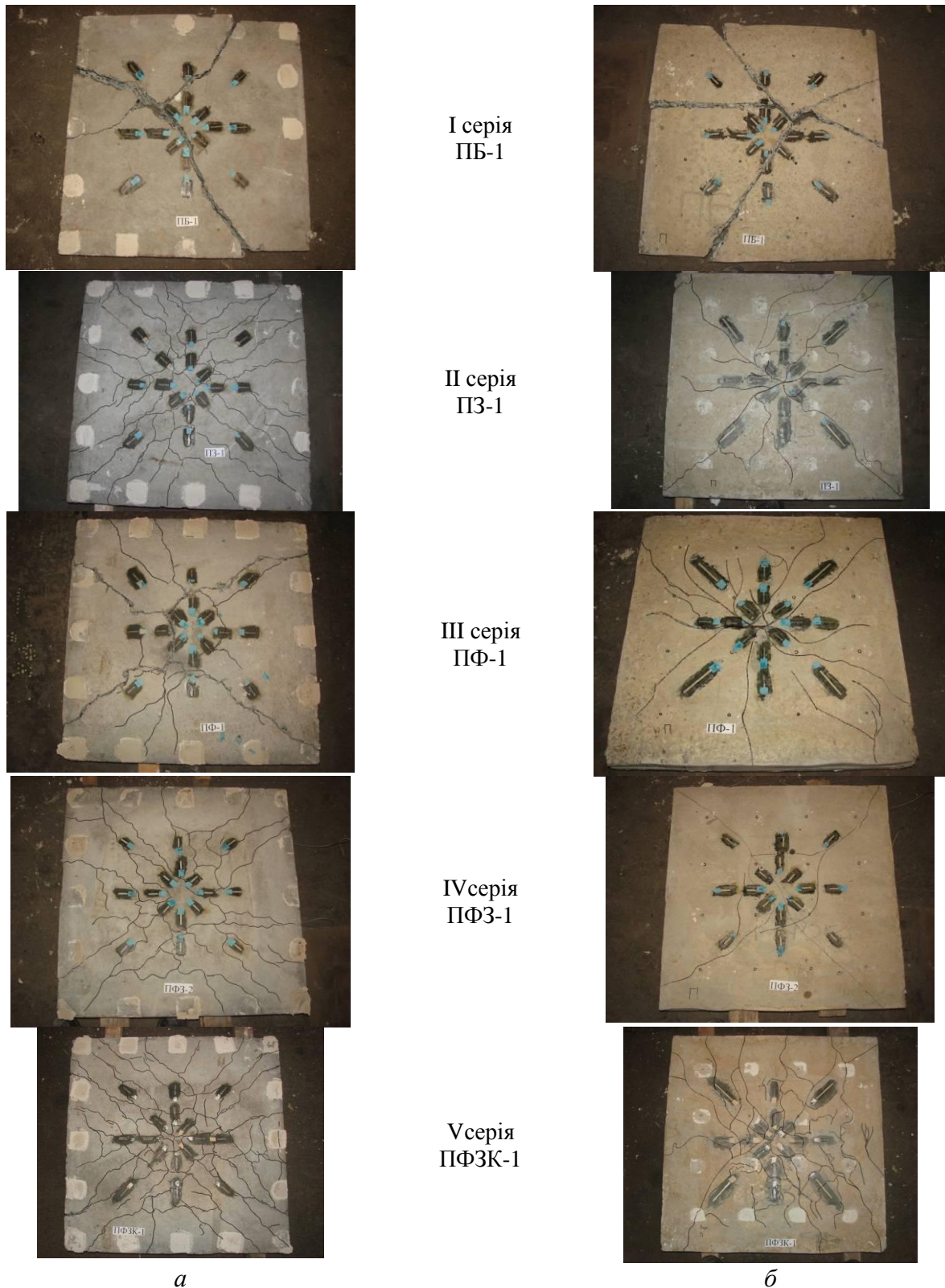


Fig. 5. Загальний вигляд характеру руйнування нижньої та верхньої поверхні плит:

a – нижня поверхня плити; *б* — верхня поверхня плити

Fig. 5. General view of the manner in which the upper and lower surface plates:

a – view of the bottom surface plates; *б* – view of the upper surface plate

шарнірів. До моменту появи перших тріщин, що приблизно відповідає 25...30 кН, прогини зростають повільно. З моменту появи тріщин інтенсивність прогинів значно збільшується. На третій ділянці прогини ростуть практично необмежено.

Більш значне зростання прогинів спостерігається на другій ділянці. Її визначають від 25 кН і до лінії, яка відповідає розвитку пластичних деформацій сталевібробетону і арматури в розтягнутій зоні. Тоді графік характеризуватиметься двома точками (Рис. 4): точкою 1, що відповідає початку утворення тріщин, і точкою 2, яка відповідає межі деформування розтягнутої зони (момент вичерпання несучої здатності).

На третій стадії роботи відбувається порушення зчеплення арматури з бетоном на ділянці між тріщинами, поступово тріщини розкриваються, збільшується їх кількість, зменшується висота стиснутої зони і зростають необоротні деформації бетону. Стадію три використовують при визначенні жорсткості та прогину плити з характерним навантаженням.

Аналіз схем армування плит свідчить про передбачений традиційний характер зламу плит, навантажених рівномірним навантаженням (Рис. 5). На нижній поверхні плит тріщини направлені по бісектрисам кутів і уявляють так званий «конверт». Верхня поверхня плит руйнувалась по лініям зламу в залежності від матеріалу стиснутої зони. Так в плитах I, III серії, які мали стиснуту зону з нерамованого бетону, руйнування відбувалося по лініям зламу, що практично повторювали лінії зламу нижніх поверхонь плит. Плити серії II, IV, V, де стиснута зона представлена із сталевібробетону, практично не руйнувалися.

Проаналізувавши результати про деформації у стиснутій зоні плит різних серій, дійшли висновку, що доцільно прийняти форму епюри напружень трикутну для серій I, II, а для серій III, IV, V — прямокутну.

Втрату несучої здатності плит визначають реалізацією межі міцності сталевібробетону або текучості арматури на усіх лініях зламу, які визначають схему зламу плит. Найбільші зусилля, що передаються пли-

Таблиця 3. Руйнівні зусилля дослідних плит за результатами експериментальних випробувань за міцністю

Table 3. Devastating research efforts slabs on the results of experimental tests for durability

№ серії	Марка	Загальне зусилля на плиту P_{tot} , кН		Зусилля на плиту P_l , кН		Згинальний момент M_{exp} , кНм	
		кожної плити	кожної плити	середнє	середнє	середнє	середнє
I	ПБ-1	46,6	46,6	2,92	2,92	1,71	1,71
II	ПФ-1	51,2	50,45	3,20	3,15	1,86	1,83
	ПФ-2	49,7		3,11		1,81	
III	ПЗ-1	62,4	73,6	3,90	4,60	2,27	2,70
	ПЗ-2	84,8		5,30		3,14	
IV	ПФЗ-1	64,5	64,8	4,30	4,19	2,55	2,47
	ПФЗ-2	65,1		4,07		2,39	
V	ПФЗК-1	65,3	65,3	4,08	4,08	2,41	2,41

тою на контур (на одиницю ширини), знаходяться на середніх ділянках з кожної сторони плити. Кути плит з вільно опертими сторонами під навантаженням трохи підіймаються, у кутах з'являються тріщини (Рис. 5).

Оцінювання відносної ефективності одношарових і двошарових дослідних наведених у (Табл. 3).

Як свідчить (Табл. 3, 4), традиційні конструктивні рішення плит у вигляді залізобетону з включенням поздовжньої арматури у розтягнутій зоні мають перевагу перед неармованим сталевібробетонном, як у одношарових, так і двошарових плит. Армований у розтягнутій зоні залізобетонні плити виявились більше ніж на 30% міцніше, ніж плити з неармованим розтягнутим шаром сталевібробетону.

Що стосується двошарових плит, то вони показали практично однакову міцність у порівнянні з одношаровими. Це сталося тому, що шар сталевібробетону за своїми міцнісними і деформативними характеристиками практично не відрізняються від важкого бетону. Тут вирішальну роль зіграла економічна доцільність використаного матеріалу.

З появою тріщин робоча висота перерізу плити, тобто відстань від верху тріщини до стиснутої грані перерізу зменшується та розтягувальні напруження у волокнах над тріщиною зростають. Тріщина швидко розвивається і руйнування сталевібробетонної плити відбувається по перерізу, у якому з'явилася перша тріщина раніше, чим з'являються тріщини у решті перерізів. Міцність стиснутої зони залишається далеко не вичерпаною. Внаслідок цього, ніяких ознак руйнування верхньої поверхні одношарових плит не виявлено. Ще один чинник збереження цілісності верхньої площини плити – відносна висока гранична деформація на стиск – 185×10^{-5} , що майже на 20% вище від важкого бетону.

ПРОПОЗИЦІЇ ЩОДО РОЗРАХУНКУ ДОСЛІДНИХ ЗРАЗКІВ

За результатами експериментальних досліджень з урахуванням характеру руйнування усі плити зруйнувалися за нормальними перерізами (Рис. 5). Зважаючи на те, що наявність тріщин у розтягнутих зонах плит суттєво зменшує вплив крутних мо-

Таблиця 4. Зусилля тріщиноутворення дослідних плит за результатами експериментальних випробувань

Table 4. Efforts crack research slabs on the results of experimental tests

№ серії	Марка	Загальне зусилля на плиту P_{tot} , кН		Зусилля тріщиноутворення P_{cr} , кН		Згинальний момент M_{cr} , кНм	
		кожної плити	кожної плити	середнє	середнє	середнє	середнє
I	ПБ-1	46,6	46,6	24	24	0,86	0,86
II	ПФ-1	51,2	50,45	27	27,5	0,93	0,92
	ПФ-2	49,7		28		0,91	
III	ПЗ-1	62,4	73,6	31	37,5	1,10	1,32
	ПЗ-2	84,8		44		1,54	
IV	ПФЗ-1	64,5	64,8	32	32,5	1,22	1,21
	ПФЗ-2	65,1		33		1,19	
V	ПФЗК-1	65,3	65,3	34	34	1,20	1,20

ментів, можна розглядати плиту як балочну, вважаючи, що у кожному напрямку плита несе половину навантаження.

Для обчислення розрахункового опору сталевібробетону на стиск використовувалась залежність [5, 8]:

$$R_{sfb} = R_b + k_n^2 \varphi_f \mu_{fv} R_f, \quad (1.1)$$

де R_b – опір бетону матриці на осьовий стиск (призмova міцність);

k_n – коефіцієнт, що враховує роботу фібр в перерізі, перпендикулярному до напрямку зовнішньої стискаючої сили;

μ_{fv} – коефіцієнт об'ємного армування;

R_f – опір фібр розтягуванню;

φ_f – коефіцієнт ефективності фібрового армування, який визначається за формулою:

$$\varphi_f = \frac{5+L}{1+4,5L} \quad (1.2)$$

де

$$L = \frac{k_n^2 \mu_{fv} R_f}{R_b}.$$

Міцність сталевібробетону на розтяг залежить від об'ємного коефіцієнта армування, виду, розмірів і характеру поверхні фібр, класу бетону матриці, а також від геометричних розмірів перерізу елемента. При цьому, розрізняли два випадки руйнування сталевібробетонного елемента: перший — висмикування усіх фібр, другий — розрив і висмикування частини фібр. У першому випадку, при $l_{f,an} > \frac{l_f}{2}$, міцність сталевібробетону на розтяг визначають за формулою:

$$R_{sfb,t} = m_2 R_b \left[\frac{(k_{02} \mu_{fv} l_f)}{(4 \eta d_f)} + 0,08 - 5,5 \mu_{fv} \right], \quad (1.3)$$

а у другому випадку, при $l_{f,an} < \frac{l_f}{2}$

$$R_{sfb,t} = m_1 \left[(k_{02} \mu_{fv} R_f) \left(1 - \frac{l_{f,an}}{l_f} \right) + R_b (0,08 - 5,5 \mu_{fv}) \right] \quad (1.3)$$

де

$$l_{f,an} = \frac{(\eta d_f R_f)}{R_b} \quad (1.4)$$

$l_{f,an}$ – мінімальна довжина анкерування фібр в бетоні, що відповідає їх обриву при висмикуванні, мм;

$m_1 = 1,1$ – для фібр з анкерами і $m_1 = 1,0$ – для фібр без анкерів;

$m_2 = 1,2$ – коефіцієнт умов роботи фібр;

d_f і l_f – відповідно діаметр та довжина фібр, мм;

k_{02} – коефіцієнт орієнтації фібр відносно напрямку головних розтягувальних напружень;

η – характеристика зчеплення фібр з бетоном.

Розрахунок міцності згинального елемента пропонується виконати за формулою

$$M_u = \frac{1}{2} f_{cmf} b x \left(\frac{h}{2} + \frac{x}{6} \right) \quad (1.5)$$

де висоту стиснутої зони x необхідно, зважаючи на епюру деформацій, визначати за формулою:

$$x = \frac{\varepsilon_{cf}}{\varepsilon_{cf} + \varepsilon_{cft}} h = \xi \times h \quad (1.6)$$

де ε_{cf} , ε_{cft} – відповідно деформації стиску і розтягу крайніх волокон перерізу.

Момент утворення тріщин з урахуванням непружних деформацій розтягнутого бетону при дії моменту в площині перерізу допускається визначати за формулою:

$$M_{cr} = f_{ct} W_{pl} \quad (1.7)$$

де f_{ct} – межа міцності бетону (сталефібробетону) на розтяг;

W_{pl} – пластичний момент опору приведеного перерізу для крайнього розтягнутого бетону.

ВИСНОВКИ

1. Виконані експериментальні дослідження свідчать про ефективність шаруватих плит. Двошарові плити у порівнянні з одношаровими виявили стійку тенденцію поліпшення експлуатаційних якостей міцності та тріщиностійкості.

2. Характер утворення тріщин у плитах, опертих по контуру під дією рівномірного навантаження, повністю відповідає традиційній схемі зламу тонких плит. На нижній поверхні плит тріщини направлені по бісектрисам кутів, уявляють так званий "конверт".

3. Експериментальні дослідження плит показують, що усі зразки зруйнувалися за нормальними перерізами від дії згинальних моментів. При цьому, традиційні конструкції залізобетонних плит з поздовжнім армуванням у розтягнутій зоні мають переваги перед сталефібробетонними плитами, як у одношаровому, так і двошаровому виконанні. Залізобетонні плити майже на 30% міцніші, ніж плити з неармованим шаром сталефібробетону.

4. Двошарові плити показують практично однакову міцність з одношаровими. Це результат того, що сталефібробетон за своїми міцністними і деформативними характеристиками підібрано таким, що практично не відрізняється від важкого бетону. Тут прийнята до уваги краща сумісна робота обох матеріалів і економічна доцільність.

ЛІТЕРАТУРА

1. **Адамов А.А., 1986.** Прочность и трещиностойкость изгибаемых элементов покрытий гражданских зданий из сталефибробетона. Автореф. дисс. канд. техн. наук, Москва, 29.

2. **Бабич В.Є., 2004.** Визначення робочої поздовжньої арматури в згинальних залізобетонних елементах з використанням деформативної моделі перерізів. Ресурсоекономні матеріали, конструкції, будівлі та споруди. Збірник наукових праць. Рівне. Вип.11, 116-123.
3. **Бабич Є.М., Крусь Ю.О., Дробишинець С.Я. 2005.** Напружено-деформований стан і міцність згинальних сталефібробетонних і сталефіброзалізобетонних елементів. Ресурсоекономні матеріали, конструкції, будівлі та споруди. Рівне. Вип.12, 91-99.
4. **Бамбура А.Н., 2001.** К оценке прочности железобетонных конструкций на основе деформационного подхода и реальных диаграмм деформирования бетона и арматуры. Бетон на рубеже третьего тысячелетия. Материалы Первой Всероссийской конференции по проблемам бетона и железобетона. Секционные доклады, Кн.2, 711-717.
5. **Барашиков А.Я., 2003.** Проблеми розвитку залізобетонних конструкцій в Україні. Будівельні конструкції. Київ, НДІБК, Вип.59. Кн.1, 17-21.
6. **Горбатенко Е., Братасюк И, Шаров В., 2015.** Мобильные сооружения в береговой гидротехнике. Подводные технологии. Киев. Вып.01. 23-32.
7. **Гришин В., Гембарський Л., Снісаренко В., 2015.** Існуючі й проєктовані штучні острови та їх призначення. Підводні технології, Вип.02, 32-39.
8. **Дедюхов А.А., 1989.** Прочность фибробетона, армированного различными волокнами. Бетон и железобетон, Вип.8, 13-14.
9. **ДСТУ-Н Б В.2.6-78:2009.** Настанова з проєктування та виготовлення сталефібробетонних конструкцій. Київ, Мінбуд. України, 63.
10. **Дробишинець С.Я., 2002.** Вплив малоциклових навантажень на опір сталефібробетону осьовому стиску. Вісник УУВГП, Збірник наук. праць, Рівне, Вип.5(18), 24-28.
11. **Лысенко Е.Ф., Гетун Г.В., 1989.** Проектирование сталефибробетонных конструкций. Киев, Учебно-метод. кабинет ВО УССР, 183.
12. **Кухнюк О.М., 2001.** Вплив малоциклових навантажень на механічні характеристики бетону та роботу згинальних залізобетонних елементів. Дис. канд. техн. наук. Рівне, 243.
13. **СП 52-101-03., 2003.** Бетонные и железобетонные конструкции без предварительного напряжения арматуры. Свод правил. Москва, Госстрой России, 125.

14. **Сунак О.П., 2000.** Оцінювання надійності сталевібробетонних елементів: дис. канд. техн. наук. Луцьк, 147.

REFERENCES

1. **Adamov A.A., 1986.** Prochnost' y treshhynostojkost' yzgybaemyh elementov pokrytyj grazhdanskyh zdanyj yz stalefybrobetona. Avtoref. dys. kand. tehn. nauk, Moskva, 29 (in Russian).
2. **Babych V.Je., 2004.** Vyznachennja robochoi' pozdovzhn'oi' armatury v zgynal'nyh zalizobetonnyh elementah z vykorystannjam deformacijnoi' modeli pereriziv. Resursoekonomni materialy, konstrukcij, budivli ta sporudy. Zbirnyk naukovykh prac'. Rivne, Vyp.11, 116-123 (in Ukrainian).
3. **Babych Je.M., Krus' Ju.O., Drobyshynec' S.Ja. 2005.** Napruzhenno-deformovanyj stan i micnist' zgynal'nyh stalefybrobetonnyh i stalefibrozalizobetonnyh elementiv. Resursoekonomni materialy, konstrukcii', budivli ta sporudy. Rivne, Vyp.12, 91-99 (in Ukrainian).
4. **Bambura A.N., 2001.** K ocenke prochnosti zhelezobetonni'h konstrukcij na osnove deformacyonnogo podhoda y real'nyh dyagramm deformyrovanyja betona y armatury. Beton na rubezhe tret'ego tysjacheletija. Materyaly Pervoj Vserossyjskoj konferencyy po problemam betona y zhelezobetona. Sekcyonnye doklady. Kn.2, 711-717 (in Russian).
5. **Barashykov A.Ja., 2003.** Problemy rozvytku zalizobetonnyh konstrukcij v Ukrai'ni. Budivel'ni konstrukcii'. Kyi'v, NDIBK, Vyp.59. Kn.1, 17-21 (in Russian).
6. **Gorbatenko E., Bratasjuk Y, Sharov V., 2015.** Mobylnye sooruzhenija v beregovoj gydrotehnyke. Pidvodni tehnologii', Vyp.01, 23-32 (in Ukrainian).
7. **Gryshyn V., Gembars'kyj L., Snisarenko V., 2015.** Isnujuchi j proektovani shtuchni ostrovy ta i'h pryznachennja. Pidvodni tehnologii', Vyp.02, 32-39 (in Ukrainian).
8. **Dedjuhov A.A. 1989.** Prochnost' fybrobetona, armyrovannogo razlychn'my voloknamy. Beton j zhelezobeton. № 8, 13-14 (in Russian).
9. **DSTU-N B V.2.6-78:2009.** Nastanova z proektuvannja ta vygotovlennja stalefibrobetonnyh konstrukcij. Kyi'v, Minbud Ukrai'ny, 63 (in Russian).

10. **Drobyshynec' S.Ja., 2002.** Vplyv malocyklovyh navantazhen' na opir stalefybrobetonu os'ovomu stysku. Visnyk UUVGP. Zbirnyk nauk. prac', Rivne, Vyp.5(18), 24-28 (in Ukrainian).
11. **Lysenko E.F., Getun G.V., 1989.** Proektyrovanye stalefybrobetonnyj konstrukcij. Kyev. Uchebno-metodycheskyj kabynet VO USSR, 183 (in Russian).
12. **Kuhnjuk O.M., 2001.** Vplyv malocyklovyh navantazhen' na mehanichni harakterystyky betonu ta robotu zgynal'nyh zalizobetonnyh elementiv: Dys. kand. tehn. nauk. Rivne, 243 (in Ukrainian).
13. **SP 52-101-03., 2003.** Betonnye y zhelezobetonnye konstrukcy bez predvartel'nogo naprjazhenija armatury. Svod pravyl. Moskva, Gosstroj Rossy, 125 (in Russian).
14. **Sunak O.P., 2000.** Ocinjuvannja nadijnosti stalefybrobetonnyh elementiv: Dys. kand. tehn. nauk. Luc'k, 147 (in Ukrainian).

The strength and crack resistance fiber concrete slabs supported on four sides on repeated loads

Oleg Skoruk

Kyiv National University of Construction and Architecture
 Povitroflotskyj prosp., 31, Kyiv, Ukraine, 03037, 2120756@mail.ru
 orcid.org/0000-0003-3510-3758

Summary. Experimental and theoretical researches were conducted tensely deformed to the state one, and two-layer concrete, reinforce-concrete and steel fiber concrete slabs under the action of the transversal loading.

At studied the strength and crack resistance of supported on four sides slabs under the action in loading the calculation of own experimental researches and comparison of the experimental bindings of the noted slabs with theoretical calculations after different methods and operating normative documents.

Key words: fiber, steel fiber concrete, composite material, deflection, slab.

Інформація

Про журнал

Міжнародний науково-виробничий журнал «Підводні технології» видається Київським національним університетом будівництва і архітектури спільно з асоційованими членами видання:

- ✓ Polska Akademia Nauk (Przedstawicielstwo w Kijowie), Академія будівництва України
- ✓ Національна академія наук України (Інститут механіки імені С.П. Тимошенко, Інститут геологічних наук, Інститут гідромеханіки, Інститут геотехнічної механіки імені М.С. Полякова, Інститут телекомунікацій і глобального інформаційного простору)
- ✓ Вищі навчальні заклади України (Київський національний університет імені Тараса Шевченка, Національний гірничий університет (Дніпропетровськ), Національний університет кораблебудування імені адмірала Макарова (Миколаїв), Харківський національний університет радіоелектроніки, Харківський національний університет будівництва і архітектури, Національний університет водного господарства та природокористування (Рівне), Національний лісотехнічний університет України (Львів), Івано-Франківський національний технічний університет нафти і газу, Одеський національний морський університет; Одеська державна академія будівництва і архітектури)
- ✓ НДПідземспецбуд.

Електронний архів зберігається на сайтах:

- www.uwtech.at.ua (журнал «Підводні технології»)
- www.panukraina.pl (PAN, представництво в Києві)
- www.usj.org.ua (веб-ресурс «Українські наукові журнали»)
- www.irbis-nbuv.gov.ua (НБУ імені Володимира Вернадського)
- www.akadembud.org (АБ України)
- www.science.knuba.edu.ua та <http://library.knuba.edu.ua> (КНУБА)
- www.geol.univ.kiev.ua/ua (Інститут геології КНУ імені Тараса Шевченка)
- <http://www.nuos.edu.ua> (НУК імені академіка Макарова)
- www.nure.ua (ХНУРЕ)
- www.nmu.org.ua (ДВНЗ НГУ).

Правила публікації

В міжнародному науково-виробничому журналі «Підводні технології» публікуються оригінальні матеріали обсягом 8 – 12 сторінок, включно з таблицями, рисунками та списком літератури. Статті підлягають подвійному рецензуванню, у тому числі залученими редакцією незалежними експертами. Дописувачі передають видавцю авторське право на тексти та письмові дозволи для відтворення рисунків і таблиць з неопублікованих раніше або захищених авторським правом матеріалів.

До редакції (разом з копією на e-mail: uwtech@ukr.net) подають:

- 1) *Текст статті* (англомовна – *завірений переклад*)
- 2) *Угоду* про вільне використання авторського права
- 3) *Рецензію* (з повним ім'ям рецензента)
- 4) *Авторську довідку* (прізвище, ім'я та по-батькові; науковий ступінь, вчене звання, посада та місце роботи; контактний телефон, електронна адреса, ідентифікатор ORCID; фото автора в .jpg).

Вимоги до статей

Загальні правила:

- параметри сторінки: формат А4, верхнє та нижнє поля – 2,5 см, лівє та правє – 2 см; шрифт Times New Roman; колонтитули 1,2 см, абзацний відступ 0,5 см; розмір основного тексту 12, анотацій і літератури – 11, міжрядковий інтервал 1
- статтю форматують у дві колонки по 8 см з проміжком 1 см (розширення .doc); використовують тільки автоматичні переноси слів
- назви таблиць та підписи під рисунками (розмір 11) дублюють англійською мовою і розміщують ліворуч графічного об'єкту
- наприкінці статті подають: транслітерований список літератури (<http://translit.net>), а також повторюють англійською її назву, вихідні дані й анотацію; в англійській статті – те саме зазначають російською мовою.

Структурування:

- вихідні дані (шрифт Arial): назва рукопису (н/ж, ф.14), ім'я та прізвище авторів (курсив, ф.12), місце роботи, повна поштова адреса, e-mail, ідентифікатор ORCID (світло, ф.10) – якщо вони різні, зазначають цифровими зносками. Від вихідних даних до верхнього поля сторінки та до основного тексту – залишають по 5 пустих рядків
- структурні підрозділи статті:
 - АНОТАЦІЯ (Summary) (150 – 200 слів)
 - КЛЮЧОВІ СЛОВА (Key words) до 5 слів
 - ВСТУП (Introduction)
 - МЕТА І МЕТОДИ (Materials and Methods)
 - РЕЗУЛЬТАТИ ТА ПОЯСНЕННЯ (Results and Discussion)
 - ВИСНОВКИ ТА РЕКОМЕНДАЦІЇ (Conclusions and References)
- назва статті – інформативна та коротка; структура анотації – аналогічна структурі статті, без використання скорочень та абревіатур (усі пояснення дають в тексті); посилання в тексті – не більше 5 пунктів в одному місці
- таблиці та рисунки розміщують після першого згадування про них, великі – притискують до верху або низу сторінки (не розривати одночасно обидві колонки тексту)
- ілюстрації – у форматах .jpg, .gif, .tif з роздільною здатністю не менше 300 dpi.

Оформлення:

- пишуть прямо – цифри, грецькі букви, кирилицю, тригонометричні функції (tan, sin та ін.), усталені вирази (max, const та ін.), хімічні елементи; курсивом – англійські символи формул, римські цифри, номери експлікації
- між формулами, рисунками, таблицями і текстом залишають по одному пустому рядку
- формули (розміром 12-10-8-12-16) набирають в Eq.3 та центрують, нумерація – праворуч колонки; таблиці – не перевищують область друку сторінки
- слова «Табл.» (Table), «Рис.» (Fig.) пишуть з великої букви, в тексті – світло, в назві – н/ж; текст на полях рисунків зводять до мінімуму
- в списку літератури – не менше 20 посилань; в якості розділових знаків використовують тільки крапку і кому (стандарт APA).

Приклади:

- оформлення статей у MS Word – на сайті www.uwtech.at.ua.

Імпакт-фактор журналу «Підводні технології», 03/2016 складає 1,4 (березень, 2016).

Автори публікацій

- Олександр Безверхий** – доктор фізико-математичних наук, професор, завідувач відділу електропружності Інституту механіки імені С.П. Тимошенка НАН України, Київ
- Володимир Блінцов** – доктор технічних наук, професор, проректор з наукової роботи Національного університету кораблебудування імені адмірала Макарова, Миколаїв
- Олександр Блінцов** – кандидат технічних наук, доцент, докторант Національного університету «Львівська політехніка», Львів
- Олександра Бондар** – аспірант Київського національного університету будівництва і архітектури, Київ
- Олександр Клочков** – викладач Національного університету кораблебудування імені адмірала Макарова, Миколаїв
- Вікторія Корнієнко** – кандидат технічних наук, старший науковий співробітник Інституту механіки імені С.П. Тимошенка НАН України, Київ
- Сергій Костиря** – співробітник Інституту геотехнічної механіки імені Н.С. Полякова НАН України, Дніпропетровськ
- Петро Куліков** – доктор технічних наук, професор, ректор Київського національного університету будівництва і архітектури, Київ
- Нелля Лещенко** – кандидат архітектури, доцент, доцент кафедри інформаційних технологій в архітектурі Київського національного університету будівництва і архітектури, Київ
- Ольга Медведєва** – кандидат технічних наук, старший науковий співробітник, Інституту геотехнічної механіки імені Н.С.Полякова НАН України, докторант ДВНЗ НГУ, Дніпропетровськ
- Володимир Надутий** – доктор технічних наук, професор, завідувач відділу механіки машин і процесів переробки мінеральної сировини Інститут геотехнічної механіки імені Н.С. Полякова НАН України, Дніпропетровськ
- Микола Осстрін** – кандидат технічних наук, професор, професор кафедри міського будівництва Київського національного університету будівництва і архітектури, Київ
- Олег Скорук** – аспірант кафедри залізобетонних конструкцій Київського національного університету будівництва і архітектури, Київ
- Михайло Сукач** – доктор технічних наук, професор, професор кафедри будівельних машин Київського національного університету будівництва і архітектури, Київ
- Людмила Рубан** – кандидат архітектури, доцент, докторант кафедри ландшафтної архітектури Київського національного університету будівництва і архітектури, Київ
- Валентина Челишкіна** – співробітник Інституту геотехнічної механіки імені Н.С. Полякова НАН України, Дніпропетровськ

Індексування видання

Журнал «Підводні технології» подано до наукометричних баз:

- "Ulrichs web" – <http://ulrichsweb.serialssolutions.com>
- "Index Copernicus" – www.journals.indexcopernicus.com
- "Research Bible" – <http://journalseeker.researchbib.com>
- "Web ИРБИС" – <http://irbis-nbuv.gov.ua>
- "Get CITE" – <http://www.getcited.org>
- "JOUR Info" – <http://jourinfo.com>
- "The Global Impact Factor" – <http://globalimpactfactor.com>
- "Scientific Indexing Services" – <http://www.sindexs.org>
- "Google academy" – <http://scholar.google.com.ua/citations?user=2-FASc4AAAAJ&hl=uk>

Науково-виробниче видання

ПІДВОДНІ ТЕХНОЛОГІЇ

ПРОМИСЛОВА ТА ЦИВІЛЬНА ІНЖЕНЕРІЯ

Випуск 03/2016

Статті публікуються в авторській редакції

- ▶ Оформлення, стиль та зміст журналу є об'єктом авторського права і захищається законом
- ▶ Відповідальність за зміст та достовірність наведених даних несуть автори публікацій
- ▶ Редакція залишає за собою право редагувати та скорочувати подані матеріали
- ▶ Усі статті одержали позитивну оцінку незалежних рецензентів
- ▶ Передрук розміщених у журналі матеріалів дозволяється тільки за письмовою згодою редакції

Рецензенти статей

Валерій Гавриленко
Сергій Дзюба
Микола Дьомін
Юрій Жуков
Петро Захарченко
Володимир Ковбаса
Валерій Некрасов
Алла Плешкановська
Євген Семененко
Валерій Товбич

Оригінал-макет виготовлено в редакції журналу «Підводні технології»

Керівник видавничого проекту *Віталій Зарицький*
Комп'ютерний дизайн *Олени Щербини*
Верстка і обкладинка *Дмитра Міщука*

Редакція журналу

КНУБА, Повітрофлотський проспект, 31
лаб. корпус, оф. 2313, Київ, Україна, 03037
+38(044) 2454217, +38(095) 6297417
www.uwtech.at.ua, uwtech@ukr.net

Віддруковано

Видавництво Ліра-К
Свідоцтво № 3981, серія ДК
вул. Прилужна, 14, оф. 42, Київ, Україна, 03067
+38(044) 2479337, +38(044) 4509196
www.lira-k.com.ua, lira-k@ukr.net

Підписано до друку 28.03.2016. Формат 60×84 1/8
Папір офсетний. Друк офсетний. Гарнітура Times New Roman
Ум.-друк. арк. 11,16. Наклад 100 прим.