

Теорія і практика будівництва

№8, 2011

Засновники:

Українська академія наук,
Київський національний університет
будівництва і архітектури

ЗМІСТ:

Редакційна колегія:

Бойко І.П., д.т.н.;
Друкований М.Ф., д.т.н.;
Дудар І.Н., д.т.н.;
Дьомін М.М., д.арх.;
Єсіпенко А.Д., д.т.н.;
Кіслов В.В., д.т.н.;
Лагунін Г.В., д.т.н.;
Лівінський О.М., д.т.н.;
Менейлюк О.І., д.т.н.;
Назаренко І.І., д.т.н. (Головн. редактор);
Оніпко О.Ф., д.т.н.;
Ратушняк Г.С., к.т.н.;
Сабалдир В.П., к.т.н.;
Савицький М.В., д.т.н.;
Смірнов В.М., к.т.н.;
Соха В.Г., к.т.н.;
Терновий В.І., к.т.н. (Відповід. секретар);
Тугай О.А., д.т.н.; (Заст. головн. ред.);
Черненко В.К., д.т.н.

*Статті друкуються в авторській редакції
Відповідальність за достовірність даних у
відкритому друку несуть автори.*

Банахевич Р.Ю., Крупка В.О., Лук'яненко В.П. Фактори та причини виникнення гідратних утворень в порожнинах труб при магістральному транспорті газу.....	3
Берник І.М. Основні засади проектування машин і обладнання переробних виробництв.....	6
Сівко В.Й. Теоретичні основи руйнування середовищ в умовах напружено-деформованого стану.....	9
Свиридюк Д.Я. Аналіз та оцінка конструктивно – технологічних параметрів бетонозмішувачів.....	11
Діктерук М.Г., Човнюк Ю.В., Чмель Ю.О. Моделювання процесу сушіння сипких будівельних матеріалів при використанні комбінованих теплогенераторів.....	15
Терновий В.І., Молодід О.С., Гуцуляк Р.Б. Дослідження складу реставраційної цем'янкової штукатурки.....	19
Федосова О.В., Молодід О.О. Квазілінійне моделювання техно-економетричних залежностей економічної безпеки будівельних підприємств київщини.....	23
Гришин В.А., Снисаренко В.И., Гришин А.В. Статический расчет склонов.....	28
Клапченко В. І., Тесля Ю.М. Ймовірнісна інтерпретація механічного руху.....	32

УДК 622.691

Банахевич Р.Ю., Крупка В.О., Лук'яненко В.П.¹

ФАКТОРИ ТА ПРИЧИНИ ВИНИКНЕННЯ ГІДРАТНИХ УТВОРЕНЬ В ПОРОЖНИНАХ ТРУБ ПРИ МАГІСТРАЛЬНОМУ ТРАНСПОРТІ ГАЗУ

В енергетичному балансі України частка природного газу в загальному обсязі споживання первинної енергії становить приблизно 45%, що вдвічі більше ніж у розвинутих країнах [1]. Сам же природний газ доставляється споживачам України через складну і дуже розгалужену систему магістральних трубопроводів та газопроводів-відгалужень. Газотранспортна система (ГТС) України є однією з найпотужніших і найстаріших в світі, а тому їй притаманні всі відомі на сьогодні фактори, переваги і недоліки, які в процесі експлуатації газопроводів проявили себе.

Відомо, що Україна частину газу експортує з ГТС Росії, а іншу отримує із власного видобутку. Газ, який надходить із системи газопроводів РАТ "Газпром" є в основному кондиційним і за основними параметрами відповідає контрактним зобов'язанням. Друга частина газу, яка видобувається із вітчизняних родовищ, не завжди відповідає стандартам, а тому в ГТС ДК "Укртрансгаз" виникають проблеми, що потребують свого дослідження та розв'язання. Однією з них і є гідратні корки в порожнині газопроводу.

Як відомо із літературних джерел та практики експлуатації газопроводів, через низьку якість осушення газу на промислах та ще цілий ряд інших причин в газопроводах конденсується волога, внаслідок чого знижується пропускна здатність газопроводу і виникають умови для утворення кристалогідратів, які своїм виглядом нагадують сніг або лід [2].

На горизонтальних і низхідних ділянках траси рідина, що накопичилась в порожнині газопроводу, рухається у вигляді плівки по стінках труби. Рух газу призводить до утворення хвиль на поверхні плівки, на що витрачається значна енергія газового потоку [3]. Найбільша кількість рідини накопичується на висхідних ділянках газопроводу, утворюючи гідравлічний затор, частково чи повністю перекриваючи січення труби [4]. Зміну гідравлічного опору трубопроводу з часом його експлуатації можна оцінити коефіцієнтом гідравлічної ефективності. [5].

Кристалогідрати були відкриті відомим англійським хіміком Х. Деві в 1810 році і за своєю структурою є сполуками включення, які утворюються шляхом впровадження в пустоти кристалічних структур, створених із молекул води, молекул газу.

Максимальна величина вологовмісту (при

повному насиченні) залежить від хімічного складу газу і зростає зі збільшенням кількості H₂S і CO₂ і зменшується з підвищенням вмісту N₂.

Слід зауважити, що на даний час запаси газу і пластовий тиск газу на родовищах України поступово зменшуються. Величина пластового тиску визначає тиск в газопроводах системи видобутку і збору газу та міжпромислових газопроводах. Величину тиску в газопроводах-відводах, що подають газ до магістрального газопроводу, визначає тиск в останньому та втрати тиску на транспортування.

Зростання об'єму забруднень в порожнині газопроводу призводить до зростання втрат тиску в місцевих опорах, внаслідок утворення в понижених місцях траси газопроводу застійних зон рідини, гідравлічних пробок тощо.

Питання зменшення втрат тиску під час транспортування газу системою газопроводів, що транспортують газ ГКР, передбачає ряд заходів, серед яких чільне місце посідає очистка порожнини газопроводів від накопичених забруднень, що передбачає вирішення низки питань щодо збору і утилізації певного об'єму забруднень. В останній час багато уваги також приділено перерозподілу потоків в регіонах збільшеного споживання газу і подачу його системою газопроводів із забезпеченням якомога менших перепадів тиску.

Крім того, економія енергоресурсів в Україні, в тому числі і в основному імпортного походження, має передбачити споживання газу власного видобутку і його подачу системою діючих газопроводів із зменшенням енерговитрат на компресування газу на компресорні станції всіх типів шляхом зменшення втрат тиску газу під час його транспортування.

На даний час більшість родовищ знаходяться на завершальній стадії експлуатації, поступове зниження пластового тиску призводить до того, що обладнання на УКПГ, шлейфи і газопроводи системи видобутку та збору газу експлуатуються на тисках значно менших за проектні, а зниження дебіту свердловин є причиною транспортування газу по ГТС з продуктивністю, яка є меншою за проектну. Це, з одної сторони позначається на зниженні швидкостей транспортування газу, що сприяє за певних термодинамічних умов осадженню значної кількості рідинних забруднень вже в шлейфах свердловин, з іншої - у неефективній роботі сепараційного обладнання

¹ Банахевич Р.Ю., УМГ «Львівтрансгаз» ДК «Укртрансгаз»; Крупка В.О., ДК «Укртрансгаз» НАК «Нафтогаз України»; Лук'яненко В.П., ПрАТ «ПВІ ЗІТ Нафтогазбудізоляція».

на УКПГ, що, в цілому, призводить до збільшення перепадів тиску трасою газопроводів системи збору і видобутку газу, які виникають внаслідок часткового або повного перекриття перерізу труби. Результатом накопичення значних об'ємів рідини в порожнині газопроводів є збільшення гідравлічного опору окремих їх ділянок, що в підсумку є причиною зменшення видобутку газу з свердловини.

Проблемі забруднення внутрішньої порожнини газопроводів приділено значну увагу. Але значна частина цієї уваги припадає на магістральні газопроводи, природний газ в яких пройшов декілька ступенів очистки від УКПГ, ГС до КС і, в основному, відповідає технічним умовам.

На сьогоднішній день набули широкого застосування методи вилучення накопиченої рідини шляхом продування ділянок газопроводів із розрізанням труби, що призводить до стравлювання значних об'ємів газу, врізання різноманітних засобів відведення рідини (дріпи різноманітних конструкцій, дренажні патрубки тощо, застосування для очистки газопроводів поршнів). У 80-90-х роках минулого сторіччя багато уваги приділялось дослідженням двофазного потоку, розроблялись моделі руху газу і рідини в трубах, створювались нові способи визначення кількості рідини в порожнині газопроводу та способи вилучення її з газопроводу шляхом створення імпульсного режиму робочого потоку газу (так званий "метод швидкісного потоку газу"), модернізувались пристрої для відведення рідини. За кордоном, на цей час, приділялася значна увага очистці внутрішньої порожнини газопроводу методом пропускання очисних пристроїв різних конструкцій та методикам уточнених розрахунків гідравлічного стану газопроводів. Крім того завдяки створенню модернізованого сепараційного обладнання значно було покращено очистку газу на промислах.

Протягом років ДК "Укргазвидобування" збільшує видобування газу шляхом розвідки нових перспективних газовидобувних районів, значного підвищення робіт по бурінню і введенню свердловин в дію, зменшення тиску на усті свердловин до мінімально можливих значень, що дозволяють його перекачування під дією пластового тиску до дожимних компресорних станцій, перерозподілу газових потоків в районах найбільшого споживання газу власного видобутку.

Першопричинами зростання втрат тиску під час транспортування газу є зниження експлуатаційного тиску за сталого об'єму перекачування, що позначається на втратах тиску на тертя, та утворення певного об'єму забруднень в порожнині труби, що позначається на зростанні втрат тиску в місцевих опорах.

Є доволі багато причин, що спричиняють наявність рідинних забруднень у порожнині газопроводів, зокрема:

- наявність вже накопиченої рідини в порожнині газопроводу від початку його експлуатації.

Причиною цього є те, що більшість газопроводів, які введено в експлуатацію у 60-70-х роках минулого століття, а за цей час, внаслідок недостатньої продувки газопроводу після гідравлічного випробування, несвоєчасного введення в експлуатацію сепараційного обладнання, неякісної підготовки газу, незабезпечення температурного режиму роботи газопроводу, тощо, рідинні забруднення поступово накопичувались в газопроводах;

- аварійні відмови на УКПГ та УППГ, ремонт або заміна їх сепараційного обладнання;

- експлуатація сепараційного обладнання на таких режимах, що не можуть справлятися з відділенням рідинної фази. Цьому сприяє те, що сепараційне обладнання експлуатується з продуктивністю, яка значно переважає номінальну за паспортними даними, або неправильно підібрані параметри тиску і температури в сепараторі;

- зміна складу газоконденсатної системи під час розробки газоконденсатного родовища на виснаження. Результатом цього процесу є те, що встановлена на початку розробки родовища величина тиску максимальної конденсації з часом може видатися недостатньою для оптимальної умови відділення конденсату від газу в трапах;

- незабезпечення температурного режиму трасою газопроводу. В системі видобутку, газу і газового конденсату в один газопровід можуть працювати декілька УКПГ. Підготовка газу на кожному з них різна, а отже і точка роси вуглеводнів і вологі в газі, що виходить з кожного УКПГ є різною, температура газу може відрізнитися між собою в доволі широких діапазонах. Перемішування газових потоків з кожної УКПГ призведе до того, що газ однієї з УКПГ буде понижувати точку роси газу іншого УКПГ, що супроводжуватиметься процесом випадіння важких вуглеводнів і рідини з газорідинного потоку. З іншого боку чинні нормативні документи встановлюють точку роси газу на вході в газопровід нижчою за температуру газу, але не регламентують її значення. Зниження температури газу під час транспортування за межу точки роси сприятиме конденсації рідини з газового потоку.

- експлуатація газопроводів з пониженою витратою. Результатом цього є зниження швидкостей газу на ділянці газопроводу. Як показує досвід експлуатації газопроводів, за умови забезпечення швидкості перекачування більше за 12-15 м/с суттєвого осаду рідини не відбувається і проходить процес самоочищення газопроводу, а при зменшенні швидкості до 5-11 м/с відбувається аперіодичний хвильовий рух рідини, що супроводжується викиданням її з коліна, за умови зменшення швидкості нижче за 5 м/с має місце процес поступового накопичення рідинних забруднень.

Крім того необхідно зауважити, що наявність в газопроводі місцевих опорів, спричиняє зміну температурного режиму, що, як згадувалось вище, спонукає до випадання важких фрак-

цій з двофазового потоку. Роль таких місцевих опорів можуть також відігравати і самі рідинні накопичення в понижених місцях трубопроводу.

Слід також відзначити, що повна сепарація газу є складною операцією і пов'язана з великими капіталовкладеннями, що, в свою чергу, значно може збільшити собівартість транспортування газу. Отже, газ, що поступає в газопровід, матиме деяку кількість рідини.

За рахунок того, що нафто- та газовмісні породи містять в собі воду (підшову, крайову та зв'язану), гази газових та газоконденсатних родовищ насичуються парами води в умовах, визначених тиском та температурою пласта.

Під час руху газу з пласта до споживача зміна тиску і температури значно впливають на вміст пари води, що насичує газ. Кількість вологи, що підлягає осушуванню розраховують, як добуток кількості осушуваного газу на різницю вологовмісту газу до осушування та вологовмісту газу при точці роси.

Вологовміст природних газів при точці роси підраховують за заданим тиском газу і мінімально можливою робочою температурою в газопроводі. Вологовміст газу до осушування визначають коли газ поступає з усіх свердловин з однаковими тисками та температурами. Однак, на практиці, свердловини одного родовища можуть працювати з різними дебетами і в широкому діапазоні зміни тиску і температури. В такому випадку середній вологовміст газу, що поступає з свердловин на УКПГ визначають за середніми показами тиску і температури.

На теперішній час в Україні на модернізованих газовидобувних підприємствах застосовують обладнання, що практично повністю виключають попадання вологи в газопровід. Однак повністю вилучити вологу з газового потоку, особливо на старих промислах, на яких застосовують обладнання 70-80-х років минулого сторіччя, практично, неможливо.

Крім того, вологовміст газу вже під час його транспортування газопроводами може зростати внаслідок проходження ним місць накопичення рідини, так званих "природних пасток рідини". Наявність рідини в цих "пастках" обумовлює або недостатня продувка газопроводу після закінчення комплексу будівельно-монтажних робіт, будівництво газопроводу на випередження введення в експлуатацію УКПГ.

Крім того, на збільшеному вологовмісті газу може позначитись і неякісна робота сепараційного обладнання. Адже деякі родовища можуть давати газ з високою температурою виходу, внаслідок чого велика маса рідини у пароподібному стані виходить у газозбірний колектор. Таким чином транспортування газу супроводжується конденсацією вологи з газового потоку

шляхом зменшення температури газу до температури ґрунту.

На вологовмісті газу позначається і падіння пластового тиску в родовищах, що працюють на виснаження. Особливо це на сьогодні є актуальним для підрозділів ДК "Укргазвидобування".

Найбільше розповсюдження серед методів визначення вмісту водяних парів та точки роси природних газів отримав конденсаційний метод, який полягає у вимірюванні температури рівноваги між утворенням і випаровуванням роси на поверхні металевого дзеркала, що контактує з газом. Метод застосовують для визначення температури точки роси по волозі в газах, що не містять крапельної рідини і точка роси по вуглеводням не перевищує точку роси по волозі більш ніж на 5 °С.

За умови більшого вологовмісту природного газу, коли об'ємна доля вологи не перевищує 0,2 %, застосовують електролітичний метод, а за умови вмісту в газі водяних парів в об'ємі 100 мг/м³ застосовують абсорбційний метод.

Контроль якості газу, що транспортується системою газопроводів здійснюється на вході в КС. Крім того, щодобовий контроль за кондиційністю газу здійснюють на промислах видобутку.

Після проведення вимірювання точки роси мають зводитись до тиску 3,92 МПа.

Отже баланс вологи під час змішування газових потоків визначають виходячи з вологовмісту і об'ємів газу в газопроводах, що надають і приймають газ.

За методами визначення вологовмісту природного газу можна визначити джерело надходження некондиційного газу до порожнини газопроводу із кількісним вмістом вологи в 1 м³ газу, наявності некондиційного газу в певній точці газопроводу, а також визначити відповідність якості газу до вимог нормативних документів.

Вимірювання точки роси в газопроводах дозволяє: безпосередньо контролювати вологість газу, визначати наявність в газових потоках зрідженої вологи, приймати рішення щодо наявності в газопроводі термодинамічних умов щодо конденсації водяної пари з газового потоку.

Ліквідація гідратних корків в газопроводах, а також профілактика їх утворення, в ГТС України проходить, в основному, із застосуванням метанолу. При цьому слід відзначити той факт, що в останні роки, завдяки оптимізації режимів транспортування газу, посилення моніторингу роботи ГТС в цілому та впровадженню цілових заходів з питань експлуатації лінійної частини газопроводів, вдалося значно скоротити використання метанолу. Це добре видно з рис. 1, де представлено криву використання метанолу виробничими підрозділами ДК "Укртрансгаз" за кілька останніх років.



Рис.1. Графік використання метанолу виробничими підрозділами ДК "Укртрансгаз" в період 2008-2010 роки.

Аналіз науково-технічної та патентної інформації показав, що проблемі контролю гідратування в газопроводах приділено значну увагу. За своїм принципом всі запатентовані способи контролю утворення гідратів базуються на вимірюванні витрати, тиску і температури, визначенні густини газу та обранні на їх основі рівноважної кривої утворення гідратів. Отримані значення тиску і температури газу в кожній із розрахункових точок газопроводу запам'ятовують і, порівнюючи тиск у кожній розрахунковій точці з величиною граничного тиску, визначеного за обраною рівноважною кривою утворення гідратів для кожної розрахункової точки при температурі, яка дорівнює температурі в ній, визначають момент початку утворення гідратів.

Література

1. Довідник інженера диспетчерської служби / За заг. ред. канд. техн. наук, акад. УНГА Ю.В.Пономарьова та М.П.Химка. — К. — Х.: УЦЕБОПнафтогаз, 2009
2. Розгонюк В.В., Руднік А.А., Коломєєв В.М., Григіль М.А., Болокан О.О., Хачікян Л.А., Герасименко Ю.М.. Довідник працівника газотранспортного підприємства. Київ, "РОСТОК", 2001 р..
3. Карпаш О.М., Москвіч В.М., Василюк В.М., Яворський А.В. Забезпечення технологічної безпеки підводних переходів магістральних нафтопроводів // Нафтогазова енергетика — 2007.—№1—С.34-39.
4. Обслуговування і ремонт газопроводів : монографія / В.Я. Грудз, Д.Ф. Тимків, В.Б. Михалків, В.В. Костів. — Ів.-Фр. : Лілея-НВ, 2009. — 711 с.
5. Карпаш О.М., Возняк М.П., Василюк В.М. Технічна діагностика систем нафтогазопостачання: Навч. посібник. — Івано-Франківськ: факел, 2007. — 341 с.: іл..

УДК 621-01.001.2

Берник І.М.¹

ОСНОВНІ ЗАСАДИ ПРОЕКТУВАННЯ МАШИН І ОБЛАДНАННЯ ПЕРЕРОБНИХ ВИРОБНИЦТВ

АНОТАЦІЯ. Розглянуто і запропоновано сучасні методи та методологія проектування машин і обладнання переробних виробництв.

АННОТАЦИЯ. Рассмотрены и предложены современные методы и методология проектирования машин и оборудования перерабатывающих производств.

ANNOTATION. Considered and suggested modern methods and methodology for design of machines and equipment processing industries.

Актуальність роботи. Сучасна епоха характеризується фундаментальними змінами як в науці так і в технологічних принципах різних виробництв. Повною мірою це стосується інтенсифікації технологічних процесів, що здійснюються машинами й обладнанням переробних підприємств. Зумовлюється це стрімким розвитком принципово нових уявлень і підходів для вивчення та розкриття потенційних можливостей нового покоління машин і їхнього впливу на вдосконалення технологій. Тому особливо важливим моментом є визначення наукової парадигми,

яка спонукає до розв'язання актуального завдання — підвищення продуктивності машин й обладнання за умов високої якості отриманого матеріалу чи продукту і мінімальних показників енергії і матеріаломісткості.

Робочою гіпотезою, що реалізує наукову парадигму, є припущення: будь-яка машина, апарат чи обладнання, здійснюючи конкретний технологічний процес, забезпечує високий рівень передавання енергії до матеріалу шляхом цілеспрямованого використання внутрішніх характеристик середовища і машини як єдиної

¹Берник І.М., к.т.н., доцент. Вінницький національний аграрний університет.

системи. Суттєвим методологічним прийомом у вирішенні цього завдання є застосування системного підходу, що і використано в даній роботі розглядом формування структури машин при їх проектуванні.

Методика та результати роботи. В основі методики проектування покладені відомості щодо вибору моделей, визначення поняття «еталонної» моделі [2] та моделі в механотронних системах [4], зокрема методів автоматизованого проектування, які розкривають сучасні перспективні напрями підвищення ефективності процесів проектування. Математичною базою таких підходів є встановлення відповідних критеріїв та прийнятих обмежень у формуванні завдань визначення параметрів на прикладі розгляду реальних робочих процесів [3].

Варто зауважити, що в багатьох технологічних процесах будівельного і харчового виробництва, що розглядаються в даній роботі, використовують вібрацію як засіб їхньої інтенсифікації. Це стосується таких процесів як, подрібнення, сортування, розділення, перемішування, формування, ущільнення і пресування. Вплив вібрації на оброблювані матеріали, речовини, рідини, суспензії, розчини добре відомі у будь-якій сфері її

застосування. Тривалий час основна мета використання вібраційної дії була направлена на створення вібромашин, що забезпечують заданий технологією режим роботи. В роботі застосовується гіпотеза, побудована на ідеї використання ефектів вібраційного поля у режимі, за якого внутрішні властивості оброблюваного середовища (пружно-інерційні, в'язкі, пластичні) відповідним чином адаптуються до пружно-інерційних і дисипативних властивостей робочих органів машин, утворюючи так звану єдину вібросистему, підпорядковану вібраційному процесу з високо-ефективною передачею енергії за мінімізації затрат енергії. Застосування цієї ідеї відкриває низку нових уявлень про перебіг технологічного процесу та принципово нових конструктивних рішень, ефективного використання багаторежимності.

Машина або обладнання, що застосовується в переробних виробництвах включає цілий ряд елементів, пристроїв призначених для виконання певних технологічних операцій і функцій (рис.1).

Елементи структурної схеми машин (див. рис. 1) мають наступні призначення.

Джерело енергії (ДЕ) - це привод машин,

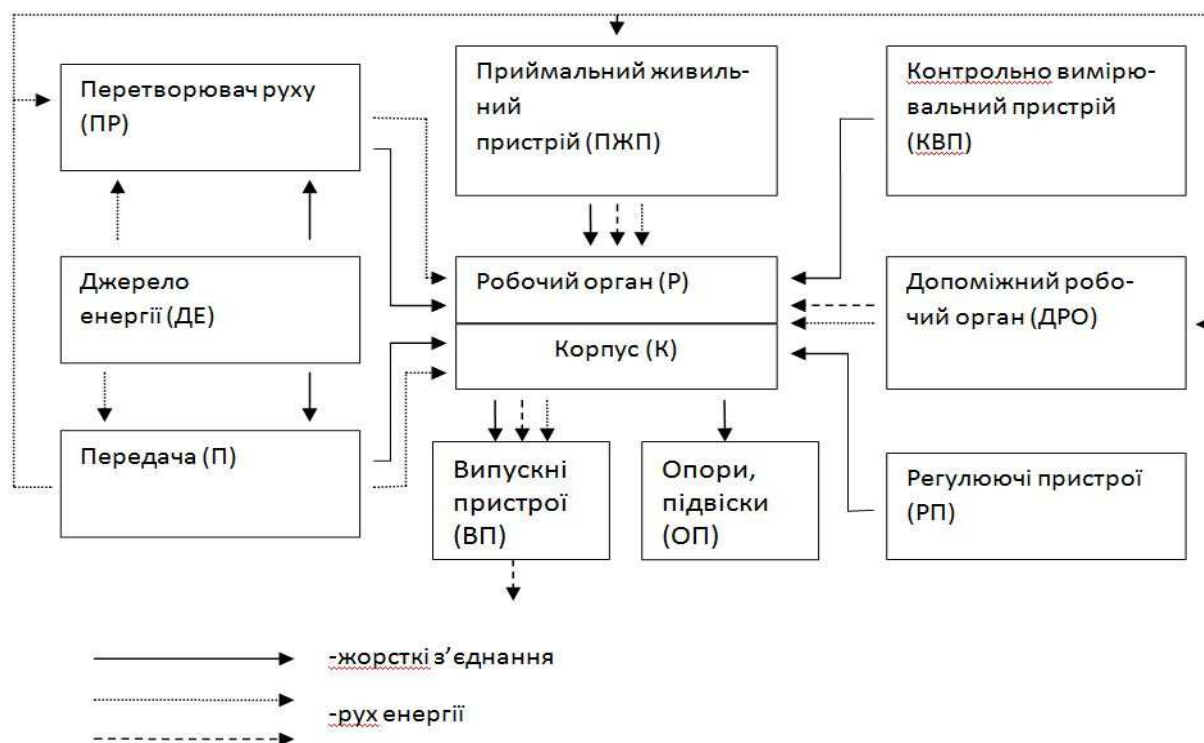


Рис. 1. Структурна схема машини

що здійснює перетворення одного виду енергії в інший (як правило, електричної в механічну) і подачі її до робочого органу (РО). Привід включає в себе **перетворювач енергії (ПЕ)**, **передачу (П)** і **перетворювач руху (ПР)**. В якості ПЕ в переважній більшості використовується електродвигун, іноді електромагніти, гідропневмоприводи. Передатні механізми можна розділити на 3 види: що не змінюють, змінюють і регулюють швидкість. До

першого типу відносяться всілякі муфти. Для зміни швидкості руху використовуються ремінні ланцюгові, зубчасті, фрикційні передачі і редуктори, а для регулювання - варіатори. ПР служить для зміни виду руху, найчастіше обертальний рух перетворюється в інші види, наприклад в зворотно-поступальний.

Корпус (К) - елемент машини, який служить безпосередньо для кріплення і з'єднання окремих

елементів машини, може бути виконаний у вигляді корпусу литої станини, металоконструкції або рами (зварною або розбірною).

Робочий орган (РО) - елемент машини, що безпосередньо впливає на продукт при цьому РО, що виконує основну технологічну функцію називається основним РО, а елементи виконуючі додаткові операції - допоміжним робочим органом (ДРО).

Приймально-живлячий пристрій (ПЖП) - елементи машини, які служать для прийому (подачі) початкового продукту.

Випускні пристрої (ВП) - елементи машини, які служать для виводу отриманого в результаті технологічної обробки одного або декількох продуктів.

Опори і підвіски (О і П) - елементи машини, які служать для з'єднання елементів машин, що рухаються, з нерухомими з допомогою пружин та інших пружних елементів.

Багато сучасних машин і обладнання мають у своєму складі **органи управління (У), регулюючі пристрої (РП), контрольно-вимірювальні прилади і апаратуру (КВП), сенсори (С).**

Методикою передбачено вирішення задач оцінки розглянутої структурної схеми машини та її елементів на основі системного аналізу (рис. 2).



Рис. 2. Схема вирішення задач системним аналізом

Рішення задач системного аналізу технічних об'єктів із застосуванням структурного та динамічного синтезу потребує визначення моделі, яка є найбільш наближеною до прийнятих критеріїв, параметрів та інших характеристик досліджуваного об'єкту. Цілком очевидно, що найбільш ефективним засобом вирішення задач структурного та динамічного синтезу є застосування еталонних моделей.

Еталонна модель - це модель, в якій відсутній цілий ряд частковостей, врахування яких є необхідною умовою при проектуванні реальної машини. Абстрагуючись від конкретних конструктивних схем машини, що описується, найбільш наближеними до реальних умов суттєво нелінійними дискретно-континуальними рівняннями [3] і застосовуючи апарат теорії оптимальних систем [1], виникає можливість говорити про оптимальність об'єкту.

Можливість такої абстракції визначається наступним. Загальним елементом будь-якої, наприклад, вібраційної машини будівельної індустрії є збудник коливань - робочий орган - середовище. Отже, в певному сенсі якість структури системи залежить від сукупності і взаємозв'язку тих елементів, які утворюють керуючу частину (силові пружно-інерційні, енергетичні і інші. характеристики) і визначають характер позитивного зворотного зв'язку, забезпечують заданий закон коливання.

Отже сутність пошуку оптимальної системи, а також і конкретне визначення еталонної моделі, полягає у формуванні умов та з'ясування сенсу оптимального керування. Іншими словами, оптимальне керування являється основною необхідною інформацією для здійснення структурного і динамічного синтезу системи. Такими умовами є забезпечення вирішення наступних задач:

- пошук такого керування рухом технічної системи, яке при вказаних в постановці загальної задачі умовах, забезпечує екстремум критерію оптимальності;

- вибір структур, в яких знайдені оптимальні керування можуть бути реалізовані (структурний синтез);

- визначення оптимальних динамічних параметрів вибраних структур технічних об'єктів (динамічний синтез).

Висновки

1. Розглянуто основні методологічні прийоми проектування машин і обладнання переробних виробництв.
2. Запропоновані методи проектування на основі структурного та динамічного синтезів.

Література

1. Игнатьев М.Б., Ильевский Б.З., Клауз Л.П. Моделирование системы машин. – Л.: Машиностроение, Ленингр. отд-е, 1986. – 168 с.

2. Назаренко І.І. та ін.. Системний аналіз технічних об'єктів. – К.: КНУБА, 2009. – 164 с.
3. Назаренко І.І. Прикладні задачі теорії вібраційних систем (2-е видання). К.: Видавничий Дім «Слово», 2010. – 440 с.
4. Узунов А.В. Развивающаяся модель и алгоритм проектирования мехатронных объектов/ А. Узунов// Промислова гідравліка і пневматика. Всеукраїнський науково-технічний вісник, 2011. - №2(32). – С.87-90.

УДК 693.95.075.8

Сівко В.Й.¹

ТЕОРЕТИЧНІ ОСНОВИ РУЙНУВАННЯ СЕРЕДОВИЩ В УМОВАХ НАПРУЖЕНО-ДЕФОРМОВАНОГО СТАНУ

АНОТАЦІЯ. Як основний чинник деформування і середовища розглянуто поле напружень під дією штамп. Установлена зонна руйнування, її розміри і залежність від параметрів навантаження розрахована енергія руйнування.

Ключові слова: напруження, деформація, міцність, руйнування.

АННОТАЦИЯ. Как основной фактор деформирования и среды рассмотрено поле напряжений под действием штампа. Установлена зона разрушения, ее размеры и зависимость от параметров нагрузки рассчитана энергия разрушения.

Ключевые слова: напряжение, деформация, прочность, разрушение.

ABSTRACT. the analytical going near the estimation of the stress and deformed state of working environment of earthmover with the difficult geometrical form of array and close located insignificant deformed walls of trench and body of pipe on the example of the ground foundation of main pipeline.

Key words: tension, soil, environment, pipeline.

Вступ. В технологічних процесах виробництв (подрібненні, змішуванні, ущільненні будівельних матеріалів чи розробці ґрунта) при дії на середовище зовнішніх сил воно деформується. Коли деформація перевищує граничні значення, середовище руйнується.

Відомими науковими школами з теорії міцності, такими як: проф. Вайнберга Д. В., Варвака П.М.(НТУ), Баженова В.А (КНУБА), Голишева Б.М. (НДІБК), Гвоздева А.А., Зайцева Ю.В.(НІІЖБ) досягнуто значних успіхів у розрахунках будівельних конструкцій при пружному навантаженні. Проте їх результатами неможливо скористатися для розрахунків Н.-д стану матеріалів, які мають велику в'язкість і піддаються значним деформаціям. В той же час вирішення таких задач дозволяє оптимізувати способи переробки металів і технологічні процеси виробництва. Проблема руйнування досліджувалась автором для випадку витікання бетонної суміші [3] бункерів [1], віброущільнення бетонних сумішей [2], дії штамп на ґрунтового середовища[3].

Виклад основного матеріалу. Напружений стан під штампом. Задача про дію штамп на ґрунтового середовища моделювала процес взаємодії робочого органа енергійної машини з ґрунтом або гусениці машини з ґрунтом. Розглядався штамп шириною $2a$ і ґрунт в вигляді півпростору (плоска задача). Диференційні рівняння, які описують напружений стан під штампом,

мали вигляд:

$$\frac{\partial \sigma_x}{\partial x} + \frac{\partial \tau_{xy}}{\partial y} = 0; \quad \frac{\partial \tau_{xy}}{\partial x} + \frac{\partial \sigma_y}{\partial y} = 0. \quad (1)$$

Розв'язок задачі отримали при граничних умовах:

$$\text{при } y = 0, \quad -a \leq x \leq a \quad \sigma_x = 0, \quad \sigma_y = p$$

$$\text{при } y = -a \quad \sigma_x = 0, \quad \sigma_y = -p$$

і умові пластичності:

$$\frac{1}{4}(\sigma_x - \sigma_y)^2 + \tau_{xy}^2 = k^2,$$

де, k - параметр зв'язаності середовища.

Внаслідок певних перетворень і переходу до нових перемінних χ і φ , отриманні рівняння характеристик.

$$\frac{dy}{dx} = \tan\left(\varphi \pm \frac{\pi}{4}\right); \quad \chi \pm \varphi = \text{const.}$$

Отримано числове рішення задачі в координатах k і l

$$x_{kl} = \frac{y_{k-2l} - y_{k,l-2} - x_{k,l-2} \tan\left(\varphi_{k,l-2} + \frac{\pi}{4}\right) - x_{k-2,l} \tan\left(\varphi_{k-2,l} - \frac{\pi}{4}\right)}{\tan\left(\varphi_{k,l-2} + \frac{\pi}{4}\right) - \tan\left(\varphi_{k-2,l} - \frac{\pi}{4}\right)}, \quad (2)$$

$$\sigma_x = -p + k(2\chi + 1), \quad \sigma_y = -p + k(2\chi - 1); \quad (3)$$

¹ Сівко В.Й., д.т.н., професор, Київський національний університет будівництва і архітектури.

$$\tau_{xy} = k \cdot \sin 2\varphi \quad (4)$$

$$2\chi_{k,l} = \xi_k + \eta_l; \quad 2\varphi_{k,l} = \xi_k - \eta_l \quad (5)$$

Для прикладу в роботі виконані розрахунки поля напруженого стану в піщаному ґрунті вологістю 10% і зв'язністю $k = 0.5 \frac{\text{Н}}{\text{М}^2}$. Розрахунок зведе-

ний до таблиці. В клітинках [0,0], [0,1]... [0,12] записувались довільно задані значення φ і відповідні значення χ , x і y , розраховані за формулами

$$\begin{cases} x+a \\ y \end{cases} = \pm\sqrt{2} a \cos\left(\varphi \pm \frac{\pi}{4}\right), \quad 2\varphi = \frac{1}{2} - \chi$$

В діагональні клітинки [1,1], [2,2], [12,12], відповідні точкам вертикальної осі y , заносяться значення $\varphi=0$, $\chi=0$:

Розрахунок χ , φ , x , y , у внутрішніх клітинках таблиці 1 проводиться за формулами (2), (3), (5), а

визначену величину χ , y в діагональних клітинках за формулами

$$\chi_{s,t} = \eta_t, \quad y_{s,t} = y_{s-1,t} - x_{s-1,t} \tan\left(\varphi_{s-1,t} - \frac{\pi}{4}\right)$$

Нормальна компонента напружень вздовж вертикальної осі y дорівнює:

$$\sigma_x = -p + k(2\chi + 1)$$

Поле напруженості під штампом являє собою криволінійну сітку в вигляді «Луковиці», створену горизонтальними і вертикальними лініями. Ці лінії являють собою сімейство характеристик, (ліній ковзання по В.В.Соколовському). Як показали наші експериментальні дослідження [2] лінії ковзання є лініями руйнування матеріалу. Ці лінії збігаються з напрямком головних деформацій.

Таблиця 1.

Напружений стан ґрунтового середовища під дією рівномірно розподіленого навантаження.

	k	0	1	2	...	12
1	0	0.50				
χ		0.00				
$-\varphi$		0.50				
x		1.00				
y	1	0.59	0.07			
χ		0.09	0.00			
$-\varphi$		0.09	0.00			
x		1.08	1.18			
y	...	...	...	...	...	...
...	12	1.54	1.63			2.56
χ		1.05	0.96			0.00
$-\varphi$		1.37	1.42			0.00
x		1.37	1.60			5.34
y						

Зона руйнування. Продемонструємо механізм руйнування ґрунтового середовища під штампом шляхом розгляду чисельних значень напружень і відповідних ним значень деформації, користуючись залежністю між напруженими і деформаційними (σ - ε) для вибраного нами ґрунтового середовища (генетичний код матеріалу) [2]. Завантажимо штамп силою $P=50 \cdot 10^{-4}$ МПа. На осі y (точка [0,0]) маємо

$$\sigma_x = -p + k(2\chi + 1) = -p + k(2 \cdot 0.5 + 1) = 0$$

$$m. [0.1], \sigma_x = 0.09p; \quad m. [0.3], \sigma_x = 0.26p; \quad m. [0.6],$$

$$\sigma_x = 0.5p; \quad m. [0.9], \sigma_x = 0.78p;$$

$$m. [0.12], \sigma_x = 1.04p \sim 50 \cdot 10^{-4} \text{ МПа.}$$

Для вибраного ґрунту напруження $50 \cdot 10^{-4}$ МПа = σ_x тобто граничне пружне напруження. Збільшенням напружень здійснюється пластичне деформування ґрунту, коли при незначному збільшенні напружень різко зростають деформації. Матеріал руйнується. Таким чином

для точки [0.12], маємо границю зони руйнування. Визначимо нижню границю зони руйнування.

$$m. [3.12]: \sigma_x = -p + k(2 \cdot 1.8 + 1) = 0.9p;$$

$$m. [6.12]: \sigma_x = 1.07p \sim 50 \cdot 10^{-4} \text{ МПа.}$$

Таким чином ми маємо всю границю зони руйнування. Збільшення навантаження ця зона збільшується.

Енергія руйнування. Встановити характер взаємодії робочих органів машини з середовищем і знайти оптимальний характер цієї взаємодії можна визначивши енергію деформації. Для безкінечного елемента $dx \cdot dy \cdot dz$ робота деформування дорівнює [3]

$$A = \frac{1}{2} \iiint (\sigma_x \varepsilon_x + \sigma_y \varepsilon_y + \dots) dx \cdot dy \cdot dz$$

За безкінечно малу величину ділянки візьмемо розмір клітини. В зоні руйнування цих клітин буде $12 \times 6 \times 2 = 144 \text{ шт.}$ Розмір клітини при ширині штамп $2a=1\text{м}$, $a=0.5\text{м}$.

Ширина зони $\sim 2a \times 2 = 4a = 2\text{м}$. Таким чином клітина має розмір $1:12 = 0.08 \times 0.08 \text{ м}$. Граничне значення пружної

деформації [1] складає $\varepsilon_s = 1.0 \cdot 10^{-3}$. Лінійна деформація елемента.
 $\Delta l = \varepsilon_s \cdot l = 1.0 \cdot 10^{-3} \cdot 0.08 = 8 \cdot 10^{-5}$
 Енергія деформування.

$\delta_x \cdot \Delta l \cdot 144 = 50 \cdot 10^{-4} \cdot 8 \cdot 10^{-5} \cdot 144 = 57.6 \text{ Н} \cdot \text{м}$
 З заглибленням відповідно збільшується енергія руйнування.

Висновки

Описано напружено–деформований стан ґрунту під дією навантаження. Він являє собою сітку ліній руйнування.

1. Отримані габарити зони руйнування в залежності від навантаження на штамп і фізико-механічних властивостей ґрунта.
2. Аналітично описано енергія руйнування і отримані чисельні її значення в залежності від габаритів штампа і властивостей ґрунта.

Література

1. Сівко В.Й, Овчар В.П. Исследования рабочего процесса поверхностного виброформирования армоцементных конструкций.
2. Сівко В.Й. Основи механіки вибрируемой бетоной смеси. – К.: Вища школа, 1968, 180с.
3. Сівко В.Й. Напружено-деформований стан будівельних матеріалів в технологічних процесах виробництва. –К.: НТУ, 2010, 350с.

УДК 693.242.523

Свиридюк Д.Я.¹

АНАЛІЗ ТА ОЦІНКА КОНСТРУКТИВНО – ТЕХНОЛОГІЧНИХ ПАРАМЕТРІВ БЕТНОЗМІШУВАЧІВ

АННОТАЦІЯ. Аналіз літературних джерел та вітчизняних стандартів показує, що, незважаючи на всі різноманіття конструкцій, бетонозмішувачі (розчинозмішувачі) класифікують за трьома основними ознаками: принципу змішування, характеру роботи, способу установки.

Ключові слова: бетонозмішувач, об'єм по завантаженню, циклічний, гравітаційний змішувач, змішувач примусової дії, планетарний бетонозмішувач.

АННОТАЦИЯ. Анализ литературных источников и отечественных стандартов показывает, что, несмотря на все многообразие конструкций, бетоносмесители (растворосмесители) классифицируют по трем основным признакам: принципу смешивания, характеру работы, способу установки.

Ключевые слова: бетоносмеситель, объем по загрузке, циклический, гравитационный смеситель, смеситель принудительного действия, планетарный бетоносмеситель.

ANNOTATIONS. Analysis of literature and national standards shows that, despite all the diversity of structures, concrete (mortar) is classified in three main features: the principle of mixing, nature of work, method of installation.

Keywords: concrete mixer, volume on loading, cyclic, gravity mixer, mixer of forced action, planetary mixer.

Постановка проблеми. При сучасних темпах виробництва і відповідальності будівельних конструкцій актуальною є проблема якості бетонної суміші. Якість бетонної суміші визначається точністю дозування компонентів і рівномірністю їх розподілу між собою по всьому об'єму суміші. Змішування компонентів в однорідну суміш є досить складним технологічним процесом, який залежить від складу суміші, її властивостей, часу перемішування і конструкції змішувача при-

строю. Тому на сьогоднішній день питання вибору того, чи іншого змішувача, в залежності від потреб виробництва, є досить важливим аспектом.

Аналіз літературних джерел та вітчизняних стандартів показує, що, незважаючи на всі різноманіття конструкцій, бетонозмішувачі (розчинозмішувачі) класифікують за трьома основними ознаками: принципу змішування, характеру роботи, способу установки.

¹ Свиридюк Д.Я., аспірант, Київський національний університет будівництва і архітектури.

За принципом змішування компонентів розрізняють машини зі змішуванням при вільному падінні матеріалів (гравітаційні) і з примусовим змішуванням (примусового дії). Гравітаційний бетонозмішувач обертається щодо горизонтальної або похилої (під кутом до 15 °) осі барабана з лопатами на внутрішній поверхні. Лопаті безперервно підхоплюють і піднімають компоненти суміші на певну висоту, при досягненні якої вони вільно падають потоком з лопатей під дією сили тяжіння; змішування відбувається в результаті зіткнення падаючих потоків компонентів. У бетонозмішувачів з примусовим змішуванням компоненти суміші примусово перемішуються в нерухомому барабані або частіше горизонтальними, похилими або вертикальними лопатевими валами або лопатевим ротором, що обертаються всередині змішувальної ємності. Розчинозмішувачі з горизонтальними змішувальними валами називають лотковим, з вертикальними валами – тарельчастими.

За характером роботи розрізняють бетонозмішувачі (розчинозмішувачі) періодичного (циклічного) і безперервної дії. У змішувачах циклічної дії перемішування компонентів і видача готової суміші здійснюється окремими порціями. Кожна нова порція компонентів бетону або розчину може бути завантажена в змішувач лише після того, як з нього буде вивантажений готовий заміс. Змішувачі циклічної дії зазвичай застосовують при частій зміні марок бетонних сумішей або роз-

чинів. У них можна регулювати тривалість змішування.

У змішувачах безперервної дії завантаження компонентів, їх перемішування і видача готової суміші здійснюються одночасно і безперервно. Віддозовані компоненти безперервним потоком надходять в змішувач і змішуються лопатами при просуванні від завантажувального отвору до розвантажувального. Готова суміш безперервно надходить в транспортні засоби. Змішувачі безперервної дії найбільш доцільно застосовувати для приготування великих обсягів бетонної або розчинної суміші однієї марки.

Головним параметром бетонозмішувачів (розчинозмішувачів) циклічної дії є обсяг готового замісу, виданий за один цикл роботи, змішувачів безперервної дії – обсяг готової продукції, що видається машиною за 1 годину роботи [1].

На ринку України представлені бетонозмішувачі переважно країн Східної Європи та СНД: ALTRAD (Словенія), Limex (Хорватія), Biedronka, Power Tec (Польща), Agrimotor (Угорщина), Vitals (Литва), Кентавр (Росія) та ін. Однак останнім часом все частіше на будівельному ринку зустрічається бетонозмішувачі із Китаю (Forte та ін.). Їх виділяє простота конструкції та відносно невисока ціна. Світовими, ж, лідерами в області бетонозмішувачів являються такі компанії як: SICOMA (Італія), Mortar, IMER (США), BAMA, Skako (Данія), ColloMatic (Німеччина) [3].



а)



б)

*Рис. 1. Планетарні бетонозмішувачі примусової дії:
а) ColloMatic (Німеччина); б) IMER (США).*

Різноманіття використовуваних в даний час бетонозмішувачів можна також пояснити недостатньою порівняльною оцінкою їхніх технічних, технологічних і експлуатаційних параметрів.

Метою даної роботи є порівняння конструктивно – технологічних параметрів з найбільш поширених бетонозмішувачів р за питомими показниками енергоємності, металоємності та показника, що враховує вплив потужності на масу.

На основі огляду конструкцій прототипів бетонозмішувальних машин (табл.1) були визна-

чені ключові параметри, що впливають на процес перемішування суміші.

На основі оцінки техніко – економічних показників та параметрів визначаємо критерії оцінки технічних показників [2]:

1. Критерій впливу маси на продуктивність.
2. Критерій впливу витрат енергії на продуктивність.
3. Критерій впливу потужності на масу.

Таблиця 1.

Параметри гравітаційних бетонозмішувачів.

№	Тип	Об'єм по завантаженню, л	Об'єм готового замісу, л	Маса, кг	Потужність, кВт
1	БГ-100 (Україна)	100	65	80	0,6
2	БС-120 (Україна)	120	80	110	1,1
3	ALTRAD MLZ-125 (Словенія)	125	86	50	0,6
4	Limex 125 LS (Хорватія)	125	95	53,5	0,7
5	Biedronka BWA/J-130 (Польща)	100	80	100	1,1
6	Agrimotor B1308FK (Угорщина)	130	100	52	0,8
7	Кентавр БМ-75 (Росія)	75	45	37	0,375
8	Gilson 31,2 (США)	90	70	57	0,37
9	Forte EW3070 (Китай)	70	45	39	0,375
10	VitalsCM140G-1 (Литва)	140	70	62	1,84

Таблиця 2.

Параметри бетонозмішувачів примусової дії.

№	Тип	Об'єм по завантаженню, л	Об'єм готового замісу, л	Маса, кг	Потужність, кВт
11	FILAMOS M 50 (Чехословаччина)	74	37	96	1,5
12	БП-1Г-100 (Росія)	100	67	350	2,2
13	SICOMA MP75/50 (Італія)	75	50	200	1,5
14	Б-200 (Росія)	200	-	350	1,5
15	ВАМА 40L (Данія)	40	30	88	0,75
16	IMER Mortarmen 120 (США)	120	70	200	0,59
17	Mortar 120L (США)	120	70	200	1,6
18	РМБА-100 (Росія)	100	80	350	1,5
19	ColloMatic TMS2000 (Німеччина)	100	80	104	2,0
20	"АКТИВ" 120 (Росія)	120	100	220	2,2

За результатами розрахунків (табл.1 і табл.2) побудовані гістограми (рис. 2, рис.3 і рис.4).

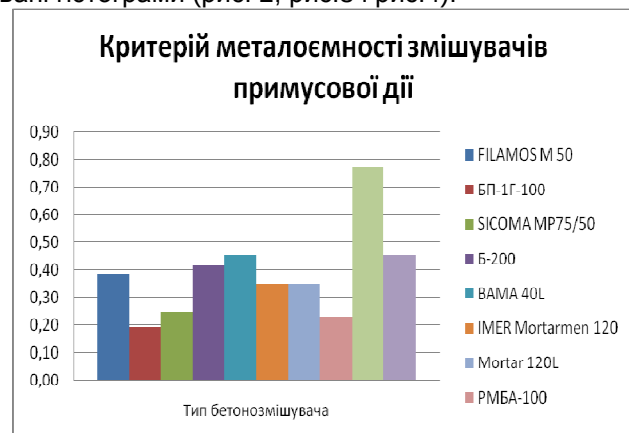
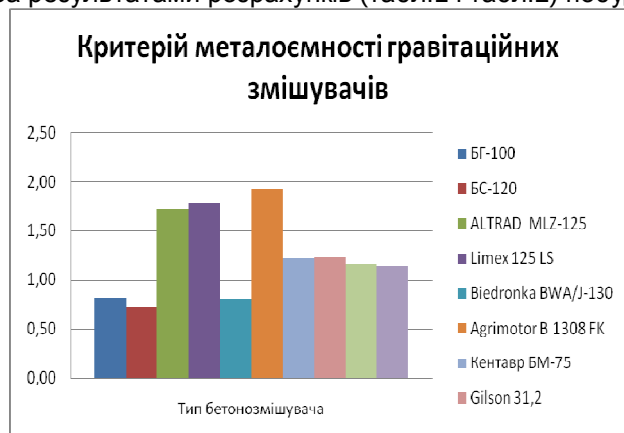




Рис. 2. Гістограми зміни критеріїв металоємності бетонозмішувачів різних типів.

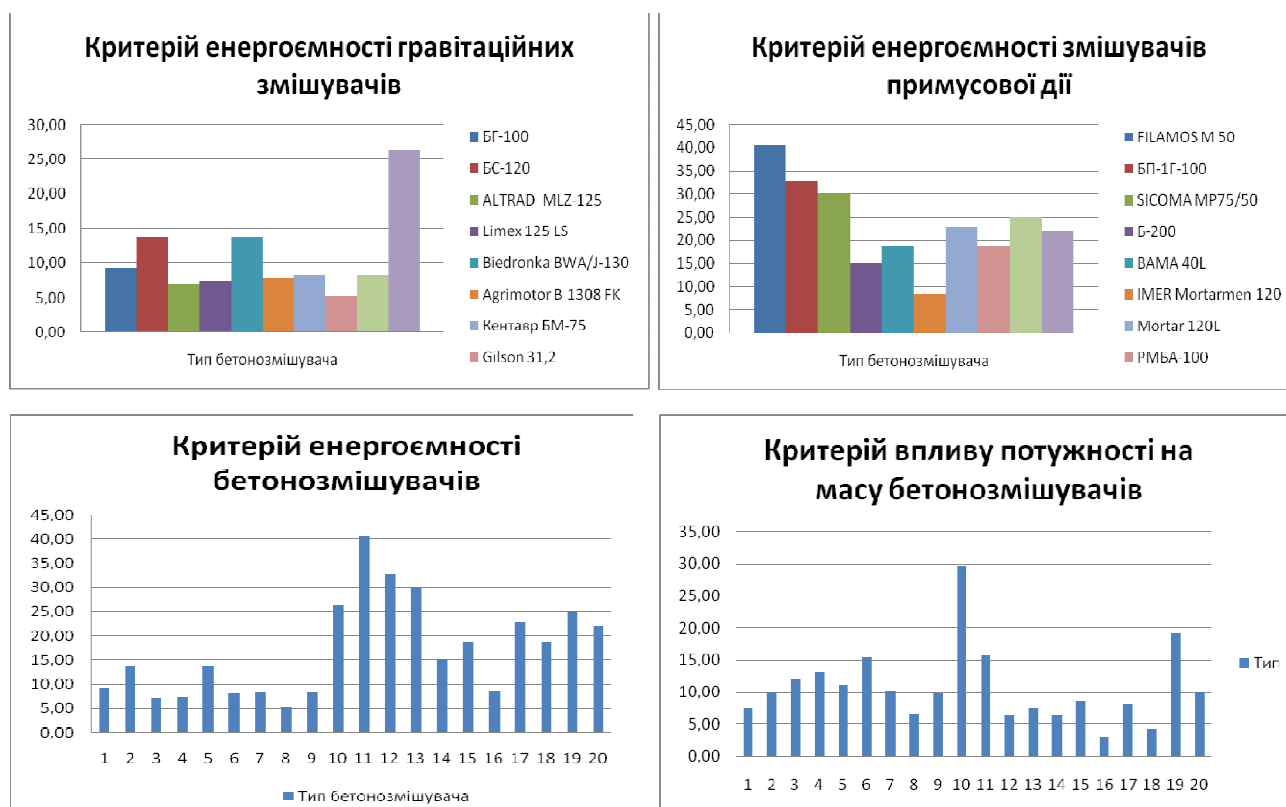


Рис. 3. Гістограми зміни критеріїв енергоємності бетонозмішувачів різних типів.

Рис. 4. Гістограма зміни критерія впливу потужності на масу бетонозмішувачів різних типів.

Висновки

1. Запропонована методика оцінки експлуатаційних якостей бетонозмішувачів за допомогою питомих показників енергоємності, металоємності та показника який враховує вплив потужності на масу, дозволяє як на стадії проектування, так і у процесі експлуатації оцінити споживчі якості бетонозмішувачів різних виробників та різної конструкції, визначити їхній технічний рівень і конкурентоздатність за сукупністю основних технічних параметрів.
2. Проведений аналіз засвідчує суттєву відмінність між параметрами, що підлягають оцінці. Очевидно, така ситуація пояснюється різними методами розрахунку та проектування бетонозмішувальних машин.

Література

1. Назаренко І.І. Машина для виробництва будівельних матеріалів: Підручник. – К.: КНУБА, 1999. – 488 с.
2. Назаренко І.І., Свідерський А.Т. та ін. Системний аналіз технічних об'єктів: Посібник. – К.: КНУБА, 2009. – 164 с.
3. Електронні джерела мережі Internet.

УДК 536:517

Діктерук М.Г., Човнюк Ю.В., Чмель Ю.О.¹

МОДЕЛЮВАННЯ ПРОЦЕСУ СУШІННЯ СИПКИХ БУДІВЕЛЬНИХ МАТЕРІАЛІВ ПРИ ВИКОРИСТАННІ КОМБІНОВАНИХ ТЕПЛОГЕНЕРАТОРІВ

АНОТАЦІЯ. Запропонована модель для аналізу процесів нелінійного тепло- масопереносу у тілах еліпсоїдальної форми, яка описує процес сушіння сипких будівельних матеріалів при використанні комбінованих теплогенераторів.

Ключові слова: автоматизований процес, сушіння, сипкі будівельні матеріали, комбіновані теплогенератори.

АННОТАЦИЯ. Предложена модель для анализа процессов нелинейного тепло- массопереноса в телах эллипсоидальной формы, которая описывает процесс сушения сыпучих строительных материалов при использовании комбинированных теплогенераторов.

Ключевые слова: автоматизированный процесс, сушение, сыпучие строительные материалы, комбинированные теплогенераторы.

SUMMARY. A model for the analysis of processes of nonlinear heat and mass transfer in the ellipsoidal bodies is offered. Such model describes the process of drying of friable build materials with the use help of combined heat generators.

Key words: the automated process, friable build materials, combined heat generators.

Постановка проблеми. Вивчення процесів переносу енергії (тепла), маси речовини має велике теоретичне і практичне значення для обґрунтування і розрахунків інтенсифікованих режимів у теплоенергетичних, енерготехнологічних, хіміко-технологічних та інших процесах. Особливого значення вони набувають у новій техніці, заснованій на енергоощадних технологіях (і, зокрема, у процесах сушіння сипких будівельних матеріалів у комбінованих теплогенераторах, котрі використовують альтернативні джерела тепла). Високі температури, тиски, швидкості, а також дія зовнішніх сил різноманітної фізичної природи обумовлюють взаємодію між окремими процесами, а також призводять до появи нових зв'язків і багатьох вторинних факторів, зазвичай досить корисних і перспективних.

Для обґрунтування закономірності взаємозв'язаних процесів і породжених ними ефектів за останні десятиріччя широкого розвитку набули методи термодинаміки незворотних процесів, синергетики, статистичної фізики та ін. Ці методи дозволяють вивчати різноманітні процеси переносу у їх нерозривному зв'язку. Для аналітичного опису взаємозв'язаних процесів замість окремих рівнянь руху, переносу тепла, масопереносу використовуються системи взаємозв'язаних рівнянь у частинних похідних, котрі об'єднуються за допомогою так званих «перехресних» - вторинних ефектів (термодифузія, магнітофорез, ефект Пельтьє та ін.). Слід зазначити, що такі системи рівнянь для великої групи, різнохарактерних явищ можуть мати аналогічну математичну інтерпретацію/запис (молекулярні розчини, вологі

дисперсні/сипкі середовища та ін.), що дозволяє використати результати досліджень, отриманих у більш вивчених областях техніки і технології, для потреб інших, менш вивчених областей. Цікаво зазначити і те, що за останні роки проблематика взаємозв'язаного переносу стала охоплювати процеси й іншої природи (розвиток пухлин, епідермічних процесів, дослідження біоценозів та екологічних систем та ін.).

Розв'язок взаємозв'язаних систем диференціальних рівнянь представляє певні математичні труднощі: лише у деяких випадках вдається отримати аналітичні рішення. Частіше дослідники вимушені шукати симбіоз/синтез аналітичних та чисельних розв'язків відповідних задач або ж використовувати тільки останні розв'язки.

Загальний рівень розвитку науки, техніки і технології (у т.ч. сушіння сипучих матеріалів) диктує необхідність опанування вченими, дослідниками, експериментаторами нової області – нелінійних нестационарних задач взаємозв'язаного тепло- масопереносу. У математичній постановці це веде до появи нелінійності у коефіцієнтах переносу, джерелах чи витоках енергії, до появи нелінійних граничних умов. Ці задачі значно ближчі до життя, але їх реалізація набагато складніша, і тому не завжди доводиться до кінця класичними методами математичної фізики.

Аналіз останніх досліджень і публікацій.

Вперше узагальнення аналітичної теорії лінійного взаємозв'язаного тепло- масопереносу на прикладі різних дисперсних систем було дано у монографіях А.В. Ликова та Ю.А. Михайлова [1,2]. У подальшому ці роботи отримали багатоплановий

¹ Діктерук М.Г., к.т.н., доцент., Київський національний університет будівництва і архітектури; Човнюк Ю.В., к.т.н., доцент. Національний університет біоресурсів і природокористування України; Чмель Ю.О., магістр. Київський національний університет будівництва і архітектури.

розвиток у різних областях науки і техніки [3,4]. Наближені розв'язки нелінійних нестационарних задач тепло- і масообміну для дисперсних середовищ отримані у роботах [5-10]. Задачі нелінійного взаємозв'язаного тепло- й масопереносу у капілярно-пористому середовищі еліпсоїдальної форми, які моделюють процеси переносу у окремих гранулах/частках сипких будівельних матеріалів при сушінні останніх у комбінованих теплогенераторах, раніше не розглядалися.

Мета дослідження – запропонувати адекватну тривимірну модель нелінійного взаємозв'язаного тепло- і масопереносу всередині еліпсоїду з використанням варіаційного формулювання у вигляді принципу Гамільтона з граничним переходом [4,11], яка описує вказані процеси переносу у гранульованих/сипких матеріалах при сушінні останніх у сушарках, котрі забезпечуються теплом від комбінованих теплогенераторів. На основі розробленої фізико-механічної (та математичної) моделі розробити автоматизовану систему управління процесом сушіння сипкого матеріалу, яка контролює основні температурні параметри останнього, його вологомисткість і регулює подачу тепла від альтернативного джерела енергії у разі відхилення параметрів сушарки від тих, що відповідають паспортному режиму її функціонування.

Виклад основного матеріалу.

1. Некласичне варіаційне формулювання у теорії теплопровідності та нерівноважній термодинаміці.

Вуянович В. у [11] запропонував неklasичне варіаційне формулювання у теорії теплопровідності. Варіаційні принципи, запропоновані вказаним автором, засновані на ідеї послідовного варіювання функціоналу певного типу і граничного переходу у рівняннях Ейлера за малим параметром. Для цього у функціонал I вводять параметр τ , котрий не приймає участі у варіюванні:

$$I = I\left(\theta, \dot{\theta}, \frac{\partial \theta}{\partial x_i}, \dots, \tau\right), \quad (1)$$

де $\theta = \theta(x_1, x_2, x_3, t)$ – температура;

$x_i (i = 1, 2, 3)$ – просторові координати, t – час,

$\dot{\theta} \equiv \frac{\partial \theta}{\partial t}$. Після завершення варіювання $\tau \rightarrow 0$, що

призводить до коректних диференціальних рівнянь для розглядуваного процесу.

Запропонований автором [11] варіаційний принцип такого типу має наступну форму:

$$\delta \left\{ \int_V L\left(t, \dot{\theta}, \frac{\partial \theta}{\partial x_i}, \tau\right) dV dt \right\} = 0, \quad (2)$$

де підінтегральний вираз – функція Лагранжа – має вид:

$$L = \left[\left(\tau \cdot \frac{c}{2} \cdot \dot{\theta}^2 - \frac{\lambda}{2} \cdot \sum_{i=1}^3 \left(\frac{\partial \theta}{\partial x_i} \right)^2 \right) \right] \cdot \exp\left[\frac{t}{\tau}\right], \quad (3)$$

де c – питома теплоємність, λ – коефіцієнт теплопровідності (у разі опису процесів масопереносу ці коефіцієнти відповідно означають питому масоємність та коефіцієнт масопровідності) матеріалу.

Рівняння Ейлера для (3) набуває вигляду:

$$+ \frac{\partial}{\partial t} \left(\frac{\partial L}{\partial \dot{\theta}} \right) + \sum_{j=1}^3 \frac{\partial}{\partial x_j} \left(\frac{\partial L}{\partial \frac{\partial \theta}{\partial x_j}} \right) = 0, \quad (4)$$

або:

$$C \cdot \tau \cdot \ddot{\theta} + c \cdot \dot{\theta} = \lambda \cdot \nabla^2 \theta, \quad \ddot{\theta} = \frac{\partial^2 \theta}{\partial t^2}, \quad (5)$$

де ∇^2 – оператор Лапласа, ∇ – оператор Гамільтона.

Після виконання операції $\tau \rightarrow 0$ воно (5) перетворюється у рівняння теплопровідності параболічного типу:

$$\dot{\theta} = \lambda \cdot \Delta \theta, \quad \Delta \equiv \nabla^2. \quad (6)$$

Варіаційний принцип розглянутого типу можна назвати принципом з граничним переходом. У теорії теплопровідності цей прийом дозволяє вирішувати не тільки лінійні задачі, але і ряд задач як з внутрішньою, так і з зовнішньою нелінійністю.

2. Постановка задачі (загальний вигляд).

У загальному випадку слід вивчити граничну задачу для системи з n нелінійних диференціальних рівнянь у частинних похідних, яка описує взаємозв'язаний перенос n субстанцій всередині просторової області V , обмеженої кусково-гладкою поверхнею S . На поверхні відбувається взаємодія розглядуваного явища із зовнішнім середовищем, котра визначається граничними умовами. Задача при цьому може бути записана у формі:

$$C_i(\theta) \cdot \dot{\theta}_i = \sum_{k=1}^n \operatorname{div}\{b_{ik}(\theta) \cdot \operatorname{grad}(\theta_k)\} + \omega_i(\theta), \quad (i = 1, 2, \dots, n) \quad (7)$$

за початкових умов:

$$\theta_i(P, 0) = M_i(P), \quad P \in V, \quad (8)$$

і граничних умов виду:

$$\theta_i(P_1, t) = \Phi_i(P_1, t), \quad P_1 \in S_1, \quad (9)$$

$$\frac{\partial}{\partial n} \theta_i(P_2, t) = Q_i(P_2, t), \quad P_2 \in S_2, \quad (10)$$

$$\frac{\partial}{\partial n} \theta_i(P_3, t) = F_i(\theta(P_3, t)), \quad P_3 \in S_3, \quad (i = 1, 2, \dots, n), \quad (11)$$

де $\theta = (\theta_1, \theta_2, \dots, \theta_n)$; $\theta_i = \theta_i(x, t)$, – залежні змінні (неперервні разом зі своїми похідними до другого порядку включно функції (потенціали переносу)); $S = S_1 \cup S_2 \cup S_3$ – поверхня взаємодії; $P = P(x)$ – поточна точка у області $\bar{V} = V \cup S$; $x = (x_1; x_2; x_3)$; $C_i, b_{ik}, \omega_i, F_i(i, k=1, 2, \dots, n)$ – неперервні функції залежних змінних; M_i – задані функції просторових координат; Φ_i, Q_i – задані функції просторових координат і часу.

Вирази (9), (10) представляють собою граничні умови першого і другого роду, записані для випадку n змінних, а (11) узагальнює граничні умови третього роду (однак функції F_i у загальному випадку можуть залежати від потенціалів переносу нелінійним чином). У такому виді рівняння (7)-(11), згідно класифікації [7], представляють собою нелінійну крайову задачу, де нелінійність існує як у системі основних рівнянь, так і у граничних умовах.

Створення єдиного підходу до моделювання явищ, які приводять до задач типу (7)-(11), дає можливість отримувати результати, які можуть бути використані для кожної конкретної задачі

лінійно залежить від температури (нелінійний фактор задачі).

Нехай a, b, c – напіввісі еліпсоїда. Вводячи безрозмірні координати:

$$X_1 = \frac{x_1}{a}, X_2 = \frac{x_2}{b}, X_3 = \frac{x_3}{c}, F_o = \frac{a_q \cdot t}{c^2}, \quad (12)$$

де F_o – критерій Фур'є, c – коефіцієнт теплоємності, t – час, a_q – коефіцієнт теплопровідності середовища, можна рівняння обмежуючої поверхні S записати як:

$$X_1^2 + X_2^2 + X_3^2 = 1, \quad (13)$$

а систему рівнянь тепло- і масопереносу всередині об'єму V , обмеженого поверхнею S , у виді:

$$\begin{aligned} \dot{\theta}_1 = & d_1^2 \cdot \frac{\partial}{\partial X_1} \left(M \cdot \frac{\partial \theta_1}{\partial X_1} \right) + d_2^2 \cdot \frac{\partial}{\partial X_2} \left(M \cdot \frac{\partial \theta_1}{\partial X_2} \right) + \\ & + \frac{\partial}{\partial X_3} \left(M \cdot \frac{\partial \theta_1}{\partial X_3} \right) - K_0^* \cdot \dot{\theta}_2; \\ \dot{\theta}_2 = & -Lu \cdot Pn \cdot \left(d_1^2 \cdot \frac{\partial^2 \theta_1}{\partial X_1^2} + d_2^2 \cdot \frac{\partial^2 \theta_1}{\partial X_2^2} + \frac{\partial^2 \theta_1}{\partial X_3^2} \right) + \\ & + Lu \cdot \left(d_1^2 \cdot \frac{\partial^2 \theta_2}{\partial X_1^2} + d_2^2 \cdot \frac{\partial^2 \theta_2}{\partial X_2^2} + \frac{\partial^2 \theta_2}{\partial X_3^2} \right), \end{aligned} \quad (14)$$

де $\theta_1 = \theta_1(X_1, X_2, X_3, F_o)$ – безрозмірна температура; $\theta_2 = \theta_2(X_1, X_2, X_3, F_o)$ – безрозмірний потенціал масопереносу;

незалежно від її змісту формально, шляхом їх «налаштування» на параметри конкретної досліджуваної системи. Це полегшує, у свою чергу, і застосування розвинутих методів розв'язку таких задач, і оцінку отримуваних результатів.

3. Тривимірний випадок. Нелінійний взаємозв'язаний тепло- і масопереносу всередині еліпсоїда.

Розглядаючи задачі взаємозв'язаного тепло- і масопереносу у тривимірних середовищах об'єму V , доцільно використовувати варіаційні формулювання у вигляді принципу Гамільтона з граничним переходом. Разом із достатньою точністю розв'язків вони призводять тут до простих обчислювальних процедур. У якості прикладу розглянемо задачу взаємозв'язаного тепло- і масопереносу у капілярно-пористому середовищі еліпсоїдальної форми (геометрична модель частинки сипкого матеріалу, який знаходиться у сушарці). Слід зазначити, що до вказаних типів матеріалів відносяться різноманітні будівельні суміші, а також, зокрема, зерно, яке необхідно тривалий час зберігати у певному стані (за показниками температури і вологості) до моменту його подальшого використання (для сівби або переробки у борошно та ін.). Вважатимемо, що коефіцієнт теплопровідності середовища

$M(\theta_1) = 1 + m \cdot \theta_1$; $d_1 = \frac{c}{a}$; $d_2 = \frac{c}{b}$; m – коефіцієнт нелінійності середовища (за температурою); $K_0^* = \varepsilon \cdot K_0$ – модифікований критерій Коссовича, ε – критерій фазового перетворення, K_0 – критерій Коссовича; Lu – критерій Ликова; Pn – критерій Поснова.

Граничні умови приймаємо у вигляді:

$$\begin{aligned} \left. \theta_i(X_1, X_2, X_3, F_o) \right|_s &= \theta_{i1}, \\ \theta_i(X_1, X_2, X_3, 0) &= \theta_{i0}, \\ \theta_{i0}, \theta_{i1} &= \text{const}, \quad (i=1, 2). \end{aligned} \quad (15)$$

Використовуючи варіаційний принцип Гамільтона з граничним переходом за параметром Δ :

$$\delta I = \delta \int_{F_o} dF_o \int_V L dV = 0, \quad (16)$$

Запишемо функцію Лагранжа у виді:

$$\begin{aligned} L = & \frac{\Delta}{2} \cdot \left\{ \left[\dot{\theta}_1 - d_1^2 \cdot \frac{\partial}{\partial X_1} \left(M \cdot \frac{\partial \theta_1}{\partial X_1} \right) - d_2^2 \cdot \frac{\partial}{\partial X_2} \left(M \cdot \frac{\partial \theta_1}{\partial X_2} \right) - \right. \right. \\ & \left. \left. \left(M \cdot \frac{\partial \theta_1}{\partial X_3} \right) - \frac{\partial}{\partial X_3} \left(M \cdot \frac{\partial \theta_1}{\partial X_3} \right) + K_0^* \cdot \dot{\theta}_2 \right]^2 + \right. \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
& + \left[\dot{\theta}_2 + Lu \cdot Pn \cdot \left(d_1^2 \cdot \frac{\partial^2 \theta_1}{\partial X_1^2} + d_2^2 \cdot \frac{\partial^2 \theta_2}{\partial X_2^2} + \frac{\partial^2 \theta_2}{\partial X_3^2} \right) - \right. \\
& \left. Lu \cdot \left(d_1^2 \cdot \frac{\partial^2 \theta_2}{\partial X_1^2} + d_2^2 \cdot \frac{\partial^2 \theta_1}{\partial X_2^2} + \frac{\partial^2 \theta_1}{\partial X_3^2} \right) \right]^2 \cdot \exp\left(\frac{F_0}{\Delta}\right) \cdot (17)
\end{aligned}$$

$$\begin{cases}
9,720 \cdot B_1 \cdot \dot{\varphi}_1 + 5,056 \cdot (K_0^*)^2 \cdot B_1 \cdot B_2 \cdot \dot{\varphi}_2 + \\
+ 50,668 \cdot m \cdot B_1^3 \cdot \alpha \cdot \varphi_1^2 + 16,664 \times \\
\times B_1^2 \cdot \alpha \cdot [1 + m(\theta_{10} + B_1)] \cdot \varphi_1 = 0; \\
5,056 \cdot K_0^* \cdot B_1 \cdot B_2 \cdot \dot{\varphi}_1 + B_2^2 (5,056 + 9,720 (K_0^*)^2) \times \\
\times \dot{\varphi}_2 + 50,668 \cdot B_1^2 \cdot B_2 \cdot K_0^* \cdot m \cdot \alpha \cdot \varphi_1^2 + B_1 \cdot B_2 \cdot \alpha \times \\
\times [16,644 \cdot [K_0^* \cdot (1 + m \cdot \theta_{10}) + Lu \cdot Pn] + 16,656 \cdot B_1 \cdot K_0^* \cdot m] \times \\
\times \varphi_1 + 16,644 \cdot B_2^2 \cdot Lu \cdot \alpha \cdot \varphi_2 = 0, \\
\varphi_1(0) = 1, \varphi_2(0) = 1,
\end{cases} \quad (19)$$

У основу апроксимуючих функцій покладемо структуру розв'язку нестационарної задачі теплопровідності для еліпсоїда, отриману у роботі [12] за граничних умов виду (15) методом П.В.Цоя. Приймаємо:

$$\dot{\theta}_i = \theta_{i0} + (\theta_{i1} - \theta_{i0}) \cdot \left\{ 1 - (1 - X_1^2 - X_2^2 - X_3^2) \times \right. \\
\left. \times (1,958 - 1,038 \cdot (X_1^2 + X_2^2 + X_3^2)) \cdot \varphi_i(F_0) \right\}, \quad (i=1,2). \quad (18)$$

Використовуючи апроксимацію (18), функцію Лагранжа (17) й переходячи до рівнянь Ейлера при $\Delta \rightarrow 0$ отримаємо наступну задачу Коші для визначення невідомих функцій φ_i :

$$\text{де} \quad B_i = \theta_{i1} - \theta_{i0}, \quad (i=1,2);$$

$$\alpha = 1 + d_1^2 + d_2^2.$$

У таблиці 1 наведені функції φ_1 та φ_2 , отримані з (19) при $K_0^* = 0,3$, $Pn=0,5$, $Lu=2$, $\theta_{10} = \theta_{10} = 0$, $\theta_{11} = \theta_{21} = 1$, $d_1=2$, $d_2=3$.

Таблиця 1.

Значення функцій φ_1 та φ_2 у (18) ($K_0^* = 0,3$, $Pn=0,5$, $Lu=2$, $\theta_{10} = \theta_{20} = 0$, $\theta_{11} = \theta_{21} = 1$)

F0	m=0,0		m=0,1		m=0,5	
	φ_1	φ_2	φ_1	φ_2	φ_1	φ_2
0,00	1,0000	1,0000	1,0000	1,0000	1,0000	1,0000
0,05	0,3265	-0,0151	0,2401	0,0893	0,0967	0,3275
0,10	0,1066	-0,3466	0,0663	-0,1416	0,0161	0,2470
0,15	0,0348	-0,4549	0,019	-0,2061	0,0029	0,2333
0,20	0,0114	-0,4902	0,0058	-0,2247	0,0005	0,2308
0,25	0,0037	-0,5018	-0,0016	-0,2301	0,0002	0,2304
0,30	0,0012	-0,5055	0,0005	-0,2317	0,0001	0,2303
0,35	0,0004	-0,5068	0,0002	-0,2321	0,0000	0,2301
0,40	0,0001	-0,5072	0,0001	-0,2322	0,0000	0,2300
F0	m=1,0		m=1,5		m=2,0	
0,00	1,0000	1,0000	1,0000	1,0000	1,0000	1,0000
0,05	0,0406	0,4810	0,0119	1,0022	-0,0489	1,0666
0,10	0,0382	0,4515	-0,0016	1,0311	-0,0036	1,2468
0,15	0,0025	0,4488	-0,0023	1,0603	-0,0024	1,3994
0,20	0,0016	0,4484	-0,0024	1,2126	-0,0019	1,5511
0,25	0,0009	0,4483	-0,0025	1,3648	-0,0018	1,7028
0,30	0,0003	0,4482	-0,0026	1,5171	-0,0018	1,8544
0,35	0,0002	0,4481	-0,0027	1,6604	-0,0017	2,0006
0,40	0,0001	0,4480	-0,0027	1,7320	-0,0017	2,0071

Висновки

1. Дослідження розв'язків задачі (18) показує, що поведінка полів потенціалів переносу θ_1 й θ_2 у значній мірі залежить від величини коефіцієнта m у функції $M(\theta_1)$. Ця функція визначає нелінійні властивості задачі й характеризує залежність коефіцієнту теплопровідності матеріалу від температури. Так, при $m \leq 1$ як для температурного поля, так і для поля потенціалу масопереносу спостерігається яскраво виражена динаміка у початковій фазі переносу, яка призводить до швидкої стабілізації у часі. Найбільші зміни полів цих потенціалів відбуваються при значеннях F_0 у проміжку від 0 до 0,2. При $F_0 > 0,2$ рух полів θ_1 й θ_2 у часі стрімко сповільнюється.

2. Для значень коефіцієнту $m > 1$ характер взаємозв'язаного переносу змінюється. Для потенціалу θ_1 часовий діапазон нестационарності процесу починає скорочуватись, що призводить до інтенсифікації перенесення тепла. Проміжок значень критерію F_0 , у котрому мають місце найбільш суттєві зміни поля θ_2 , зі збільшенням m розширюється, що призводить до сповільнення процесу масопереносу.

3. У області найбільшої нестационарності процесу при малих значеннях m ($m < 0,5$) у одних і тих самих точках провідного середовища швидкість зміни температурного поля не перевищує швидкості

зміни поля масового вмісту. Зі збільшенням $m \dot{\theta}_1$ зростає, а $\dot{\theta}_2$ зменшується, й при $m > 0,5$ має місце співвідношення $\dot{\theta}_1 > \dot{\theta}_2$.

Література

1. Лыков А.В. Теория переноса энергии и вещества. /А.В. Лыков, Ю.А. Михайлов. – Минск: Изд-во АН БССР, 1959. – 329 с.
2. Лыков А.В. Теория тепло- и массопереноса. /А.В. Лыков, Ю.А. Михайлов. – М. – Л.: Госэнергоиздат, 1963. – 536 с.
3. Лыков А.В. Теория сушки. /А.В. Лыков. – М.: Энергия, 1968. – 471 с.
4. Михайлов Ю.А. Вариационные методы в теории нелинейного тепло- и массопереноса. /Ю.А. Михайлов, Ю.Т. Глазунов. – Рига: Зинатне, 1985. – 190 с.

УДК 693.61:69.059.25

Терновий В.І., Молодід О.С., Гуцуляк Р.Б.¹

ДОСЛІДЖЕННЯ СКЛАДУ РЕСТАВРАЦІЙНОЇ ЦЕМ'ЯНКОВОЇ ШТУКАТУРКИ

АНОТАЦІЯ. Зразки цем'янкової штукатурки за історичною рецептурою не мають необхідних фізико-механічних показників. Приведені дослідження залежності показників цем'янкової штукатурки від добавок метилцелюлози, суперпластифікатора та негашеного вапна взамін вапняного тіста в сукупності з введенням великої кількості води, а також від кількості цементу, яким замінили частину вапна.

Ключові слова: цем'янкова штукатурка, негашене вапно, фізико-механічні показники.

АННОТАЦИЯ. Образцы цемяночной штукатурки по исторической рецептуре не имеют необходимых физико-механических показателей. Приведенные исследования зависимости показателей цемяночной штукатурки от добавок метилцеллюлозы, суперпластификатора и негашеной извести взамен известкового теста в совокупности с введением большого количества воды, а также от количества цемента, которым заменили часть извести.

Ключевые слова: цемяночная штукатурка, негашеная известь, физико-механические показатели.

ANNOTATION. Samples tsemyankovoyi plaster on historical recipes do not have the necessary physical and mechanical properties. Cited research depends on indicators tsemyankovoyi plaster additives Methylcellulose, superplasticizer and quicklime return lime paste together with the introduction of large amounts of water and the amount of cement, which replaced part of the lime.

Keywords: tsemyankova plaster, quicklime, physical and mechanical performance.

Постановка проблеми. При реставрації визначних пам'яток архітектури Давньоруської доби (X-XIII ст.) реставратори стикаються з необхідністю відновлення вапняно-цем'янкових штукатурок, якими опоряджені ці пам'ятки. Згідно існуючих норм та правил реставраційний матеріал повинен бути сумісним з історичним, не завдавати йому шкоди, а найкраще – коли він буде однієї природи і складу з автентичним матеріалом. З іншої сторони реставрація підмурків, цокольної частини, галерей та інших ділянок пам'яток, які, як правило, систематично замокають, засолені і активно руйнуються, вимагає використання санувальних систем. Це означає, що реставраційна штукатурка пови-

нна мати високу пористість, низький коефіцієнт опору дифузії водяної пари, низьку капілярну проникність, високу солестійкість, достатню міцність і інші властивості сформульовані в міжнародних технічних нормах WTA [1].

Дослідження складу реставраційної цем'янкової штукатурки та технології її влаштування до цього часу не проводились.

Зразки цем'янкової штукатурки виготовлені нами за історичною рецептурою мали фізико-механічні показники, що не задовольняли вимоги, крім пористості та коефіцієнта опору дифузії водяної пари [2]. Міцність на стиск таких зразків нижча від міцності історичних зразків у 9 разів. За-

¹ Терновий В.І., к.т.н., проф. (КНУБА, Київ); Молодід О.С., інженер (КНУБА, Київ); Гуцуляк Р.Б., к.хім.н., директор (ДП «Ко-нрест», Київ).

міна в цем'янковому розчині 20 % маси вапна цементом дозволила досягти штукатуркою необхідної міцності, але пористість при цьому зменшилась до 39,2 %, що нижче рекомендованої 45 % [3].

Отже, для пошуку складу реставраційної цем'янкової штукатурки, яка мала би необхідні фізико-механічні показники ми продовжили дослідження.

Виклад основного матеріалу. Опираючись на результати лабораторних досліджень цем'янкового розчину [3], ми виготовили на цегляній основі шар цем'янкової штукатурки з компонентним складом (в масових частках) 0,8 – вапно; 0,2 – цемент; 1,0 – цем'янка; 0,5 – пісок) рухомістю 9 см осадки стандартного конуса. Поверхня штукатурки після 24 годин твердіння мала велику кількість усадних тріщин шириною від 0,1 до 4,0 мм.

В подальшому дослідження ми проводили з новим компонентним складом цем'янкового розчину: 0,8 мас. ч. вапна; 0,2 мас. ч. цементу; 1,5 мас. ч. цем'янки. Такий склад ми прийняли тому, що із 20-ти розглянутих нами [2] історичних компонентних складів 19 мають менше 10 % мас. ч. піску, а 10 – 5...0 % мас. ч. піску, тобто, на території України зустрічаються різні цем'янкові розчини – з додаванням піску і без нього.

Для зменшення тріщинуватості штукатурки за рекомендаціями [4] ми виконали дві серії дослідів. У першій серії розчинну суміш рухомістю 9 см наносили на цегляну основу шарами зменшеної товщини: 30; 20; 15; 10; 5 мм. У всіх дослідях штукатурні шари через 24 години твердіння мали велику кількість усадних тріщин.

У наступній серії дослідів у розчинну суміш вводили армуючі метилцелюлозні волокна Technocel 150 та Technocel 2500 у кількості: 0,5;

1,0; 1,5 % від маси сухого складу і наносили цю суміш на цегляну основу. Через 24 години зразки оглянули і виявили велику кількість усадних тріщин.

Відомо, що тріщини на затверділій штукатурці утворюються через надлишок у розчинній суміші в'язучого чи вологи [5]. Оскільки кількість в'язучого в розчинній суміші ми змінити не могли, то зменшили на 50 % кількість води, а для забезпечення рухомості суміші 9 см в неї було введено порошковий суперпластифікатор Melflux 2651F в об'ємі 0,3 та 0,4 % від ваги в'язучого. Приготовлена таким методом суміш була нанесена на цегляну основу. Проведене через 24 години обстеження показало, що в штукатурному шарі були тріщини.

За рекомендаціями [4] для зменшення усадки розчинів ми вирішили замінити певну частку вапняного тіста, що входить в склад цем'янкової розчинної суміші, негашеним вапном.

Для вивчення впливу негашеного вапна на ліквідацію усадних тріщин в штукатурці ми виготовили чотири різні розчинні суміші прийнятого складу. У цих сумішах вапняне тісто в кількості 0,8 мас. ч. частково, в об'ємі 10; 20; 30; 40 %, було замінено негашеним вапном. Склад розчинних сумішей – вапно-тісто : негашене вапно : цемент : цем'янка у масових частках був наступним:

- 1) 0,72 : 0,08 : 0,2 : 1,5
- 2) 0,64 : 0,16 : 0,2 : 1,5
- 3) 0,56 : 0,24 : 0,2 : 1,5
- 4) 0,48 : 0,32 : 0,2 : 1,5

Розчинні суміші нанесли на цегляну основу і через добу їх оглянули. Кількість тріщин у зразках зменшувалась зі збільшенням в штукатурці негашеного вапна, але всі зразки мали тріщини (табл. 1).

Таблиця 1

Характеристика тріщин в зразках штукатурки при заміні вапняного тіста негашеним вапном

Параметри тріщин в штукатурці	Значення параметрів тріщин при кількості негашеного вапна у штукатурній розчинній суміші у відсотках:				
	без добав-ки	10 %	20 %	30%	40%
Ширина, мм	3	3	2 - 3	2	1 - 2
Загальна довжина, мм	660	655	580	525	430

Враховуючи рекомендації авторів публікацій [6, 7, 8] ми прийняли рішення замінити в компонентному складі цем'янкової штукатурки все вапно-тісто на негашене вапно і додати у якості сповільнювача гасіння вапна двоводний гіпс.

На нашу думку, наявність негашеного вапна збільшить температуру розчинної суміші за рахунок гасіння вапна, отже збільшить швидкість створення структури штукатурки і в ній не проявляться усадні деформації, а уповільнювач гасіння дещо уповільнить виділення тепла і за-

побіжить руйнівним температурним розширенням.

Нами досліджено вплив кількості гіпсу в розчинній цем'янковій суміші на наявність тріщин на шарові штукатурки через 24 години її твердіння. Для цього гіпс вводили в склад розчинної суміші замість негашеного вапна в кількості 5; 15; 17 % від первісної загальної масової частки вапна. Отже, склад експериментальних сумішей в дослідях був наступним – (негашене вапно : двоводний гіпс : цемент : цем'янка):

- №1 0,76 : 0,04 : 0,2 : 1,5

№2 0,68 : 0,12 : 0,2 : 1,5

№3 0,66 : 0,14 : 0,2 : 1,5

Розчинні суміші рухомістю 9 см осадки конуса з різною кількістю гіпсу наносили намазуванням на цегляну основу з вологістю 12 %. Через 24 години штукатурку оглянули крізь лупу. Композиція, яка мала в своєму складі 17 % гіпсу замість негашеного вапна мала найменшу кількість коротких тріщин товщиною менше 0,7 мм.

Опираючись на рекомендації дослідників негашеного вапна [6, 7] ми виконали пробний дослід з додаванням в розчинну суміш складу № 3 кількість води при якій рухомість розчинної суміші була 16 см.

Для виготовлення лабораторного зразка штукатурного шару цеглину положили на робочий стіл основою з розміром 250x120 мм. На бокові грані цеглини закріпили пластикову обичайку з виступом над цеглою на 30 мм і у створений

об'єм над цеглиною вилили приготовлену розчинну суміш. Таким способом ми виготовили декілька зразків. Тріщини на поверхні зразків не з'явилися протягом 28 днів. Через 28 днів твердіння при температурі +20° С та вологості повітря 50÷65 % із зразків шару на цеглинах вирізали зразки для визначення пористості і коефіцієнта опору дифузії водяної пари, за методикою WTA, та визначення міцності штукатурки на стиск за методикою ГОСТ 5802-86.

Дослідження показали (табл. 2), що міцність штукатурки впала до значення 1,48 МПа, яке на 1,35 % менше за мінімально рекомендоване WTA рівне 1,5 МПа.

Пористість штукатурки зросла до 48,4%, при рекомендованій WTA 45 %.

Коефіцієнт опору дифузії водяної пари залишається меншим 12 – рекомендованого WTA.

Таблиця 2

Основні фізико – механічні показники цем'янкової штукатурки виготовленої з розчинної суміші рухомістю 16 см.

№ п/п	Назва показника	Роз-мір-ність	Значення показника	
			За результатами дослідів	За вимогами норм
1	Міцність на стиск	МПа	1,48	1,5 – 5,0
2	Пористість	%	48,4	>45
3	Коеф. опору диф. водяної пари	-	5,5	<12

Такі зміни фізико-механічних показників у цем'янковій штукатурці можна пояснити тим, що при твердінні розчину вода випаровується і утворює порожнини, підвищуючи тим самим пористість та знижуючи міцність штукатурки.

Для підвищення міцності розчину нами досліджені залежності міцності на стиск, пористості та коефіцієнта опору дифузії водяної пари цем'янкової штукатурки від кількості у в'язучому цементної добавки. Кількість вапна знижувалась на таку масову частку на скільки збільшувалась кількість цементу.

У лабораторних умовах, із розчинної суміші рухомістю 16 см, були виготовлені 4 серії зразків

цем'янкової штукатурки з різною кількістю цементу у складі в'язучого (20 %; 30 %; 40 %; 50 %).

Компонентний склад розчинної суміші у цих серіях був наступним (негашене вапно : гіпс : цемент : цем'янка):

Серія №1 0,664 : 0,136 : 0,2 : 1,5

Серія №2 0,581 : 0,119 : 0,3 : 1,5

Серія №3 0,498 : 0,102 : 0,4 : 1,5

Серія №4 0,415 : 0,085 : 0,5 : 1,5

Через 28 днів твердіння у зразках визначали міцність на стиск, пористість, коефіцієнт опору дифузії водяної пари та наявність тріщин. Результати досліджень приведені в табл. 3 та рис

Таблиця 3

Зміна показників цем'янкової штукатурки виготовленої відливанням при збільшенні цементу в її складі

№ п/п	№ серії дослідів	Міцність на стиск, МПа	Пористість, %	Коеф. опору диф. водяної пари	Тріщини, мм
1	№ 1, 20 % цементу	1,48	48,4	5,5	відсутні
2	№ 2, 30 % цементу	1,98	48,5	5,8	відсутні
3	№ 3, 40 % цементу	2,22	47,9	6,1	відсутні
4	№ 4, 50 % цементу	2,61	46,1	6,7	0,1-0,3
5	Інформаційний лист WTA	1,5 - 5	>45	<12	відсутні



Рис. 1. Графіки зміни основних показників цем'янового розчину при збільшенні цементу в його складі: а – міцність, б – пористість, в – коефіцієнт опору дифузії водяної пари.

Дослідження показали (табл. 3, рис.1 а), що міцність штукатурки зростає майже лінійно зі збільшенням масової частки цементу в розчині і досягає значення 1,98 МПа при кількості цементу в розчині 0,3 масових частки від загальної кількості в'язучого.

Пористість штукатурки при заміні частини вапна цементом дещо збільшується (табл. 3, рис.1 б) при масовій частці - 0,3 до 48,5 %, а потім знижу-

ється і зі збільшенням масової частки цементу до 0,5 досягає 46,1 %. В усіх експериментах пористість має значення більше 45 %, що задовольняє рекомендації WTA.

Коефіцієнт опору дифузії водяної пари коливається в межах від 5,8 до 6,7, (табл. 3, рис.1 г), і залишається меншим 12 – рекомендованого WTA.

Висновки

1. Для реставраційної цем'янової штукатурки ми рекомендуємо розчинну суміш рухомістю 16 см з компонентним складом: негашене вапно – 0,581 мас. ч., двоводний гіпс – 0,119 мас. ч., цемент – 0,3 мас. ч., цем'янка – 1,5 мас. ч.

2. Необхідні фізико-механічні показники цем'яновим реставраційним штукатурним розчинам (міцність на стиск більше 1,5 МПа, пористість більше 45 %, опір дифузії водяної пари менше 12) досягнуто як компонентним складом розчинної суміші, так і технологічним чинником – великим водов'язучим відношенням.

Література

1. WTA Merkblatt 2-2-91/D. Sanierputzsysteme. Deutsche Fassung. Stand Juli 1992 (Vorversion): Wissenschaftlich-Technische Arbeitsgemeinschaft für Bauwerkserhaltung und Denkmalpflege e.V. – WTA-, München; 1992, 9 S. (<http://www.wta.de/>).
2. Терновий В. І., Молодід О. С., Гуцуляк Р. Б. Відтворення цем'янового розчину для реставрації будинків X – XII ст. Науковий збірник Містобудування та територіальне планування. – Київ: КНУБА. – 2010. – Вип. 36. С.424-429.
3. Молодід О. С. До реставрації цем'янової штукатурки. Науковий збірник Містобудування та територіальне планування. – Київ: КНУБА. – 2011. – Вип. 40. С.45-48.
4. Захарченко П.В., Долгий Е.М., Галаган Ю.О. Сучасні композиційні будівельно-оздоблювальні матеріали// Київ – 2005. – 512с.
5. Волженский А.В. Минеральные вяжущие вещества// Москва: Стройиздат, 1986. – 435 с.
6. Осин Б.В. Негашеная известь как новое вяжущее вещество// Москва – 1954. – 372с.
7. Борщевский Ю.А. Строительные растворы повышенной прочности на основе молотой извести кипелки: дис. канд. техн. наук/ Киев – 1953. – 177с.
8. Донской А.А. Молотая негашеная известь, ее производство и применение//ЛНИИХ, 1940.

УДК: 330.101 (045)

Федосова О.В., Молодід О.О.¹

КВАЗІЛІНІЙНЕ МОДЕЛЮВАННЯ ТЕХНО-ЕКОНОМЕТРИЧНИХ ЗАЛЕЖНОСТЕЙ ЕКОНОМІЧНОЇ БЕЗПЕКИ БУДІВЕЛЬНИХ ПІДПРИЄМСТВ КИЇВЩИНИ

АНОТАЦІЯ. Визначено чинники, які впливають на економічну безпеку будівельних підприємств Київщини, а також, розроблено метод її оцінки. Розроблені квазілінійні техно-економетричні залежності виручки та собівартості будівельних організацій м. Києва та Київської області від таких чинників як вартість необоротних, оборотних активів та витрат на оплату праці.

Ключові слова: будівельне підприємство, економічна безпека будівельного підприємства, техно-економетричні залежності, квазілінійні залежності, адекватність.

АННОТАЦИЯ. Определены факторы, которые влияют на экономическую безопасность строительных предприятий г. Киева и Киевской обл., а также, создан метод ее оценки. Разработаны квазилинейные техно-эконометрические зависимости выручки и себестоимости строительных организаций г. Киева и Киевской обл. от таких факторов как стоимость необоротных, оборотных активов и заработной платы.

Ключевые слова: строительное предприятие, экономическая безопасность строительного предприятия, техно-эконометрические зависимости, квазилинейные зависимости, адекватность.

SUMMARY. Factors which influence on economic security of a build enterprise in Kyiv and Kyiv region determination, to development of method of its estimation. Unlinear tekhnno-ekonometrical dependences of of profit yield and prime price of a build organization are developed in Kyiv and Kyiv region on such technological factors as a cost of irreversible, circulating assets and charges on payment of labor.

Key words: build enterprise, economic security of a build enterprise, tekhnno-ekonometrical dependences, unlinear dependences.

Постановка проблеми. Кожна галузь промисловості має свої особливості функціонування, так і підприємства будівельного комплексу відрізняються від підприємств інших галузей рядом факторів. До таких факторів можна віднести:

- правове регулювання галузі та сфери діяльності підприємств;
- практика господарської діяльності, яка склалася в галузі та на підприємстві;
- особливості організації діяльності будівельних підприємств;
- технологічні особливості процесу будівництва (залежно від об'єктів, об'ємів будівництва тощо).

У сучасній науці розроблена значна кількість методів оцінки економічної безпеки, які базуються на ресурсно-функціональному, фінансовому, відносному та індикаторному підходах. Проте жоден з них не дозволяє провести оцінку економічної безпеки з урахуванням динамічного розвитку підприємства і для встановлення функціональної залежності між показниками потрібні додаткові ґрунтовні дослідження. Саме тому необхідний синтетичний метод визначення показників розвитку економічної безпеки в динаміці.

Виклад основного матеріалу. Враховуючи всі можливі переваги та недоліки проаналізованих методів оцінки економічної безпеки був запропонований синтетичний метод комплексу роз-

рахунків із визначення рівня економічної безпеки будівельного підприємства, який на основі адекватних техно-економетричних моделей функціонування підприємства, що передбачає аналіз домінуючих функціональних складових економічної безпеки будівельного підприємства.

Загальну схему визначення рівня економічної безпеки будівельного підприємства представлено на рисунку 1.

Кожен із факторів, які визначають особливість діяльності будівельного підприємства впливає на вибір технології та обрану систему технології, яка включає в себе елементи, за якими треба її аналізувати: предмети праці, засоби праці, виконавці праці, а всі ці елементи в комплексі дозволяють створити продукт праці.

Такий підхід до системних позицій дозволив скоригувати склад функціональних складових економічної безпеки будівельного підприємства, який показаний на рисунку 2. Та дозволяє виділити підпорядковані технологічній складовій елементи: ресурсно-матеріально складову (предмети праці), технічну складову (засоби праці) та кадрову (працівники).

Технологічні особливості кожного елемента системи визначаються і характеризуються призначенням, функціями кожного елемента в системі, його місцем у системі, які є домінуючими, а технологічна при цьому є ведучою.

¹ Федосова О.В., д.е.н., проф. (КНУБА, Київ); Молодід О.О., аспірант (КНУБА, Київ).



Рис. 1. Схема визначення рівня економічної безпеки.

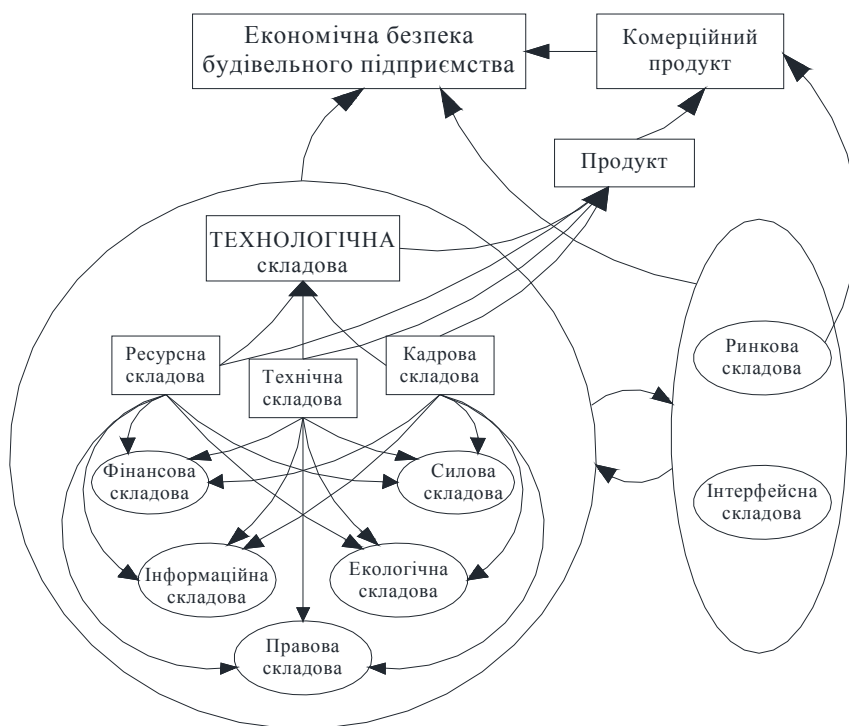


Рис. 2. Схема взаємозв'язків функціональних складових економічної безпеки будівельного підприємства.

Кожен із елементів тех.-нологічної системи у звітності підприємства пояснюються наступними факторами: засоби праці - матеріальними затратами або оборотними активами; предмети праці – амортизацією, середньорічною вартістю основних засобів або необоротними активами; виконавців праці - витратами підприємства на оплату праці та відрахуваннями на соціальні заходи.

Оскільки, саме технологічні особливості кожного елемента системи визначають їх, це доводить, що саме технології, а відповідно й технологічній функціональній складовій, належить домінуюча роль в структурі економічної безпеки будівельного підприємства. Тому, будемо розглядати механізм економічної безпеки як сукупність діяльності організаційних та інституціональних структур, які завдяки застосування певних методів та методик дозволяють збалансувати та гармонізувати її.

Охарактеризуємо детальніше кожен із зазначених пунктів на прикладі групи підприємств (20), які зареєстровані у м. Києві та Київській області. Основним видом діяльності даних підприємств є будівництво будівель. Аналізувалася діяльність підприємств у період 2005-2010 років.

Аналіз фінансової звітності [3] всіх обраних підприємств засвідчив, що суттєвим для їх економічної безпеки є саме такі фактори: за ресурсно-матеріальною складовою - матеріальні затрати або оборотні активи, які характеризують предмети праці; за технічною складовою – амортизація, середньорічна вартість основних засобів або вартість необоротних активів, що відповідають засобам праці; за кадровою складовою – витрати підприємства на оплату праці та відрахування на соціальні заходи, що характеризує виконавців праці.

Всі ці фактори вимірюються грошовими коштами, які були витрачені на забезпечення дієвості відповідної функціональної складової.

Оскільки, необхідною умовою побудови адекватної економетричної моделі є попарна незалежність відібраних факторів регресії. Був проведений кореляційно-регресійний аналіз [4], який виявив, що факторами, які задовольняють умову попарної незалежності факторів будуть: за техніч-

ною складовою – необоротні активи (x_1); за ресурсно-матеріальною – оборотні активи (x_2); а за кадровою – витрати на оплату праці (x_3).

Основою аналізу була фінансово-балансова звітність підприємств:

- ЗАТ «КМБ – 1»;
- ЗАТ «КМБ – 6»;
- ЗАТ «ТРЕСТ КМБ – 2»;
- ЗАТ «КМБ – 1 ІМ. ЗАГОРОДНЬОГО»;
- ТОВ «БП – 4 КМБ – 1»;
- ВАТ «ДБК – 3»;
- ВАТ «ДБК – 1 ІМ. СПІВАКА»;
- ВАТ «ЦЕНТРОСТАЛЬКОНСТРУКЦІЯ»;
- ПАТ «КМПК – 2»;
- ВАТ «НЕРУХОМІСТЬ СТОЛИЦІ»;
- ТОВ «ВИРОБНИЧИЙ ВЕКТОР»;
- ТОВ «БК «МІСЬКЖИТЛОБУД»;
- ПАТ «СПМК № 509»;
- ТОВ «БРОВАРСЬКИЙ ДОМОБУДІВНИЙ КОМБІНАТ «МЕРКУРІЙ»;
- ПАТ «ПМК – 13»;
- ВАТ «БОРИСПІЛЬСЬБУД»;
- ВАТ «АЕРОК ОБУХІВ»;
- ВАТ «ІВАНКІВСЬКА ПМК № 2»;
- ВАТ «ПМК – 508»;
- ПП «ПІД КЛЮЧ».

Зі звітності були вибрані необхідні дані, які слугують базою дослідження та аналізу (таблиця 2). Так, вартість необоротних активів відображені у формі звітності № 1 «Баланс» підприємств рядок 80, інформація про вартість оборотних активів, знову ж таки, міститься у формі звітності № 1 «Баланс» підприємств рядок 260, інформація про витрати на оплату праці значиться у рядку 240 форми звітності № 2 «Звіт про фінансові результати», а інформація про результуючі ознаки, «Доход (виручка) від реалізації продукції (товарів, робіт, послуг)» та «Собівартість реалізованої продукції (товарів, робіт, послуг)», містяться у рядках 10 та 40 форми звітності № 2 «Звіт про фінансові результати» відповідно.

Наступним, після побудови матриці вихідних даних (табл. 2) є перевірка попарної незалежності між встановленими факторами.

Таблиця 2

Вихідна інформація за функціональними складовими по незалежних та залежних змінних (витяг зі звітності підприємств, що досліджується) [3] *

Назва підприємства	Рік	Технічна складова	Ресурсно-матеріальна складова	Кадрова складова	Технологічна складова	
		Необоротні активи під-ва, тис. грн.	Оборотні активи під-ва, тис. грн.	Витрати на оплату праці, тис. грн.	Виручка під-ва, тис. грн.	Собівартість продукції під-ва, тис. грн.
		x_1	x_2	x_3	y_1	y_2
...	...	...	...	...	...	...
ТОВ «БП – 4 КМБ – 1»	2005	1574.90	4074.10	4992.50	86620.30	69236.50
	2006	3728.60	4882.70	6070.80	54307.30	40835.70
	2007	8291.00	20134.00	11533.00	174154.00	132132.00
	2008	8882.00	55827.00	12015.00	451697.00	359865.00
	2009	8396.00	26228.00	2587.00	170880.00	140432.00
	2010	9692.00	23990.00	4101.00	65179.00	53413.00

...	...	...	...	...	...	...
ПП «ПІД КЛЮЧ»	2005	67905.80	35320.40	3416.20	67813.00	44629.20
	2006	41386.30	152248.30	14332.40	153782.70	115767.30
	2007	23479.00	225941.20	19852.50	235568.70	174199.00
	2008	26390.00	285376.00	28252.00	183049.00	143781.00
	2009	72735.00	225062.00	7778.00	87075.00	63362.00
	2010	57335.00	190245.00	958.00	122721.00	88048.00
...	...	...	...	...	...	...
	Сума	1866687.20	12073332.70	16657889.50		
	Середнє	14 035.24	90 776.94	125 247.29		
	Відхилення	33 289.60	177 805.90	224 679.85		

* - наведена інформація для кількох найбільш характерних підприємств, при дослідженні були враховані значення незалежних змінних для всієї групи підприємств.

Першим кроком для перевірки відсутності (на-явності) кореляції між імовірними незалежними змінними буде нормалізація вихідних даних (табл. 2). Нормалізацію вихідних даних проводи-мо за формулою:

$$x_{it}^H = \frac{x_{it} - \bar{x}_i}{\sqrt{n \cdot \sigma_{xi}}}, \quad (t = \overline{1, n}); \quad (i = \overline{1, m}) \quad (1)$$

де n – число розглянутих періодів;

m – число факторів;

$\bar{x}_i$ – середнє значення фактора x_i ;

σ_{xi} – середньоквадратичне відхилення фак-тора x_i .

Результати розрахунків наведені у таблиці 3.

Таблиця 3

Нормалізовані дані незалежних змінних за домінуючими функціональними складовими*

Назва підприємства	Рік	Технічна складова - необоротні активи (x_1)	Ресурсно-матеріальна складова - оборотні активи (x_2)	Кадрова складова - витрати на оплату праці (x_3)
...	...	...	...	...
ТОВ «БП - 4 КМБ - 1»	2005	-0.043	-0.048	-0.024
	2006	-0.042	-0.048	-0.021
	2007	-0.040	-0.042	-0.007
	2008	-0.040	-0.028	-0.005
	2009	-0.040	-0.040	-0.030
	2010	-0.039	-0.041	-0.026
...	...	...	...	...
ПП «ПІД КЛЮЧ»	2005	-0.010	-0.036	-0.028
	2006	-0.023	0.009	0.001
	2007	-0.032	0.038	0.015
	2008	-0.031	0.061	0.037
	2009	-0.008	0.037	-0.016
	2010	-0.015	0.024	-0.034

* - наведена інформація для кількох найбільш характерних підприємств, при дослідженні були враховані значення незалежних змінних для всієї групи підприємств.

На базі матриці нормалізованих даних (табл. 3), будується кореляційна матриця незалежних змінних (вартість необоротних активів - x_1 , вартість оборотних активів - x_2 , витрати на оплату праці - x_3). Розрахунки виконуються за формулою [4], а результати подані у таблиці 4:

$$[K] = [X^H]^T [X^H] \quad (2)$$

де $[K]$ - кореляційна матриця,

$[X^H]$ - матриця нормалізованих статистичних факторів (див. табл. 3),

$[X^H]^T$ - транспонована матриця по відношенню до матриці $[X^H]$.

Побудована кореляційна матриця (див. табл. 4) ще не свідчить про відсутність кореляційного зв'язку між факторами.

Таблиця 4

Кореляційна матриця незалежних змінних за домінуючими функціональними складовими

Незалежні змінні	Технічна складова - необоротні активи (x_1)	Ресурсно-матеріальна складова - оборотні активи (x_2)	Кадрова складова - витрати на оплату праці (x_3)
Технічна складова - необоротні активи (x_1)	1	0.212	0.064
Ресурсно-матеріальна складова - оборотні активи (x_2)	0.212	1	0.050
Кадрова складова - витрати на оплату праці (x_3)	0.064	0.050	1

Для підтвердження відсутності кореляції необхідно визначити значення χ_p^2 розрахункове та порівняти його з табличним (χ_m^2) яке дорівнює 7,815 [5].

$$\chi_p^2 = -\left[n - 1 - \frac{1}{6}(2m + 5)\right] \ln \det[K] =$$

$$= -\left[139 - 1 - \frac{1}{6}(2 \cdot 3 + 5)\right] \ln(0,950) = 6,976$$

Таким чином, було встановлено, що $\chi_p^2 = 6,976 \leq \chi_m^2 = 7,815$, що означає для зафіксованої імовірності 95 % мультиколінеарності не існує між незалежними змінними.

Для додаткового підтвердження відсутності кореляції між чинниками функціональних складових (технічної складової - вартістю необоротних активів, ресурсно-матеріальної - вартістю оборотних активів та кадрової складової - витратами на оплату праці підприємства) розраховується значення t -статистики за наступними формулами:

$$t_{ij} = \frac{r_{ij}^* \sqrt{n - m - 1}}{\sqrt{1 - r_{ij}^{*2}}}, \quad (3)$$

$$r_{ij}^* = \frac{-z_{ij}}{\sqrt{z_{ii} \cdot z_{jj}}} \quad (4)$$

де z_{ij} , z_{ji} , z_{jj} - елементи оберненої матриці $[R]$, до кореляційної матриці $[K]$ (табл. 3).

Результати представлені у таблиці 5.

Таблиця 5

Значення t -статистики незалежних чинників (вартість необоротних активів - x_1 , вартість оборотних активів - x_2 , та витрат на оплату праці - x_3)

Пари чинників домінуючих функціональних складових		
$x_1 - x_2$	$x_1 - x_3$	$x_2 - x_3$
0,221	0,799	0,637

Аналіз результатів доводить, що кореляція відсутня, оскільки всі розрахункові значення t -статистики менші ніж табличне, яке складає 1,978 [5], з імовірністю 95 % між незалежними чинниками за функціональними складовими (технічною складовою - вартістю необоротних активів, ресурсно-матеріальною - вартістю оборотних активів та

кадровою складовою - витратами на оплату праці підприємства

Далі розбудовуємо техно-економетричну залежність на основі обраного інформаційного масиву. Отримані на базі кореляційно-регресійного аналізу з використанням стандартного пакету MS EXCEL «Аналіз даних» в додатку «Дані», квазілінійні техно-економетричні залежності, які описують технічну функціональну складову економічної безпеки будівельних підприємств м. Києва та Київської області мають наступний вигляд:

для виручки підприємства -

$$y_1 = 182086,39 - 2500,01 \cdot \sqrt[3]{x_1} - \frac{454916,76}{\sqrt[10]{x_2}} + 1627,78 \cdot \sqrt{x_3};$$

для собівартості товарів (робіт, послуг) підприємства -

$$y_2 = 13514286 - 540,11 \cdot \sqrt[3]{x_1} - \frac{34048197}{\sqrt[10]{x_2}} + 1264,42 \cdot \sqrt{x_3};$$

де x_1 - необоротні активи (предмети праці) - технічна складова;

x_2 - оборотні активи (засоби праці) - ресурсно-матеріальна складова;

x_3 - витрати на оплату праці (працівники) - кадрова складова.

У отриманих залежностях коефіцієнти детермінації складають $R_1^2 = 0,514$ та $R_2^2 = 0,490$ відповідно, які дуже далекі до 1 визначені відповідно для виручки (R_1^2) та собівартості (R_2^2) продукції будівельних підприємств будівельної галузі м. Києва та Київської області свідчать про відсутність тісного зв'язку між обраними залежними та незалежними змінними. Розрахункові значення F -критерію Фішера ($F_{розр1}$), які більші ніж табличні ($F_{табл1}$) [5].

$$F_{розр1} = 47,394 > F_{табл1} = 6,063 \cdot 10^{-21}$$

$$F_{розр2} = 42,999 > F_{табл2} = 1,569 \cdot 10^{-19}$$

Результати свідчать про адекватність прийнятих незалежних змінних відносно залежних.

Таким чином, проведені розрахунки доводять, що побудовані техно-економетричні залежності отримані на базі кореляційно-регресійного моделювання не гарантують оцінку імовірності прогнозування їх використання з похибкою у межах 20 % [6].

Висновки

1. Розроблена схема визначення рівня економічної безпеки сукупності будівельних підприємств, яка передбачає визначення об'єкта дослідження, отримання інформаційного масиву, відбір факторів та індикаторів за домінуючими складовими економічної безпеки будівельних підприємств, перевірку попарної кореляції незалежних змінних, дослідження взаємозв'язків між обраними незалежними та залежними змінними, побудову техно-економетричних залежностей та перевірку отриманих моделей на адекватність;

2. Побудовано квазілінійні техно-економетричні зміни виручки та собівартості підприємств Київського регіону від вартості необоротних, оборотних активів та витрат на оплату праці для визначення рівня економічної безпеки сукупності будівельних підприємств;

3. Прогнозування за запропонованими моделями є небажане, оскільки похибка прогнозних результатів значно буде перевищувати 20 %;

4. Подальші дослідження передбачають поділ наявної сукупності підприємств в групи або дослідження кожного підприємства окремо з метою отримання більш репрезентативних результатів прогнозування.

Література

1. Федосова О.В. Сучасні тенденції розвитку екосекенту / Федосова О.В., Молодід О.О. // Економіка і держава. - 2010. - № 11. - С. 39-40.
2. Федосова О.В. Визначення рівня еко-мічної безпеки будівельного підприємства на основі економетричних моделей / Федосова О.В., Молодід О.О., Теренчук С.А. // Управління розвитком складних систем. – 2011. - № 5. – С. 117-119
3. <http://www.smida.gov.ua>
4. *Економетрика* / [Толбатов Ю.А.]. – К.: ТП Пресс. - 2003. – 320 с.
5. *Венецкий И.Г., Венецкая В.И.* Основные математико-статистические понятия и формулы в экономическом анализе. – М.: Статистика, 1979.
6. *Моргенштерн О.* О точности экономико-статистических наблюдений. – М.: Статистика, 1968.

УДК 519.872:624.137.4

Гришин В.А., Снисаренко В.И., Гришин А.В.¹

СТАТИЧЕСКИЙ РАСЧЕТ СКЛОНОВ

АННОТАЦИЯ. В статье приведены результаты расчета склонов от действия их собственного веса и статической загрузки.

Ключевые слова: склон, расчет, деформации.

АНОТАЦІЯ. У статті наведені результати розрахунку схилів від дії їх власної ваги і статичного завантаження.

Ключові слова: схил, розрахунок, деформації.

ANNOTATION. In statte results of calculation of the slopes of the actions of their own weight and the static load.

Key words: slope, the calculation of deformation.

Описание склонов, причины образования на них оползней и их новые упруго вязкопластические модели приведены авторами в ранее опубликованных работах [1, 2, 3, 4]. Здесь же рассматриваются только результаты расчета скло-

нов от действия их собственного веса и статической нагрузки.

Исследуем уположенный Одесский склон, приведенный на рисунке 1.

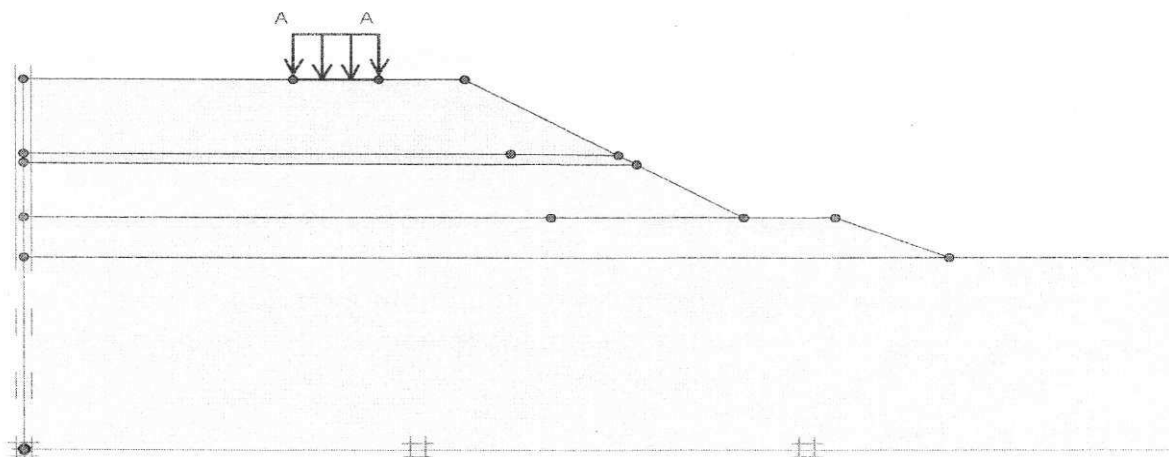


Рис.1. Расчетная схема уположенного склона.

Используем следующие прочностные свойства грунтов некоторых Одесских склонов: сцепление c (в kH/m^2) и угол внутреннего трения φ (в градусах) имеют следующие значения. Лесс - $c = 100$, $\varphi = 20$; красно-бурые глины - $c = 120$, $\varphi = 20$;

известняк - $c = 100$, $\varphi = 20$; мезотическая глина
верхний слой - $c = 90$, $\varphi = 19$; мезотическая глина,
нижний слой которой находится в увлажненном
состоянии - $c = 30$, $\varphi = 15$. Грунтовые воды пер-
вого и второго горизонтов перехвачены и отве-

¹ Гришин В.А., д.т.н., Снисаренко В.И., д.т.н., (УАН, Киев); Гришин А.В., д.т.н., (ОГАСиА, Одесса).

дены в галереи и штольни. На плато действует, как показано на рисунке 1, распределенная нагрузка. В качестве функции нагружения используется условие Кулона-Мора с упрочнением. Перемещения конечных элементов расчетной схемы склона учитываем только после его нагружения действующей нагрузкой. Они показаны

на рисунке 2. Для двух точек, расположенных на верхней поверхности склона, с горизонтальными координатами 47 м и 62 м разность перемещений составила 5,6 см. Если в этих точках расположены фундаменты построенного сооружения, то такие перемещения могут привести к образованию в нем трещин, что и наблюдается на склонах в реальных условиях.

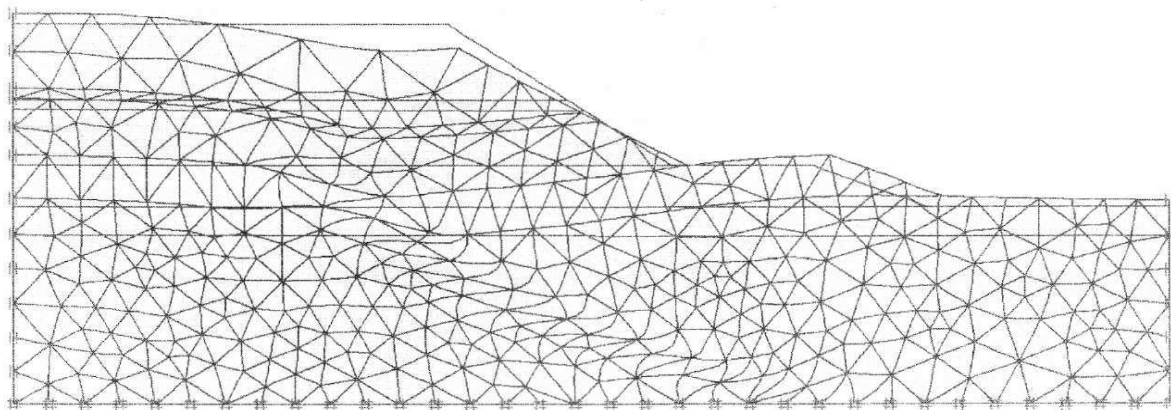


Рис. 2. Схема деформирования склона от действия нагрузки.

Выполненные расчеты показали, что для рассматриваемого склона величина коэффициента K равна 1,676. Возможная картина деформирования склона при потере его устойчивости, которая

возможна с увеличением интенсивности действующей на него нагрузки, изображена на рисунке 3. При этом наибольшие перемещения склона составили 41,7 м

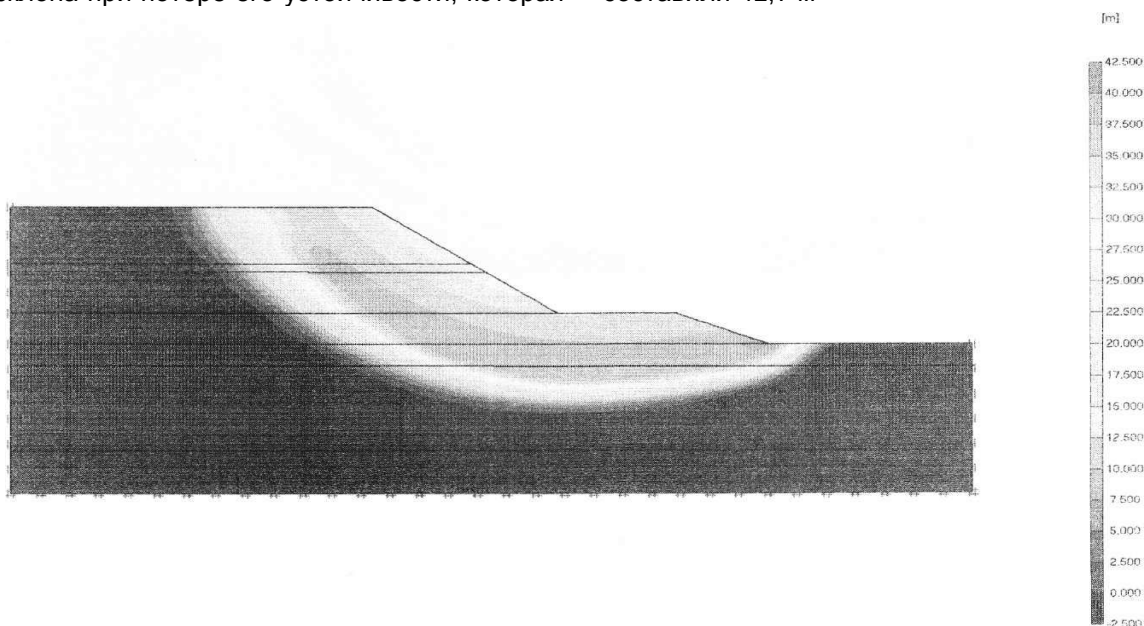


Рис. 3. Возможное деформирование склона при потере его устойчивости.

Далее рассмотрим этот же склон, когда его верхние грунты находятся в увлажненном состоянии и их прочностные свойства ухудшились. Основные свойства грунтов: сцепление c (в kH/m^2), угол внутреннего трения ϕ (в градусах), модуль деформации E (в kH/m^2) имеют в увлажненном состоянии следующие значения. Лесс - $c = 60$, $\phi = 15$, $E = 8600$; красно-бурые глины - $c = 80$, $\phi = 16$, $E = 10400$; известняк - $c = 60$, $\phi = 15$, $E = 9000$;

мэотическая глина верхний слой - $c = 60$, $\phi = 16$, $E = 16000$; мэотическая глина нижний слой - $c = 30$, $\phi = 15$, $E = 14000$.

Эпюра полных перемещений склона (по направлению вектора перемещений) показана на рисунке 4. Если для предыдущего случая его наибольшее перемещение составляло только 1,05 см, то в данном случае оно стало равным 2,63 см.

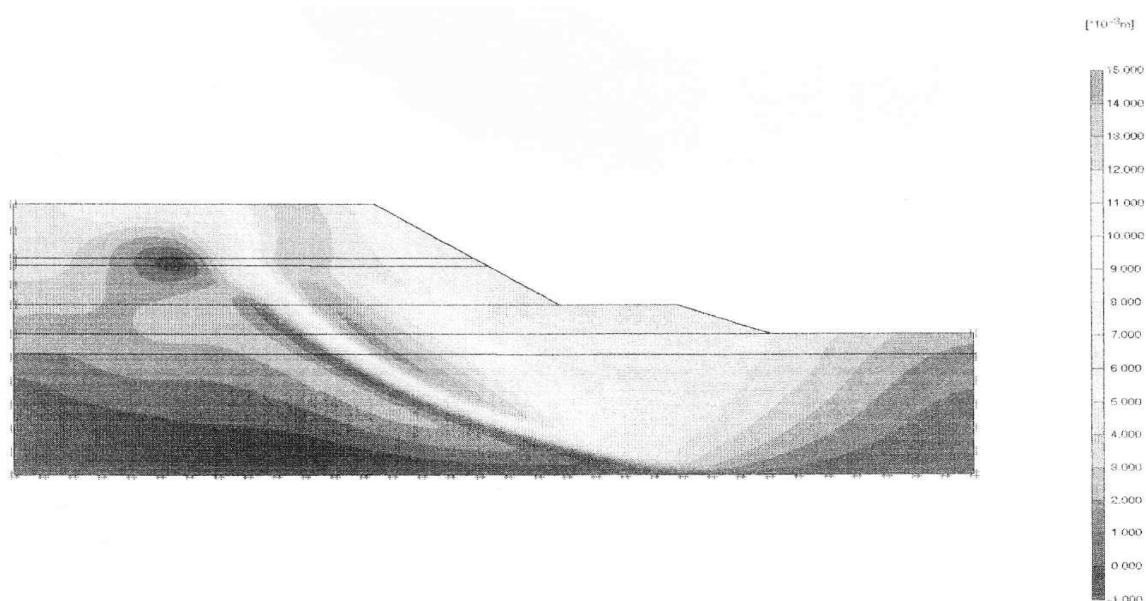


Рис. 4. Эпюра полных перемещений склона.

Коэффициент безопасности склона уменьшился до величины $K = 1,21$. Этот пример показывает, что увлажнение грунта значительно снижает его коэффициент безопасности и может привести к потере устойчивости даже уположенного склона.

Упруговязкопластический расчет склона показал, что перемещения склона прекратятся через 5068 дней, если на него за это время не будет новых дополнительных воздействий и свойства грунтов не изменятся. Его максимальные общие

деформации за указанный срок дополнительно увеличиваются только на 2 см. Коэффициент безопасности получается равным $K = 1,86$, т. е. примерно такой же, как и при упругопластическом расчете. Разрушение склона при увеличении интенсивности действующих усилий до величины, когда $K < 1$, произойдет по схеме, приведенной на рисунке 5. Направления стрелок показывают возможные перемещения узлов конечных элементов при образовании оползня

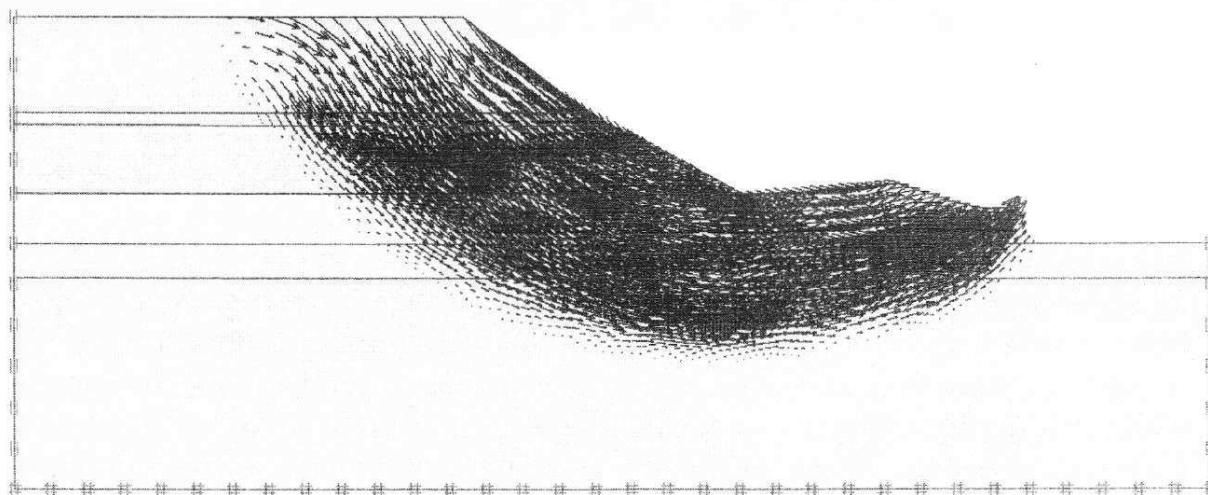


Рис. 5. Образование возможного оползня на склоне.

Для точки в основании склона с учетом нагрузки от собственного веса грунта в зависимости от шагов вычислений, были рассчитаны полные перемещения (см), касательные напряжения (кН/м) и деформации. При точности 1% достаточно было выполнить 110 шагов вычислений.

Наибольшее перемещение равно 2,23 см, а наибольшее напряжение $67,6 \text{ кН/м}^2$. Эпюра полных перемещений в склоне приведена на рисунке 6. Здесь наибольшее перемещение равно 8,79 см.

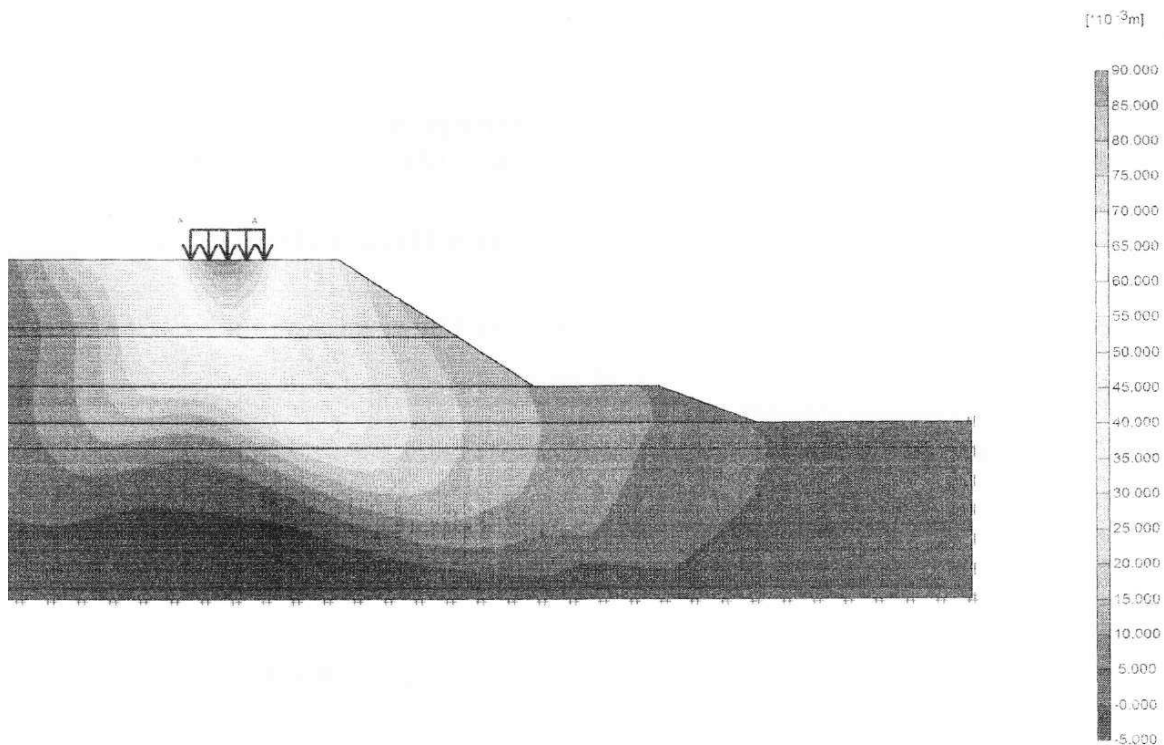


Рис. 6. Эпюра полных перемещений склона.

Касательные напряжения интенсивно возрастают (по абсолютной величине) только от действия собственного веса грунта, затем их рост замедляется. Деформации также интенсивно растут по абсолютной величине от собственного веса грунта, затем интенсивно стремятся к нулю (вследствие их обнуления) и далее, колеблясь, увеличиваются. Расчеты показывают, что в

данной точке склона в процессе нагружения наблюдается сложное напряженно-деформированное состояние. Следовательно, применение деформационных теорий пластичности, которые можно использовать только при простом нагружении, здесь недопустимо.

Литература

1. Гришин В. А., Гришин А. В. Одесские склоны и оползни // Вісник ОНМУ. - 2007. - Вип. 22. - С. 3 - 19.
2. Гришин В. А., Гришин А. В. Склоны Одесского побережья // Вісник ОНМУ. - 2007. - Вип. 24. - С. 3 - 16.
3. Гришин В. А., Гришин А. В. Анализ оползней на склонах Одесского побережья // Вісник ОНМУ. - 2007. - Вип. 24. - С. 17 - 32.
4. Гришин В. А., Снисаренко В. И. Одесские склоны и оползни. - К.: "МП Леся", 2008.-310 с.

УДК 53.03

Клапченко В. І., Тесля Ю.М.¹

ЙМОВІРНІСНА ІНТЕРПРЕТАЦІЯ МЕХАНІЧНОГО РУХУ

АНОТАЦІЯ. Ймовірнісний підхід до описання поступального руху макротіл вказує на появу додаткових упорядковуваних ефектів, орієнтованих в напрямі руху тіла.

АННОТАЦИЯ. Вероятностный подход к описанию поступательного движения макротел указывает на появление дополнительных упорядочивающих эффектов, ориентированных в направлении движения тела.

ABSTRACT. The probabilistic approach to description of forward motion of macrobodies specifies on appearance of the additional putting in order effects oriented in direction of motion of body

Вступ. На сьогодні безсумнівною стала застосовність ймовірнісного описання руху частинок в мікросистемах (ядро, атом, молекула), які є прерогативою квантової механіки. Ніякого іншого опису, крім ймовірнісного, для них не існує. Досить часто та зі значною ефективністю статистичний підхід використовують при описанні руху ансамблів тотожних частинок, зокрема молекулярних систем, отримуючи нові, так звані статистичні закономірності.

Немає ніякого сумніву, що і до будь-якого макроскопічного тіла, яке представляє собою ансамбль багатьох складових частинок, при здійсненні ним звичайного прямолінійного руху, можна застосувати ймовірнісний підхід. Питання тільки в тому, чи дасть нам така ймовірнісна інтерпретація механічного руху якісь нові закономірності, нові уявлення? Відповіді на це питання й присвячена дана робота.

Ми хочемо виразити швидкість руху тіла як цілого через внутрішній хаотичний рух його складових, але при цьому залучити якомога менше деталей. Тому наш підхід буде значно відрізнятися від загальноприйнятого в статистичній механіці координатно-імпульсного описання поведінки його складових елементів з введенням функцій розподілу і т.п. [1]. Щоб забезпечити постановку задачі з простим застосуванням поняття ймовірності, спробуємо представити напрямлений рух тіла з допомогою двох множин рівнозначних випадкових орієнтованих елементарних подій [2].

Елементарною подією в нашому розгляді буде рух складового елемента тіла з певною масою $m_{e/0}$ в визначеному напрямі зі швидкістю $V_{e/0}$. Фактично, мова йде про **елементарний імпульс** окремого елемента і він стає своєрідною одиницею вимірювання множин випадкових подій. Щоб відтворення цієї одиниці зробити однозначним, домовимось визначати масу $m_{e/0}$ і швидкість $V_{e/0}$ структурних елементів в момент, коли тіла нерухомі відносно системи відліку.

Вибір однакової швидкості структурних елементів тіла $V_{e/0}$ необхідний для того, щоб зро-

бити всі елементарні події **рівнозначними**. Це передбачає певну статистичну процедуру визначення величини $V_{e/0}$. Наприклад, на молекулярному рівні будови тіла таку статистичну процедуру потрібно застосувати двічі: при усередненні за величиною швидкості, що приводить до середньоквадратичної швидкості $v_{с.кв.}$, та при усередненні за величиною проекції швидкості ($0 - v_{с.кв.}$), що дає

$$V_{e/0} = \sqrt{\frac{v_{с.кв.}^2 + 0^2}{2}} = \frac{v_{с.кв.}}{\sqrt{2}}. \quad (1)$$

Хоч таке усереднення і є досить грубим, для вибраного підходу це не так вже й важливо. Проте з (1) видно, що при необхідності для швидкості елементів можна вибирати найближчу за значенням характерну швидкість молекул – найбільш ймовірну швидкість $v_{н.й.}$.

Процедура розгляду. На рис. 1 представлено прямолінійний рівномірний рух двох тіл А та В вздовж позитивного напрямку осі x зі швидкостями V та U з допомогою двох множин орієнтованих в протилежних напрямках випадкових елементарних подій.

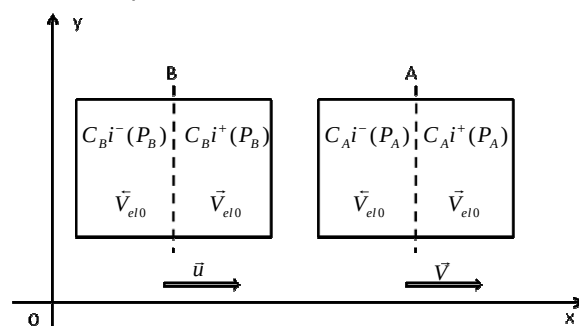


Рис.1. Схематичне представлення поступального руху двох тіл А та В. Показані дві множини подій, орієнтовані вздовж осі x в протилежних напрямках.

Наприклад, множина орієнтованих подій в напрямку зростання осі x (+) для тіла А позначена на рисунку як добуток C_A на $i^+(p_A)$, де $C_A = m_A/m_{e/0}$ – масовий множник множини подій,

¹ Клапченко В. І., доцент, Тесля Ю.М., професор. Київський національний університет будівництва і архітектури.

$i^+(p_A)$ – відносна потужність множини цих подій. Масові множники C_A та C_B пропорційні реальним масам тіл, а величина цих множників залежить лише від рівня розбивання тіл на складові елементи. Тоді величину швидкості руху тіла можна визначати через імовірності відповідних подій таким чином. Введемо величину *ймовірності переміщення* тіла в напрямі зростання осі x . Наприклад, для тіла A

$$p_A = \frac{C_A i^+(p_A)}{C_A i^+(p_A) + C_A i^-(p_A)} = \frac{i^+(p_A)}{i^+(p_A) + i^-(p_A)} \quad (2)$$

Ймовірність переміщення в зворотному напрямі відповідно буде рівна $(1-p_A)$. Зауважимо, що повна кількість подій, яка записана як сума в знаменнику, не зобов'язана бути сталою. Тоді швидкість переміщення тіла визначатиметься не різницею подій, а лише відносною різницею подій, тобто через імовірності переміщення. Наприклад, для тіла A

$$V = p_A V_{el0} - (1-p_A) V_{el0} = (2p_A - 1) V_{el0} \quad (3a)$$

Аналогічна формула справедлива і для тіла B :

$$u = (2p_B - 1) V_{el0} \quad (3b)$$

При значеннях ймовірностей $\frac{1}{2}$ швидкості тіл дорівнюють нулеві, що розумно і логічно. Проте, поки нічого принципово нового формули (3a) та (3b) не вносять в наше розуміння механічного руху, їх можна отримати прямим застосуванням закону збереження імпульсу. А на майбутнє слід зауважити дві обставини. Перша. При уявному подрібненні тіл до молекулярного рівня застосувати запропонований підхід можна лише в випадках, коли швидкості тіл менші за швидкості молекул, тобто формули (3a), (3b) мають обмеження $u, V < V_{el}$. Друга. Формули (3a) та (3b) виражають лише *ймовірнісну інтерпретацію* механічного руху, і не вказують на безпосередній причинно-наслідковий зв'язок. Справжній зв'язок такий: зовнішні причини, які обумовлюють стан тіла (швидкість елементів V_{el0}) та стан руху (швидкості V чи u), визначають потужності множин орієнтованих подій та, в решті решт, ймовірність переміщення p . А не навпаки.

Релятивістські рухи. Якщо тіла A та B рухаються зі швидкостями, що наближаються до швидкості світла, такий статистичний розгляд можна застосовувати лише при найбільш глибокому рівні «подрібнення» тіл на складові частинки. Це той рівень будови, якого, можливо, ми ще не досягли не тільки експериментально, але й теоретично. Але на цьому рівні складові елементи тіл не можуть мати швидкостей, менших ніж швидкість світла c (інакше з якихось незрозумілих причин виникає заборона на застосовність ймовірнісного підходу). Однак вони не можуть мати і швидкостей, більших ніж швидкість світла c (згідно з постулатом Ейнштейна про інваріантність

швидкості світла в вакуумі). Залишається одне: аналогічно принципу інваріантності, постулювати значення швидкості руху елементів структури тіл:

$$V_{el0} = c \quad (4)$$

Тоді швидкість тіл в релятивістському випадку визначатиметься, замість (3a) і (3b), через швидкість світла в вакуумі:

$$V = (2p_A - 1)c \quad (5)$$

$$u = (2p_B - 1)c \quad (6)$$

Тобто у всіх матеріальних тіл з ненульовою масою спокою швидкість асимптотично наближається до c , і лише фотон (електромагнітна хвиля) в вакуумі матиме цю величину швидкості (у фотона p дорівнює 0 або 1, тобто всі складові елементи рухаються в одному напрямі і з однаковою швидкістю).

Поставимо тепер питання про визначення швидкості руху тіла A відносно тіла B . Для цього необхідно використати ще один припущення (або постулат) - про рівноправність інерціальних систем відліку. В нашому підході це еквівалентно тому, що відносну швидкість тіл потрібно визначати за (5) чи (6), а ймовірність відносного руху p_{AB} повинна бути задана формулою, аналогічною (2). При цьому події, що визначають відносне переміщення двох тіл, складаються з двох незалежних подій, ймовірність яких визначається добутком ймовірностей обох незалежних подій [2].

Згідно рис. 1, повна кількість складених подій дорівнює 4. Дві з них є «порожніми», тобто такими, що не приводять до відносного руху тіл: $p_A p_B$ і $(1-p_A)(1-p_B)$. В визначенні ймовірності відносного руху вони не приймають участь. Дві інші формують цю ймовірність: ймовірність відносного зміщення тіла A вправо по відношенню до тіла B визначає добуток $p_A(1-p_B)$, а вліво – добуток $(1-p_A)p_B$. Таким чином

$$p_{AB} = \frac{p_A(1-p_B)}{p_A(1-p_B) + p_B(1-p_A)} \quad (7)$$

є відносною ймовірністю відносного переміщення двох тіл. Позначивши відносну швидкість тіла A відносно тіла B як v , отримаємо

$$v = (2p_{AB} - 1)c \quad (8)$$

Виразивши з (5) та (6) ймовірності p_A та p_B

$$p_A = \frac{V+c}{2c}; p_B = \frac{u+c}{2c},$$

із (7) та (8) отримаємо:

$$v = \left(\frac{2(c+V)(c-u)}{(c+V)(c-u) + (c+u)(c-V)} - 1 \right) c = \frac{V-u}{1 - \frac{Vu}{c^2}} \quad (9)$$

Нам більш звична інша форма (9). Якщо тіло B розглядати як рухому систему відліку (тому й швидкість його позначена загальноприйнятою літерою u), то швидкість v тіла A відносно тіла B є його швидкістю в рухомій системі відліку. Виразивши з (9) швидкість V тіла A відносно нерухомої

системи відліку, матимемо релятивістську формулу додавання швидкостей:

$$V = \frac{v+u}{1+\frac{vu}{c^2}}. \quad (10)$$

Цей результат очікуваний [3], і є лише підтвердженням того, що ймовірнісний підхід до описання механічного руху застосований нами правильно.

Відносна потужність множини орієнтованих подій. У нашому розгляді відношення потужностей орієнтованих в відповідному напрямі подій для кожного тіла формує відповідні ймовірності переміщення, які, в свою чергу, визначають величини швидкостей напрямленого руху. Насправді все відбувається якраз навпаки – значення наданих тілам швидкостей визначають відповідні статистичні величини. Про це потрібно пам'ятати, хоч при застосуванні ймовірнісного підходу важливим є лише їх математичний зв'язок:

$$\frac{C_A i^+(p_A)}{C_A i^-(p_A)} = \frac{i^+(p_A)}{i^-(p_A)} = \frac{p_A}{1-p_A}, \quad (11)$$

$$\frac{C_B i^+(p_B)}{C_B i^-(p_B)} = \frac{i^+(p_B)}{i^-(p_B)} = \frac{p_B}{1-p_B}.$$

Тобто, величини i^+ та i^- є функціями лише ймовірності переміщення. Тоді можна поставити запитання про те, як веде себе їх сума

$$i(p) = i^+(p) + i^-(p). \quad (12)$$

Для нерухомих тіл $p_A=p_B=0,5$ і, згідно з (11), $i^+/i^-=1$. Тоді можна прийняти значення відносних потужностей орієнтованих подій у нерухомих тіл рівними 0,5, так що

$$i(0,5) = i^+(0,5) + i^-(0,5) = 1. \quad (13)$$

Якщо обидва тіла рухаються з однаковими та ненульовими швидкостями i в одному напрямі ($p_A=p_B=p \neq 0,5$), тобто, коли їх відносна швидкість дорівнює нулеві, то рівними стають потужності складених подій протилежних напрямів

$$p_A(1-p_B) = p_B(1-p_A). \quad (14)$$

Звідки

$$\frac{p_A}{1-p_A} = \frac{p_B}{1-p_B}, \quad \frac{i^+(p_A)}{i^-(p_A)} = \frac{i^+(p_B)}{i^-(p_B)}, \quad (15)$$

Або

$$i^+(p_A)i^-(p_B) = i^+(p_B)i^-(p_A). \quad (16)$$

Вираз (16) можна повторити безліч разів для будь-яких пар тіл, що мають нульову відносну швидкість. Взявши до уваги, що при цьому $p_A=p_B=p$, приходимо до висновку, що добуток по (16) повинні бути універсальною функцією ймовірності:

$$i^+(p)i^-(p) = f(p).$$

Про цю універсальну функцію нам відомо лише таке. Вона не повинна бути пропорційною

добутку $p(1-p)$, бо інакше швидкість світла стане досяжною. При $p=0,5$ її значення $0,5 \cdot 0,5 = 1/4 > 0$. Ні в одній точці ця функція не повинна переходити через нуль, навіть при значеннях p , що прямують до нуля чи одиниці. І найголовніше: на краях діапазону визначення ймовірності p обидві величини i^+ та i^- повинні наближатись до нуля асимптотично. Всі ці умови починають виконуватись лише з залежності 4 рис. 2, яка відповідає умові:

$$i^+(p)i^-(p) = \text{const} = 1/4, \quad (17)$$

тобто, коли цей добуток є інваріантом. Всі інші залежності (1-3 рис. 2), при яких i^+ та i^- проходять через 0, є незадовільними.

Тоді, розв'язавши просту систему

$$\begin{cases} \frac{i^+}{i^-} = \frac{p}{1-p} \\ i^+ i^- = \frac{1}{4} \end{cases} \quad (18)$$

отримаємо

$$\begin{aligned} i^+ &= \frac{1}{2} \sqrt{\frac{p}{1-p}}, \\ i^- &= \frac{1}{2} \sqrt{\frac{1-p}{p}} \end{aligned} \quad (19)$$

а для сумарної відносної потужності множини орієнтованих подій

$$i = \frac{1}{2\sqrt{p(1-p)}}. \quad (20)$$

Виразимо з (5) ймовірність через швидкість руху тіла А. Тоді матимемо:

$$i = \frac{1}{\sqrt{1-\frac{V^2}{c^2}}}, \quad (21)$$

що співпадає з множником в формулах перетворень координат Лоренца [3]. Вияснимо, який фізичний зміст має повна множина орієнтованих подій для тіла А. Для цього відносну потужність множини (21) необхідно помножити на масовий множник C_A та на величину елементарного імпульсу $m_{el0}V_{el0}$:

$$iC_A m_{el0} V_{el0} = \frac{m_0 c}{\sqrt{1-\frac{V^2}{c^2}}} = mc, \quad (22)$$

де m дорівнює

$$m = \frac{m_0}{\sqrt{1-\frac{V^2}{c^2}}}, \quad (23)$$

що є одним з наслідків спеціальної теорії відносності. До речі, якраз у Лорентца виникло уявлення про анізотропію маси рухомого електрона [4].

А множник (21), точніше його квадрат, визначав відношення поздовжньої маси електрона до поперечної маси.

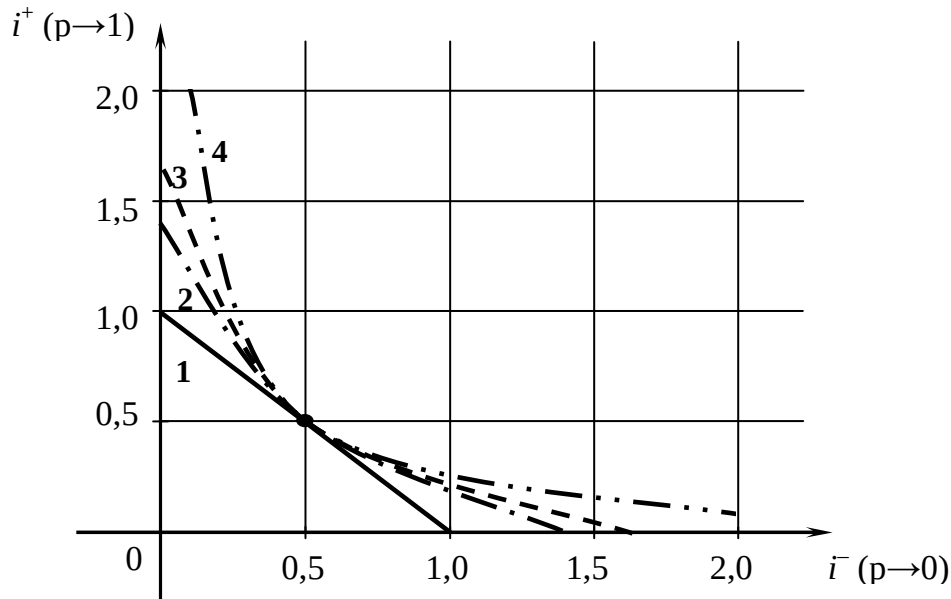


Рис.2. До вибору універсальної функції $i^+ \cdot i^- = f(p)$. Приведене поле допустимих значень потужностей орієнтованих подій (перший квадрант $i^+ 0 i^-$): 1 – залежність $i^+ \cdot i^- = f(p) = p(1-p)$, при якій $i^+ + i^- = 1$; 2, 3 – проміжні залежності, при яких i^+ чи i^- доходять до нуля чи переходять через нуль; 4 – залежність $i^+ \cdot i^- = f(p) = \text{const} = 1/4$, яка має гіперболічні асимптоти для i^+ (при $p \rightarrow 1$) та i^- (при $p \rightarrow 0$).

Та в будь-якому разі ми отримали дещо нове для наших уявлень про основи та наслідки спеціальної теорії відносності. Це нове зводиться ось до чого: *при зростанні швидкості руху тіла зростає кількість подій в тілі, орієнтованих в напрямку його руху*. Тоді можна порахувати відносну долю переважно орієнтованих подій (своєрідний показник анізотропії механічного руху):

$$\beta = \frac{i^+ - i^-}{i^+ + i^-} = \frac{\delta}{i} = 2p - 1 = \frac{V}{c}, \quad (24)$$

та вияснити фізичний зміст множини переважно орієнтованих подій:

$$\delta C_A m_{el0} V_{el0} = \frac{V}{c} \cdot \frac{m_0 c}{\sqrt{1 - \frac{V^2}{c^2}}} = mV. \quad (25)$$

Тобто, множина переважно орієнтованих подій насправді є релятивістським імпульсом. Тоді вирази (23) та (25) дають змогу побудувати релятивістський інваріант

$$(mc)^2 - (mV)^2 = (m_0 c)^2,$$

який еквівалентний рівності

$$i^2 - \delta^2 = (i^+ + i^-)^2 - (i^+ - i^-)^2 = 1, \text{ або: } 4i^+ i^- = 1. \quad (26)$$

Це дало нам право (17) також назвати інваріантом.

Найкоротшими будуть вирази для потужностей переважно орієнтованих подій та сумарної потужності орієнтованих подій, якщо використати показник β :

$$\begin{aligned} \delta &= i^+ - i^- = \beta / \sqrt{1 - \beta^2}; \\ i &= i^+ + i^- = 1 / \sqrt{1 - \beta^2}, \end{aligned} \quad (27)$$

Перетворення еліпса та еліпсоїда подій. Спробуємо тому новому, що ми дізнались про рухомі тіла, надати найбільш наочного вигляду. Графічні представлення будуть повними, якщо крім орієнтованої вздовж напрямку руху потужності множини подій i будуть показані і потужності множин подій в поперечних напрямках i_y, i_z , якими ми до цього не цікавились. Для врахування анізотропії подій скористаємось взятим у Лорентца [4] зв'язком між потужністю подій в напрямі руху та поперек нього, аналогічним співвідношенню мас, про яке ми говорили з приводу формули (23):

$$\frac{i}{i_y} = \frac{i^+ + i^-}{i_y^+ + i_y^-} = \frac{1}{1 - \beta^2}. \quad (28)$$

Тоді, використовуючи приведені вище значення i, i^+, i^- , зв'язок у вигляді формули (28)

та симетрію поперечних до осі x напрямів, отримаємо:

$$i_y^+ = i_y^- = \frac{i_y}{2} = \frac{\sqrt{1-\beta^2}}{2}; i i_y = 1;$$

$$i^+ = \frac{i_y}{2(1-\beta)}; i^- = \frac{i_y}{2(1+\beta)}, \quad (29)$$

На рис. 3 представлено переріз площиною xOy еліпсоїда обертання, побудованого з допомогою відносних потужностей множини подій як в напрямі руху (вісь x) так і поперек. Тоді уявна пло-

щина множини подій перетворюється з кола (перетин сфери) радіусом 0,5 при $\beta=0$ (рис.3а), до спотвореного еліпса (перетин еліпсоїда обертання навколо осі x) при проміжному значенні β (рис. 3б), а ж до дуже витягнутого спотвореного еліпса при прямуванні β до 1 (рис.3в).

Простіше кажучи, перетворення множини подій проходять від стадії *сфери* (нерухоме тіло) до витягнутого в нитку еліпсоїда - *голка подій* – при $\beta \rightarrow 1$. Характерним є те, що площа представлення множини подій (площа перетину еліпсоїда обертання) залишається незмінною:

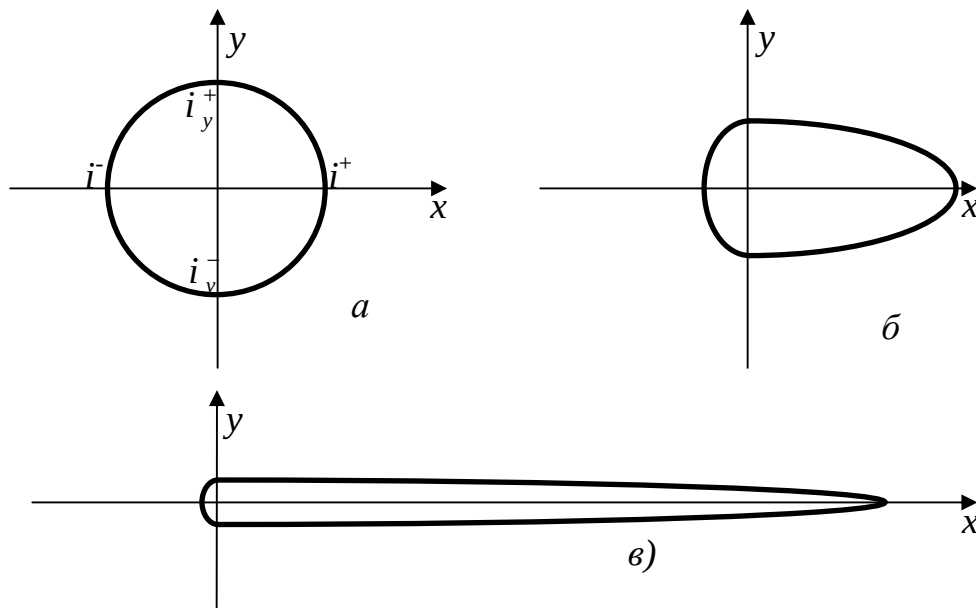


Рис.3. Схематичне зображення перетворень еліпса подій.

$$s = \pi i i_y = \pi = \text{const}. \quad (30)$$

На відміну від площі перетину, об'єм еліпсоїда подій у рухомого тіла зменшується. Позначимо цей об'єм великою літерою Ω , тоді для спостерігача нерухомої системи відліку:

$$\Omega = \frac{\pi}{6} i i_y^2 = \frac{\pi}{6} \sqrt{1-\beta^2}. \quad (31)$$

В той же час для спостерігача, що рухається разом з тілом, площа та об'єм еліпсоїда подій в його системі відліку вироджується в коло чи сферу з діаметром i_y , так що:

$$s' = \pi i_y^2 = \pi (1-\beta^2); \Omega' = \frac{\pi}{6} i_y^3 = \frac{\pi}{6} (1-\beta^2)^{3/2}. \quad (32)$$

На майбутнє підкреслимо, що важливим результатом є те, що відношення об'ємів еліпсоїдів подій до площі еліпса подій для обох спостерігачів є однаковими:

$$\frac{\Omega}{s} = \frac{\pi i i_y^2}{6 \pi i i_y} = \frac{1}{6} (1-\beta^2)^{1/2}, \quad (33)$$

$$\frac{\Omega'}{s'} = \frac{\pi i_y^3}{6 \pi i_y^2} = \frac{1}{6} (1-\beta^2)^{1/2}. \quad (34)$$

Тобто, тут ми маємо справу зі ще одним релятивістським інваріантом, фізичний зміст якого визначимо пізніше.

Висновки

Перший висновок: про застосовність ймовірнісного підходу до розгляду поступального руху тіл. Правильність та розумність отриманих результатів в цьому підході підтверджується повним збігом з результатами інших розглядів, включаючи й релятивістську область.

Другий висновок: застосування ймовірнісного підходу приводить до нових уявлень в описанні руху, які не могли бути отримані в інших підходах. Зокрема, це висновок про те, що збільшення швидкості тіла приводить до зростання в тілі кількості подій, орієнтованих в напрямі руху. Анізотропія механічного руху стає найбільш очевидною при наближенні швидкості тіла до швидкості світла, перетворюючись на своєрідну голку подій.

Література

1. Фейнман Р. Статистическая механика. Курс лекций – М.: Мир, 1978. – 408 с.
2. Худсон Д. Статистика для физиков. – М.: Мир, 1970. – 297 с.
3. Паули В. Теория относительности. – М.: Наука, Гл. ред. физ.-мат. лит., 1991. 328 с.
4. Лорентц Г.А. Теория электронов и ее применение к явлениям света и теплового излучения. – М.: Госиздат технико-теоретической литературы, 1953. – 471 с.

ТЕОРІЯ І ПРАКТИКА БУДІВНИЦТВА

Науково-технічний журнал

Випуск 8

Адреса редакції:

03037, м. Київ,
Просп. Повітрофлотський, 31,
тел.: 241-5447, тел./факс: 252-4214

Формат 60х84/8.

Наклад 300. Папір офсетний. Ум.-др. арк. 4,1.

Надруковано в “МП Леся”.

Свідоцтво про внесення до Державного реєстру
суб’єктів видавничої справи серія ДК № 892 від 08.04.2002.

“МП Леся”

03148, Київ, а/с 115.

Тел./факс: + 38 050 469 7485, 407 6197

E-mail: lesya@ukrpost.net