

ISSN 1996-8159

пбіс

N^о₍₇₅₎ 3
2026

ПРОМИСЛОВЕ БУДІВНИЦТВО ТА ІНЖЕНЕРНІ СПОРУДИ



9 786177 229437

Вітаємо із 90-річчям ГОРДЕЄВА Вадима Миколайовича

заступника генерального директора з наукової
роботи Українського інституту сталевих конструкцій
імені В. М. Шимановського,

доктора технічних наук, професора, заслуженого діяча
науки і техніки України, академіка-фундатора Академії
будівництва України, члена редакційної колегії журналу
«Промислове будівництво та інженерні споруди»



Гордєєв Вадим Миколайович після закінчення Київського інженерно-будівельного інституту з 1958 по 1967 рік працював у Державному проєктному інституті «Укрпроектстальконструкція», обіймаючи відповідальні інженерні посади. З 1967 по 1983 рік очолював Київський науково-дослідний відділ Центрального науково-дослідного та проєктного інституту сталевих конструкцій ім. М. П. Мельникова, з 1983 по 1993 рік працював головним інженером Українського проєктного та науково-дослідного інституту сталевих конструкцій.

Протягом 1993–1998 років перебував на дипломатичній роботі — був радником з питань науки і технологій Посольства України в Російській Федерації. З 1998 по 2010 рік — перший заступник голови правління ВАТ «УкрНДІпроектстальконструкція ім. В. М. Шимановського», а з 2011 року — заступник генерального директора з наукової роботи Українського інституту сталевих конструкцій імені В. М. Шимановського.

Гордєєв В. М. зробив значний внесок у розвиток будівельної механіки. Його праці в галузі розрахунку нелінійно-деформівних систем, які включають односторонні в'язі, троси та елементи з ідеальної тканини, відомі у багатьох країнах світу. Велику наукову та практичну цінність мають результати досліджень просторових механічних систем із симетрією будь-якого виду, отримані на базі теорії представлень груп. У працях, присвячених оптимізації металевих конструкцій, Вадим Миколайович ввів поняття околиці оптимального рішення, конструкції, близької до оптимальної та множини майже оптимальних конструкцій. Гордєєв В. М. брав активну участь у розробленні проєктної документації промислових

будівель і висотних споруд, упроваджував автоматизований розрахунок конструкцій та методи оптимізації проєктування металоконструкцій. Останнім часом він працює над проблемою формоутворення криволінійних стержневих конструкцій із застосуванням кватерніонів та бікватерніонів і питаннями використання сингулярних розрахункових схем для аналізу швидкоплинних процесів.

Гордєєв В. М. бере активну участь у розробленні державних будівельних норм і стандартів та становленні української будівельної термінології. Він автор 207 друкованих праць у галузі будівництва, математики, астрономії, мовознавства та наукознавства, виданих українською, російською, англійською та китайською мовами, серед яких 28 монографій, наукових і технічних книг. Вадим Миколайович є членом Національного комітету України з теоретичної та прикладної механіки і представником України у Міжнародній асоціації з оболонкових та просторових конструкцій.

Вадим Миколайович має заслужений авторитет і повагу серед науковців, проєктувальників, будівельників та громадських організацій. Нагороджений державними та численними відомчими нагородами. За високий професіоналізм, вагомі здобутки у науково-технічній та проєктно-конструкторській діяльності Гордєєв Вадим Миколайович нагороджений нагрудним знаком Міністерства регіонального розвитку, будівництва та житлово-комунального господарства України «Почесний працівник будівництва та архітектури» II ступеня, відзнакою Президії Національної академії наук України «За професійні здобутки» та Почесною грамотою Кабінету Міністрів України.

**Щиро зичимо Вадиму Миколайовичу міцного здоров'я,
НЕВИЧЕРПНОЇ ТВОРЧОЇ ЕНЕРГІЇ ТА ПОДАЛЬШИХ УСПІХІВ У ЙОГО ДІЯЛЬНОСТІ.**

ЗАСНОВНИК
ТОВ «УКРАЇНСЬКИЙ ІНСТИТУТ
СТАЛЕВИХ КОНСТРУКЦІЙ
імені В. М. ШИМАНОВСЬКОГО»

Рішення Нацради з питань
телебачення і радіомовлення № 1367
від 25.04.2024 р. щодо реєстрації
суб'єкта у сфері
друкованого медіа.
Ідентифікатор медіа R 30-03481

ГОЛОВНИЙ РЕДАКТОР
Адріанов В. П.

ВІДПОВІДАЛЬНИЙ СЕКРЕТАР
Лукашевич Т. І.

РЕДАКЦІЙНА КОЛЕГІЯ

Абрашкевич Ю. Д., д. т. н., проф.
Бабій К. В., член-кор. НАНУ, д. т. н.
Білик С. І., д. т. н., проф.
Гайдайчук В. В., д. т. н., проф.
Голоднов О. І., д. т. н., проф.
Гордєєв В. М., д. т. н., проф.
Єгоров Є. А., д. т. н., проф.
Кваша В. Г., д. т. н., проф.
Лепенко О. І., д. т. н., проф.
Лобанов Л. М., академік НАНУ,
д. т. н., проф.
Махінко А. В., д. т. н., проф.
Оглобля О. І., д. т. н., проф.
Онищенко А. М., д. т. н., проф.
Пічугін С. Ф., д. т. н., проф.
Шимановський О. В., член-кор. НАНУ,
д. т. н., проф.

МІЖНАРОДНА РЕДАКЦІЙНА РАДА
на 2025 — 2026 роки

Абель Д., д. т. н., проф.	(США)
Агош З., д. т. н., проф.	(Словаччина)
Баран В., д. т. н., проф.	(Польща)
Белоев М., к.т.н.	(Болгарія)
Бредфорд М. Ю., д. т. н., проф.	(Австралія)
Булат А. Ф., академік НАНУ, д. т. н., проф.	(Україна)
Грінченко В. Т., академік НАНУ, д. т. н., проф.	(Україна)
Ібрахімбегович А., д. т. н., проф.	(Франція)
Кавагучі К., д. т. н., проф., віце-президент IASS	(Японія)
Като Ш., д. т. н., проф.	(Японія)
Козловські А., д. т. н., проф.	(Польща)
Лазаро К., д. т. н., проф., президент IASS	(Іспанія)
Махачек Й., д. т. н., проф.	(Чехія)
Новак А., д. т. н., проф.	(США)
Розерт Х., д. т. н., проф.	(Німеччина)
Салінас Х., д. т. н., проф.	(Мексика)
Спарлінг Б., д. т. н., проф.	(Канада)
Тулєбаєв К. Р., д. т. н., проф.	(Казахстан)

ПБІС
3 (75) 2026

Виходить 4 рази на рік
Заснований у листопаді 2007 року

НАУКОВО-ВИРОБНИЧИЙ ЖУРНАЛ

ПРОМИСЛОВЕ
БУДІВНИЦТВО
ТА ІНЖЕНЕРНІ
СПОРУДИ

ЗМІСТ

ОБСТЕЖЕННЯ ВИСОТНИХ СПОРУД

Шимановський О. В., Гібаленко О. М., Бут Б. М., Красноносів С. В.

ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ЕКСПЛУАТАЦІЙНОЇ НАДІЙНОСТІ МЕТАЛОКОНСТРУКЦІЙ
ВИСОТНИХ СПОРУД НА ЗАСАДАХ РОБАСТНОГО ПРОЄКТУВАННЯ 2

ОБ'ЄКТИ СПЕЦІАЛЬНОГО ПРИЗНАЧЕННЯ

Шимановський О. В., Гордєєв В. М.

УЧАСТЬ УКРАЇНСЬКОГО ІНСТИТУТУ СТАЛЕВИХ КОНСТРУКЦІЙ
ІМЕНІ В. М. ШИМАНОВСЬКОГО У РЕАЛІЗАЦІЇ НЕВІДКЛАДНИХ ЗАХОДІВ
ІЗ ЛІКВІДАЦІЇ НАСЛІДКІВ ЧОРНОБИЛЬСЬКОЇ КАТАСТРОФИ 16

НАУКА – ВИРОБНИЦТВО

Гук Я. С., Радиш І. П., Найбауер І. Ф., Новак Е. Й.

КЛІМАТИЧНЕ РАЙОНУВАННЯ ТЕРИТОРІЙ ЗА МАКСИМАЛЬНОЮ ГЛИБИНОЮ
ПРОМЕРЗАННЯ ҐРУНТУ 27

ЮВІЛЕЙНІ ДАТИ

В. П. Адріанов

РОЛЬ НАУКИ У СТАНОВЛЕННІ ТА РОЗВИТКУ НОРМАТИВНОЇ БАЗИ
ВІТЧИЗНЯНОГО МЕТАЛОБУДІВНИЦТВА
(до 90-річчя Вадима Миколайовича Гордєєва). 41

ДО 95-РІЧЧЯ ІНСТИТУТУ «УКРНДІВОДОКАНАЛПРОЄКТ» 46

ЖУРНАЛ МОЖНА ПЕРЕДПЛАТИТИ
У БУДЬ-ЯКОМУ ВІДДІЛЕННІ АТ «УКРПОШТА»
(передплатний індекс – 98848)
АБО ЗАМОВИТИ У РЕДАКЦІЇ ЖУРНАЛУ

Видавець ТОВ «Укрінсталькон ім. В. М. Шимановського»
Адреса редакції та видавця: вул. В. Шимановського, 2/1, Київ, 02125,
ТОВ «Укрінсталькон ім. В. М. Шимановського»
тел. (044) 516-52-85, 543-98-36 e-mail: redakpbis@gmail.com
Комп'ютерна верстка та дизайн обкладинки — Гончар В. Д.

Підписано до друку 25.08.2026 р. Папір крейдяний. Тираж 300 прим.
Віддруковано ПП «Лисенко М. М.»

Україна, 16600, м. Ніжин Чернігівської обл., вул. Шевченка, 20.
Свідectво про внесення до державного реєстру видавців, виготовлювачів
і розповсюджувачів видавничої продукції: ДК № 2776 від 26.02.2007

Оформлення, стиль та зміст журналу є об'єктом авторського права і захищається законом
Передрук розміщених у журналі матеріалів дозволяється тільки за письмовою згодою редакції
Відповідальність за підбір та висвітлення фактів у статтях несуть автори
За зміст реклами відповідає подавач. Редакція не завжди поділяє думку авторів
Редакція залишає за собою право редагувати та скорочувати подані матеріали

ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ЕКСПЛУАТАЦІЙНОЇ НАДІЙНОСТІ МЕТАЛОКОНСТРУКЦІЙ ВИСОТНИХ СПОРУД НА ЗАСАДАХ РОБАСТНОГО ПРОЄКТУВАННЯ

Анотація. Металеві конструкції висотних споруд відносяться до категорії об'єктів із підвищеним інженерним ризиком за умов тривалої експлуатації та впливу не передбачених проектом навантаж. Продовження терміну їх безпечної експлуатації базується на удосконаленні методів діагностики технічного стану, а також на системній інтерпретації отриманих результатів із застосуванням методів оцінки стану конструкцій та визначення оптимальних режимів експлуатації з урахуванням чинників навантаж вибухового характеру. Описані в статті дослідження спираються на результати виконаних фахівцями ТОВ «Український інститут сталевих конструкцій імені В. М. Шимановського» комплексних обстежень металевих конструкцій висотних споруд із їхнім подальшим аналізом й систематизацією. Розглянуто систему управління експлуатацією та утриманням споруд, яка спрямована на зниження ризиків й оптимізацію ремонтно-відновлювальних заходів при дотриманні вимог державних будівельних норм, національних стандартів та гармонізованих в Україні європейських і міжнародних стандартів. Сформульовано умови робастного проектування, які дозволяють мінімізувати ризики та організувати процес експлуатації, що забезпечує необхідні параметри та якість роботи споруд за наявності відхилень і пошкоджень (розкид властивостей матеріалів, похибок виготовлення, змін умов експлуатації тощо). Показано, що використання резервів несної здатності дозволяє знизити вартість забезпечення життєвого циклу споруд при гарантуванні їх довговічності та безпеки. Процедура узгоджується з системами управління якістю відповідно до стандарту [6], системи екологічного менеджменту [9], а також вимогами з охорони праці та промислової безпеки, що регламентуються стандартом [10].

Abstract. Steel structures of high-rise buildings belong to the category of facilities with increased engineering risk under conditions of long-term service and exposure to actions not foreseen in the design. The extension of their safe service life is based on the improvement of diagnostic methods for assessing the technical condition, as well as on the systematic interpretation of the obtained results using structural assessment procedures and the determination of optimal service conditions, taking into account accidental actions of explosive nature. The studies described in the paper are based on the comprehensive inspection results of steel high-rise structures carried out by specialists of the LLC «V. Shimanovsky Ukrainian Institute of Steel Construction», followed by their analysis and systematization. A system of management for operation and maintenance of structures is considered, aimed at reducing risks and optimizing repair and remedial actions while complying with national building codes, national standards and European and international standards harmonized in Ukraine. Conditions for robust design are formulated, allowing minimization of risks and organization of the service process that ensures the required performance parameters and quality of structures under deviations and damage (scatter of material properties, manufacturing tolerances, changes in service conditions, etc.). It is shown that the use of reserve load-bearing capacity makes it possible to reduce the cost of ensuring the life cycle of structures while guaranteeing their durability and safety. The procedure complies with quality management systems in accordance with [6], environmental management systems according to [9], as well as occupational health and industrial safety requirements regulated by [10].

Ключові слова: технічний стан, металеві конструкції, висотні споруди, робастне проектування, вибухові навантаження, експлуатація, ресурс, довговічність.



О. В. Шимановський,
генеральний директор
ТОВ «Український інститут
сталевих конструкцій
імені В. М. Шимановського»,
член-кореспондент НАН України,
лауреат Державної премії
України в галузі науки і техніки,
заслужений діяч науки і техніки
України, д. т. н, професор



О. М. Гібаленко,
провідний інженер
ТОВ «Український інститут
сталевих конструкцій
імені В. М. Шимановського»,
доктор технічних наук,
д. т. н, професор



Б. М. Бут,
завідувач відділу висотних
споруд ТОВ «Український
інститут сталевих конструкцій
імені В. М. Шимановського»



С. В. Красноносів,
головний конструктор відділу
висотних споруд ТОВ «Український
інститут сталевих конструкцій
імені В. М. Шимановського»

Вступ. Висотні споруди (вежі, щогли, освітлювальні опори, антенні конструкції, радіотелевізійні передавальні станції) є невід'ємною частиною сучасної міської інфраструктури, промислових підприємств і спортивно-видовищних комплексів [14]. В Україні експлуатується значна кількість подібних споруд, більшість із яких виконані зі сталевих конструкцій та перебувають в умовах тривалої експлуатації (25–50 років і більше) [11, 12, 14]. Відповідно, проблема контролю їхнього технічного стану та забезпечення довговічності елементів набуває особливої актуальності через сукупність чинників, найвагоміші з яких полягають у наступному.

1. *Процеси зносу.* Довготривала експлуатація споруд переважно відбувається в умовах промислових підприємств і міських агломерацій за наявності агресивних середовищ, що призводить до інтенсивної корозії та втомного зносу елементів і вузлів. Це спричиняє поступове погіршення властивостей матеріалу та зміну геометричних параметрів елементів під дією корозійного зношування та процесів старіння. Поза тим за відсутності належного технічного обслуговування фіксується зниження несної здатності окремих елементів і виникнення аварійних ситуацій [13, 18].

2. *Вплив екстремальних навантаж.* Споруди щораз частіше зазнають впливу ожеледних і вітрових навантаж, які перевищують нормативні значення, а також динамічних навантаж, зумовлених розміщенням непроектного, надмірного інженерного та технологічного обладнання (антен, систем мобільного зв'язку, додаткового освітлення, систем пожежної охорони тощо), які часто-густо монтуються без необхідних інженерних розрахунків та корегування проектів.

3. *Помилки проектування та будівництва (ремонтного відновлення).* Аналіз відмов засвідчує, що значна частина пошкоджень споруд пов'язана з недоліками вихідного проектування (недостатній облік зміни динамічних впливів із часом, локальна концентрація напруг, обмежені запаси жорсткості та стійкості при збільшенні експлуатаційних навантаж), а також із порушеннями технології будівництва та монтажу. Відзначається низька якість зварних з'єднань, наявність геометричних недосконалостей, а також недостатній контроль на етапах будівництва, реконструкції та експлуатації, що суттєво посилює проблему.

4. *Відсутність системи керування життєвим циклом.* Нестача уніфікованих методик і регламентів щодо планування технічного обслуговування, визначення гарантованої довговічності та вибору оптимальних стратегій ремонту призводять до непередбачуваних відмов і завищених експлуатаційних витрат.

5. *Конструктивні й організаційні особливості та ускладнення.* Спорудам, які розглядаються, притаманна значна висота, територіальна розосередженість, обмежена доступність як самих споруд, так і елементів і вузлів, складність розрахункових схем, що призводить до істотних витрат на діагностику, обслуговування та ремонт. Вказане

потребує впровадження ефективних стратегій контролю та планування технічних заходів із забезпечення експлуатації.

6. *Антропогенні (техногенні) чинники.* Висотні споруди належать до об'єктів підвищеного ризику при довготривалій експлуатації за умов можливих вибухових впливів у сучасних умовах (наслідки застосування зброї, вибухових речовин, літальних апаратів та ін.). На територіях ведення бойових дій вони доволі часто стають помітними орієнтирами та потенційними цілями, через що зазнають першочергових уражень. Основні руйнування спричиняються первинними чинниками вибухових навантаж (механічний і термічний вплив, надлишковий тиск вибуху) та вторинними чинниками (уламки, зміщення конструкцій, вібрації, деформації фундаментів, зсув масиву основи, зміни рівня ґрунтових вод тощо). Такі впливи потребують застосування спеціальних методів оцінки технічного стану споруд і вжиття цілеспрямованих ремонтно-відновлювальних заходів задля забезпечення безпеки і довговічності конструкцій.

Формулювання проблеми. Насамперед вкажемо на те, що використання принципів робастного проектування орієнтоване на створення будівель, будівельних конструкцій і регламентів їх експлуатації (оновлення, реконструкція), які забезпечують збереження заданих експлуатаційних показників, необхідного рівня надійності та функціональної придатності протягом життєвого циклу за умов неминучих невизначеностей і експлуатаційних чинників [16]. До таких чинників належать варіації фізико-механічних характеристик матеріалів, технологічні похибки виготовлення та монтажу, відхилення в режимах функціонування, а також виникнення експлуатаційних, техногенних і кліматичних впливів [15].

Що ж стосується нормативно-правової бази робастного проектування, то вона формується з урахуванням вимог чинних національних та європейських нормативних документів, що регламентують питання надійності, конструктивної безпеки та технічного стану будівельних конструкцій — державних будівельних норм, національних стандартів та гармонізованих в Україні європейських і міжнародних стандартів, які орієнтовані на розрахунок, експлуатацію та управління життєвим циклом інженерних споруд [1, 3, 7], зокрема:

- встановлюють класифікацію категорій відповідальності, систему граничних станів, а також значення і принципи застосування коефіцієнтів надійності [1];
- регламентують вимоги до розрахунку, конструктивного оформлення, експлуатації та технічного обслуговування висотних сталевих споруд [3];
- визначають вимоги до проектування, вибору матеріалів, виконання робіт, експлуатації та забезпечення працездатного стану споруд [7].

Загалом, методологія управління життєвим циклом споруд визначає ключові аспекти, включаючи моніторинг технічного стану, планування технічного обслуговування, оцінку залишкового ресурсу та забезпечення експлуатаційної надійності.

Постановка задачі. Обґрунтування та впровадження принципів робастного проектування проведено на основі накопиченого практичного досвіду та статистичної бази даних, сформованої за результатами науково-вишукувальних

та інженерних досліджень, інструментально-візуальних обстежень висотних споруд фахівцями ТОВ «Український інститут сталевих конструкцій імені В. М. Шимановського», що дозволяє оцінити їх застосування в умовах реальної експлуатації [11–14, 15, 16, 18]. Виконано систематизацію та типологізацію металевих конструкцій споруд із метою визначення їхньої чутливості до невизначеностей, пошкоджень та екстремальних впливів, а також оцінки здатності зберігати несну спроможність та експлуатаційну придатність за умов деградації матеріалів і конструкцій та в аварійних ситуаціях. З цією метою використана топологічна модель робастного проектування — підхід, який застосовує аналітичні методи задля забезпечення стійкості та надійності систем і конструкцій при проектуванні за умов невизначеності та можливих зовнішніх впливів. Ця модель наведена на рис. 1 і дозволяє враховувати варіації параметрів та умов експлуатації, мінімізувати ризики відмов і забезпечувати необхідну функціональність.



Рис. 1. Топологічна модель робастного проектування



а



б

Рис. 2. Види висотних споруд: а — вежа димаря; б — телевізійна вежа



а



б

Рис. 3. Освітлювальні опори спортивно-видовищних споруд:
а — стадіон ФК «Динамо» ім. В. В. Лобановського, б — стадіон НТК ім. В. М. Баннікова

Як зазначалося вище, емпірична основа представлених у даній статті досліджень ґрунтується на результатах інструментально-візуальних обстежень та досліджень висотних споруд, проведених у ТОВ «Український інститут сталевих конструкцій імені В. М. Шимановського» [11–14]. Розглянуті об'єкти охоплюють широкий спектр конструктивних схем, навантаж та умов експлуатації (рис. 2, 3), що забезпечує репрезентативність аналізу при формуванні принципів робастного проектування.

Запропоновані авторами статті підходи до робастного проектування висотних споруд ілюструються на прикладах металоконструкцій систем зв'язку, конструкцій освітлення спортивно-видовищних споруд та адміністративно-інформаційних будівель, промислових об'єктів, узагальнено відображених у таблиці 1.

Опис стану споруд та елементів. Оцінка конструктивної робастності розглянутих споруд здійснена з урахуванням аналізу вразливості елементів і вузлів, їхньої чутливості до корозійного зношування, монтажних дефектів та експлуатаційних пошкоджень, чинників техногенних навантаж. Відтак основна увага приділялась як ключовим конструктивним рішенням, так і їхньому стану, а саме:

- зварним з'єднанням у стиках суцільних елементів, зокрема трубчастих елементів стовбура та кріплення платформ до опори, швам стиковим, кутовим і з'єднанням нахлестом. Виявлено, що якість зварювання не в достатній мірі відповідала вимогам [3, 5], що пов'язано з помилками виробництва, низьким рівнем технічного контролю та технології виконання робіт;

Таблиця 1

Характеристика досліджуваних висотних споруд

Призначення	Конструкція та матеріали	Основні параметри	Умови експлуатації	Обґрунтування робастного проектування
Опора мобільного зв'язку типу «Монополь»				
Розміщення обладнання мобільного зв'язку (антенні системи, кабельні траси, активне та пасивне обладнання)	Цільнозварна одностійкова конструкція зі сталевих труб змінного діаметра з болтовими з'єднаннями	Опора заввишки 35 м; діаметр біля основи ≈ 600 мм; стінка завтовшки 8–12 мм; маса конструкції ≈ 15 т; навантага від обладнання 3–5 т	Міська забудова; агресивна атмосфера; вітрові та ожеледні навантаги; динамічні впливи	Аналіз величин корозійного зносу, геометричних та монтажних відхилень, стійкості до експлуатаційних впливів
Освітлювальні опори стадіону ФК «Динамо» ім. В. В. Лобановського				
Опори зі спрямованими прожекторами для рівномірного освітлення поля	Багатоелементна металева конструкція: сталевий стовбур змінного перерізу та горизонтальний прожекторний щит	Опори заввишки 52,5 м; стовбур заввишки 48 м; щит заввишки 4,5 м; діаметр біля основи ≈ 800 мм; елементи завтовшки 10–16 мм; маса стовбура ≈ 40 т; маса щита й обладнання ≈ 25 –30 т; маса загальна ≈ 70 т	Зона масового перебування людей; значні консольні навантаги; підвищені внутрішні напруги в нижній частині стовбура	Ключовий об'єкт для оцінки робастності за умов ексцентричних навантаг, локальних ушкоджень і вимог до експлуатаційної надійності й безпеки
Освітлювальні опори стадіону Навчально-тренувального комплексу ім. В. М. Баннікова				
Опори зі спрямованими прожекторами для рівномірного освітлення поля	Одностійкові опори зі сталевих труб із болтовими з'єднаннями	Опори заввишки 8–12 м; товщина стінок за проектами; маса конструкції 1–3 т	Зона масового перебування людей; значні консольні навантаги; підвищені внутрішні напруги в нижній частині стовбура	Масовий тип конструкцій; типові дефекти проектування, виготовлення та експлуатації
Адміністративно-інформаційна споруда (флагшток)				
Розміщення атрибутики державної символіки	Цільнозварна сталева труба круглого перерізу	Труба заввишки 9 м	Вітрові та ожеледні навантаги; циклічні впливи, зумовлені коливаннями від руху оснастки	Процеси втоми та динамічна чутливість елементів малих перерізів за умов циклічної навантаги
Розміщення антенних систем передавального обладнання	Гратчаста сталева вежа з чотирма стійками, розкосами та горизонтальними в'язями	Вежа заввишки 150 м; маса конструкції ≈ 300 –400 т	Вітрові впливи; резонансні явища; зосереджені навантаги від антенних систем; агресивне атмосферне середовище	Репрезентативність аналізу системної робастності конструкцій із урахуванням впливу монтажних помилок, процесів деградації елементів та недоліків системи технічного обслуговування

- болтовим з'єднанням, застосованим переважно у гратчастих елементах, а також для кріплення антенних і технологічних платформ, навісного обладнання. Відмічено застосування високоміцних болтів класів міцності 8.8 та 10.9. Типовими причинами пошкоджень є саморозгвинчування болтів, корозійне руйнування різьбових частин і порушення необхідного зусилля затягування;
- основам споруд, що вирішені у вигляді бетонних подушок, пальових фундаментів і монолітних залізобетонних масивів. До найбільш поширених дефектів належать пошкодження від надлишкових атмосферних опадів; зміщення опор під впливом вибухових чи ударних навантаг; порушення гідроізоляції; тріщини в бетоні. Ці дефекти призводять до перекосів споруди, нерівномірного розподілу навантаг і виникнення додаткових напруг у несних елементах, деградації основного матеріалу;
- системам антикорозійного захисту на основі лакофарбових покриттів, металізаційних (гальванічні покриття, гаряче цинкування) та комбінованих рішень. Виявлено типові

дефекти, що обумовлюють відшаровування захисного покриття, локальні осередки корозії під покриттям, рівномірне та нерівномірне корозійне зношування, недостатню товщину шару покриття (згідно з вимогами чинних національних норм щодо захисту металевих конструкцій від корозії [8]).

Аналіз стану ключових конструктивних елементів і вузлів надає змогу ідентифікувати типові дефекти та чинники вразливості, що формують підґрунтя для обґрунтування робастного проектування заходів оновлення чи реконструкції та підвищення надійності металевих споруд при експлуатації. Сама ж методика натурного обстеження спирається на принципи, сутність яких зводиться до забезпечення стійкості й надійності конструкцій за умов невизначеностей і охоплює такі основні напрями:

- облік варіацій та невизначеностей — варіації навантаг і зовнішніх впливів, деградація властивостей матеріалів; геометричні відхилення елементів; зміни умов експлуатації;
- структурний аналіз і вибір розрахункових схем — проведення «чутливого» аналізу

з метою виявлення вразливих елементів, вибір вузлів і схем зі зниженою «чутливістю» до варіацій параметрів, визначення конструктивної надмірності та альтернативних шляхів передачі зусиль;

- контроль і моніторинг стану — регулярний візуальний та інструментальний контроль (крен, осідання, стан відтяжок, корозійні ушкодження, тріщини, стан кріплення), встановлення критеріїв технічного стану та прийняття рішень про ремонт і оформлення звітної документації.

Зазначимо, що для методики натурного обстеження нормативною основою слугує [2], в якому нормуються галузі оцінки надійності та безпеки протягом усього життєвого циклу (проектування, зведення, експлуатація, ремонт, виведення з експлуатації), а блок-схема її ієрархічної структури проілюстрована на рис. 4.

Варто підкреслити, що запропонований ієрархічний підхід до обстеження конструкцій забезпечує не тільки виявлення взаємозв'язків між елементами та їх ранжування за критичністю для формування раціональних стратегій технічного обслуговування, а й прогнозування стану конструкцій вищого рівня на основі стану елементів нижнього рівня. Ключова ж передумова достовірності таких оцінок зводиться до повсякчасного контролю критичних вузлів та елементів нижнього рівня, адже саме їхній стан визначає рівень надійності й тривалість експлуатації всієї конструкції. Ба більше, такий підхід дозволяє пріоритизувати заходи з технічного обслуговування, мінімізуючи ризики

прогресуючих пошкоджень і забезпечити ефективне використання експлуатаційних ресурсів і резервів міцності.

Далі слід звернути увагу на те, що зонування споруд за об'ємно-плянувальною ознакою задля організації контролю провадиться за їх висотою H у такій послідовності:

- нижня зона від 0 до $0,3H$, в якій зазвичай мають місце підвищені внутрішні напруги та найінтенсивніше корозійне пошкодження в найбільш навантажених вузлах;
- середня зона від $0,3H$ до $0,7H$, яка потребує прискіпливої уваги за станом зварних і болтових з'єднань;
- верхня зона від $0,7H$ до H , де пріоритетом є перевірка стану платформ і кріплень обладнання.

Поза тим, при зонуванні за характером навантаж додатково виокремлюються:

- зони значних напружень із зварними та болтовими з'єднаннями, переходами поперечних перерізів, вузлами кріплення платформ та обладнання і схильними до корозії ділянками;
- нижня частина споруди у місцях скупчення вологи та бруду, а також під покрівельними покриттями;
- зони з історією пошкоджень із ділянками, на яких раніше фіксувалися дефекти та ушкодження.

Приклади зонування висотних споруд за об'ємно-плянувальною ознакою та за характером і видом навантаж наведено на рис. 5, 6.



Рис. 4. Структура ієрархічної блок-схеми методики натурного обстеження



а



б

Рис. 5. Характерні зони експлуатації за об'ємно-плянувальною ознакою:
а — нижня зона; б — середня зона

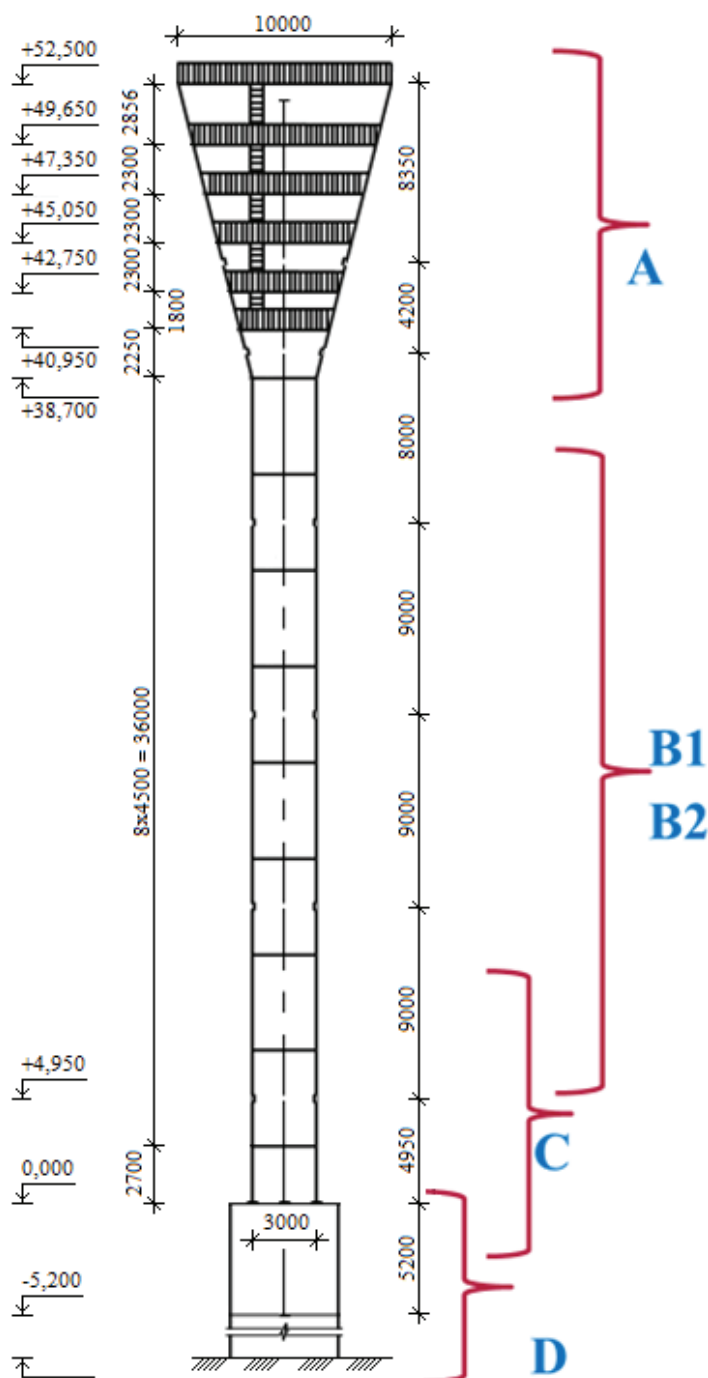


Рис. 6. Зонування споруди за характером і видом навантаг, об'ємно-плянувальними ознаками та конструктивними елементами:

- А — конструктивні елементи, що забезпечують цільову технологічну функцію об'єкта; технологічне оснащення;
- В1 — основні несні конструктивні елементи та елементи жорсткості;
- В2 — елементи конструкцій в'язей, елементи забезпечення стійкості та стабілізації, вузлові елементи;
- С — елементи та конструкції доступу й обслуговування споруди;
- Д — опорні частини; конструкції фундаментів, анкерів і масив основи

На підставі аналізу умов експлуатації споруд, застосовуваних методів і процедур обстеження, досліджень, а також класифікації конструкцій за походженням і характером руйнування сформовано узагальнену блок-схему технічної діагностики та інтерпретації результатів досліджень у системі робастного проектування споруд (рис. 7).

Слід підкреслити: з аналізу наведеної узагальненої блок-схеми випливає, що у процесі технічної діагностики увага приділяється не лише сукупності дефектів і пошкоджень, але й проектним помилкам, методам опрацювання результатів та їх статистичному аналізу, а також різноманітним оцінкам і обґрунтуванням, які містять наступні групи факторів.

1. Механічні та експлуатаційні недосконалості:

- локальні деформації (вм'ятини, вигини стінок) від ударних впливів чи неправильного розміщення устаткування;
- перекоси та нахили споруди внаслідок нерівномірного осідання фундаменту або помилок монтажу;
- прогини елементів понад допустимі значення;
- тріщини у зварних швах втомного походження;
- руйнування болтових з'єднань у результаті саморозгвинчування, корозії та зміщення елементів, що стикаються, які здебільшого спричиняються такими факторами:
- неврахуванням динамічного впливу вітру та можливих резонансних коливань при проектуванні;

- надмірною гнучкістю споруди, що сприяє розвитку вібрацій;
- непроєкtnим розміщенням додаткового обладнання, що призводить до збільшення маси та зміни місця розташування центра тяжіння;
- відсутністю регламентованого контролю зусилля затягування та стану болтових з'єднань.

2. Пошкодження від первинних чинників вибухового впливу.

До цієї групи відносяться дефекти, викликані безпосереднім впливом вражаючих елементів, дією ударної повітряної хвилі вибуху, надлишкового тиску та локального нагрівання конструкції або продуктів вибуху (рис. 8). Що ж стосується механізму формування механічних ушкоджень, то він пов'язаний з тим, що ударна хвиля передає конструкції значну енергію, викликаючи короточасні динамічні зусилля, які багаторазово перевищують розрахункові статичні зусилля. Натомість найбільшу небезпеку становлять бічні вибухи, що діють перпендикулярно до осі споруди.

3. Ушкодження від вторинних чинників вибухового впливу.

Ці ушкодження спричиняються дією уламків конструкцій чи фрагментів обладнання, тривалими температурними впливами (вторинні пожежі), порушенням основи та ґрунтів (зміщення фундаментів, зміна русла річок, рівня ґрунтових вод тощо). У результаті дії цих чинників утворюються наскрізні та глухі отвори, сколи матеріалу та пошкодження захисних покриттів,



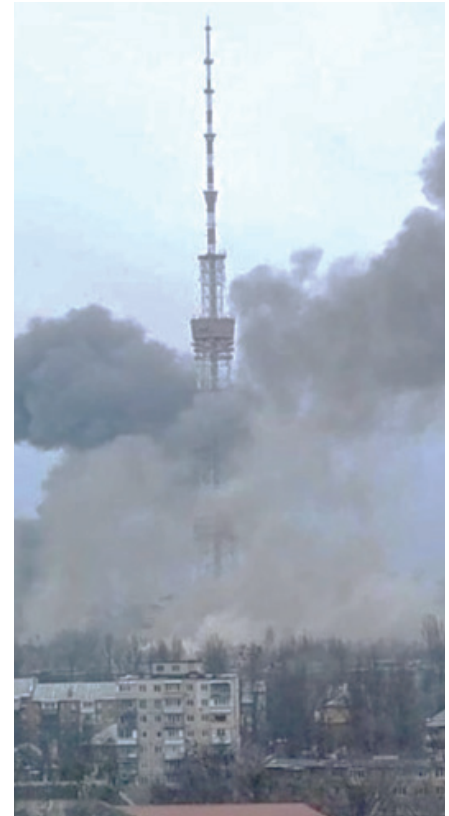
Рис. 7. Узагальнена блок-схема технічної діагностики та інтерпретації результатів досліджень у системі робастного проектування споруд



а



б



в

Рис. 8. Руйнування конструкцій внаслідок:
а — впливу первинних чинників вибухових впливів;
б — локалізації елементів несної конструкції під час усунення аварійної ситуації;
в — вторинних чинників вибухових навантаж

мікротріщини та втомні тріщини у зварних швах, саморозгвинчування болтів, нерівномірні осідання та крени споруди, що супроводжується виникненням додаткових напруг і розкриттям з'єднань.

Вторинні пожежі викликають термічне руйнування захисних покриттів, зміну механічних властивостей сталі при нагріванні та втрату лакофарбових і цинкових шарів, що прискорює розвиток корозії та знижує залишковий ресурс конструкції.

4. Дефекти тривалої експлуатації.

Ці дефекти виникають при старінні та деградації матеріалів і накопичуються під впливом агресивного середовища та циклічних навантаж, насамперед корозійного та втомного зносу, а також втрати стійкості елементів. Корозійний знос проявляється у вигляді рівномірного зменшення товщини металу, локальних пітингів, виразках і щілинної корозії.

Зауважимо, що такі дефекти становлять особливу небезпеку для тонкостінних конструкцій,

їх складно виявляти без розкриття та спеціального інструментального контролю, і вони можуть тривалий час залишатися непоміченими під час звичайного візуального огляду. На відміну від цього рівномірне корозійне зменшення товщини металу призводить до локальної або загальної втрати стійкості, особливо в нижній частині стовбура споруди, і доволі легко діагностується під час звичайного інструментально-візуального обстеження.

5. Руйнування болтових і зварних з'єднань.

Таке руйнування пов'язане з саморозгвинчуванням болтових з'єднань під дією вібрацій, корозії різьби і випаданням кріплень, що призводить до зміщення елементів і, у відповідальних вузлах, відмови конструкції (рис. 9, 10).

Стосовно ж зварних з'єднань вкажемо на те, що для них характерні тріщини в металі шва та зоні термічного впливу, пори, іноді включення, неповне проплавлення та прискорене корозійне руйнування при пошкодженні захисного покриття, що знижує несну здатність вузлів та ініціює розвиток тріщин.



а



б

Рис. 9. Стан конструкцій у вузлових з'єднаннях:
а — елементи конструкцій; б — стикове з'єднання



Рис. 10. Пошкодження опорних частин несних конструкцій

6. Помилки проєктування, будівництва та експлуатації.

До цієї групи відносяться помилки, пов'язані з недоліками проєкту, порушеннями під час будівництва та помилками в експлуатації споруди. Проєктні помилки зумовлюють зниження запасу несної здатності та жорсткості, місцеві концентрації напруг через невдалий підбір поперечних перерізів, неврахування сполучень навантаг (вітер із ожеледицею, вітер із додатковим обладнанням), а також некоректний розрахунок та оцінку роботи фундаменту.

До дефектів монтажу належать порушення технології зварювання, геометричні відхилення

(перекуси, неспіввісність елементів), недостатній контроль якості на етапі будівництва та неправильне затягування болтів.

Експлуатаційні помилки виявляються у розміщенні додаткового обладнання без перерахунку несної здатності та фундаменту, перевантаженні конструкції, відсутності регламентного обслуговування та несвоєчасному усуненні видимих дефектів, а також у порушенні вимог при демонтажі та ремонті елементів.

На підставі статистичного якісного та кількісного аналізу виконано класифікацію недосконалостей несних і допоміжних конструкцій за ступенем їх поширення, яка наведена в таблиці 2.

Таблиця 2

Класифікація недосконалостей несних та допоміжних конструкцій

Клас	Визначення	Приклади	Наслідки
Локальні	Дефекти, обмежені окремими елементами чи вузлами	Корозійні виразки на стінці, тріщина в одному зварному шві	Зниження локальної несної здатності, яке може бути усунено локальним ремонтом
Зональні	Дефекти, поширені на значну частину конструкції (приміром, половину стовбура)	Загальна корозія нижньої половини стовбура, множинні тріщини з одного боку	Потребує більш масштабного ремонту, поневаж впливає на загальну жорсткість і стійкість
Загальні	Дефекти, що охоплюють всю споруду або її основні несні елементи	Загальне корозійне зношування всієї конструкції, систематичне зміщення фундаменту	Вимагає значних ремонтно-відновлювальних робіт чи реконструкції, оскільки спричиняє загрозу безпеці

7. Методика опрацювання результатів і статистичного аналізу.

Результати обстежень обробляються відповідно до вимог державних будівельних норм, національних стандартів та гармонізованих в Україні європейських і міжнародних стандартів щодо оцінки технічного стану споруд на основі ієрархічної моделі об'єкта. Для кожного елемента, що досліджується, визначаються ділянки та методи інструментального контролю, а також встановлюються наступні показники:

- коефіцієнт зносу;
- показник пошкоджуваності, що дорівнює частці дефектного або зруйнованого матеріалу від загальної площі поперечного перерізу;
- показник стану, який визначається шляхом порівняння фактичного стану елемента з вимогами нормативних документів.

8. Агрегована оцінка споруди в цілому.

Ієрархічний підхід дає змогу переходити від оцінок елементів до оцінок блоків та всієї споруди. Узагальнені результати статистичного аналізу представлені в таблиці 3.

Таблиця 3

Розподіл дефектів за типами

Тип дефекту	Кількість виявлень	Частка від усіх дефектів	Критичність
Корозійний знос (локальний та загальний)	45	38 %	Середня — висока
Ослаблені болти та саморозгвинчування болтових з'єднань	32	27 %	Середня
Тріщини у зварних швах	18	15 %	Висока
Деформації та зміщення	12	10 %	Середня — висока
Ушкодження від вибухових впливів	8	7 %	Критична
Інші дефекти (відшаровування фарби, втрата герметичності)	3	3 %	Низька

9. Оцінка динаміки розвинення корозійного зносу.

Швидкість корозійного зносу елементів споруд оцінюється на основі результатів вимірювань залишкової товщини металу в найбільш навантажених та корозійно-небезпечних зонах. Аналіз набутих даних показав виражену нерівномірність корозійних втрат за висотою споруд. Зокрема, у нижній зоні споруд від 0 до 0,2 H , що характеризується підвищеною вологістю, забрудненням і впливом агресивних чинників навколишнього середовища, середня швидкість корозійного зношування становить близько 0,4–0,8 мм/рік. У середній частині від 0,2 H до 0,7 H інтенсивність корозії істотно нижча і знаходиться в межах 0,1–0,3 мм/рік. У верхній зоні від 0,7 H до H , де умови аерації більш сприятливі та відсутній контакт із джерелами забруднення, швидкість корозійного зношування мінімальна і здебільшого не перевищує 0,05–0,1 мм/рік.

Розрахунковий аналіз свідчить, що за таких темпів корозії та вихідної товщини стінок елементів близько 12–20 мм (за відсутності ефективного антикорозійного захисту та своєчасних ремонтних заходів) критично навантажені елементи можуть втратити необхідну здатність вже через 15–25 років експлуатації.

10. Оцінка фактичних запасів несної здатності елементів.

Оцінку проведено з використанням розрахункових методик [17] та вимог державних будівельних норм із урахуванням виявленого корозійного зносу, геометричних відхилень і локальних пошкоджень (за винятком споруд, які отримали вибухові ушкодження). Для ґратчастих конструкцій (зокрема, веж радіотелевізійних передавальних станцій) встановлено, що залишкові запаси міцності становлять у середньому близько 60 % від початково закладених нормативних значень, тобто конструкція здатна сприймати значну частку розрахункової навантаги без втрати несної здатності. А для трубчастих конструкцій (стволои антенно-щоголових споруд та освітлювальні опори) залишкові запаси несної здатності знаходяться в діапазоні 70–90 % і суттєво залежать від ступеня корозійного зносу та локалізації дефектів, насамперед у нижній частині ствола та у вузлах кріплення обладнання.

Загалом отримані результати свідчать, що, незважаючи на наявність дефектів і пошкоджень, більшість обстежених споруд зберігають значні експлуатаційні резерви. Це дозволяє обґрунтовано застосовувати стратегію підтримуючого ремонту, локального підсилення та продовження терміну служби без необхідності негайної заміни або демонтажу конструкцій (табл. 4).

Спираючись на результати аналізу дефектів і запасів несної здатності запропоновано стратегію управління життєвим циклом висотних споруд, узгоджену з вимогами нормативних документів до експлуатаційної надійності та безпеки (табл. 5).

11. Економічне обґрунтування прийнятих рішень.

Методологічні засади економічного обґрунтування задля прийняття зважених фінансових рішень у будівельній галузі та сфері управління

витратами започаткував дослідник K-Zan у своїй ключовій праці [19]. Із цієї метою він ввів, обґрунтував і впровадив у практику інженерних розрахунків спеціальний узагальнюючий параметр *LCC*, абревіатура якого розшифровується як *Life Cycle Cost* (вартість життєвого циклу), що відображає сукупні витрати, пов'язані із створенням, функціонуванням, обслуговуванням і виведенням із експлуатації споруд протягом усього періоду їх використання. З огляду на сказане, складові цього параметра загалом охоплюють:

- початкові витрати — проектування, будівництво (або закупівля), доставка, монтаж і введення в експлуатацію;
- експлуатаційні витрати — енергоресурси, витратні матеріали, оплата праці персоналу;
- витрати на утримання — технічне обслуговування, поточний та капітальний ремонт, запасні частини;

Таблиця 4

Типи дефектів пошкоджень та причин їх виникнення

Тип дефекту чи пошкодження	Первинний чинник вибуху	Вторинний чинник вибуху	Тривала експлуатація	Недосконалості		
				проектування	будівництва	експлуатації
Деформація несної конструкції	R3	R2	R0	R0	R0	R
Локальні вм'ятини	R2	R3	R0	R0	R0	R1
Тріщини у зварних швах	R2	R1	R3	R1	R3	R0
Корозійне знос	R0	R0	R3	R1	R0	R2
Втрата стійкості	R0	R0	R3	R2	R0	R1
Пошкодження болтів	R2	R3	R2	R0	R2	R2
Руйнування фундаменту	R3	R2	R1	R2	R2	R0

Примітка. В таблиці прийняті наступні позначення: R3 — основний чинник, R2 — значний вплив, R1 — невеликий вплив, R0 — вплив відсутній

Таблиця 5

Стратегія управління життєвим циклом висотних споруд

Періодичність / Випадки	Обсяг робіт	Виконавці	Результати
Рівень 1: Візуальний огляд			
1 раз на рік або після екстремальних погодних подій	Візуальна оцінка дефектів, покриття, фундаменту конструкції	Фахівці експлуатуючої організації	Акт огляду з фотофіксацією та рекомендаціями
Рівень 2: Повне технічне обстеження			
1 раз на 3–5 років (II–III клас), 1 раз на 2–3 роки для старих/пошкоджених	Руйнівні та неруйнівні методи (ультразвуковий, каплярний та магнітопоршковий контролю, радіографія)	Кваліфіковані спеціалісти рівня 2–3 [4]	Звіт із оцінкою стану, класифікацією пошкоджень, рекомендаціями щодо ремонту
Рівень 3: Спеціальні термінові обстеження			
Після впливів вибухів, екстремальних природних явищ, зміни умов експлуатації	Визначається характером ушкоджень, виконання протягом 1–2 тижнів	Кваліфіковані спеціалісти	Терміновий звіт з рекомендаціями щодо локалізації та усунення пошкоджень
Посилення та ремонт конструкцій			
Згідно з даними служб експлуатації	Локальне та глобальне посилення елементів	Інженери-конструктори та монтажні бригади	Відновлення несної здатності
Моніторинг та діагностика			
Постійно / реальний час	Системи моніторингу конструкції та ключових вузлів	Фахівці з діагностики	Раннє виявлення відхилень та дефектів
Захист від екстремальних впливів			
Постійно / у міру потреби	Заходи проти вибухів, корозії, вітрових навантаж	Інженери із захисту та обслуговування	Зниження експлуатаційних ризиків
Зміна умов експлуатації			
За даними служб експлуатації	Обмеження додаткових навантаж; оновлення технологічного обладнання	Експлуатаційна організація	Підтримка безпечного стану споруди

Таблиця 6

Порівняльний аналіз варіантів вартості життєвого циклу

Сценарій	Початкові витрати, грн.	Щорічні витрати, грн.	Імовірність аварії	LCC за 30 років	Рекомендація
1. Мінімальне обслуговування	0	15 тис. + аварійні	Висока (30–50 %)	1,5–2,5 млн.	Не рекомендується
2. Плянове обслуговування	0	30–40 тис.	Низька (5–10 %)	1,2–2,0 млн.	Рекомендується
3. Інтенсивний моніторинг	100 тис.	40–50 тис.	Дуже низька (1–3 %)	1,5–2,2 млн.	Рекомендується для критичних
4. Капітальна реконструкція	2,0–3,5 млн.	Як нове	Мінімальна	2,5–4,0 млн.	При критичних дефектах

Примітка. При проведенні обчислень застосовано ціни 2024 р., а їх основою послугували щорічні витрати та мінімальне обслуговування в розмірі 15 тис. грн.

- витрати на виведення з експлуатації — демонтаж, утилізація, рекультивація майданчика, а також можлива залишкова вартість продажу компонентів або матеріалів.

В частині ж висотних споруд вкажемо на те, що з урахуванням їхньої специфіки складові цього параметра розповсюджуються на початкові вартості проектування та будівництва; поточні витрати на обслуговування та пляновий ремонт; позаплянові витрати, пов'язані з ліквідацією аварійних ситуацій і залишкову вартість під час продажу, повторного використання або утилізації конструкцій. За цих умов значення параметра LCC обчислюється згідно з формулою:

$$LCC = C_{\text{проект.}} + C_{\text{будів.}} + \sum_{i=1}^n \frac{(C_{\text{обсл.}, i} + C_{\text{ремонт}, i} + C_{\text{аварія}, i})}{(1+r)^i} - \frac{C_{\text{залиш.}}}{(1+r)^n},$$

в якій застосовані такі позначення: $C_{\text{проект.}}$ — витрати на проектування; $C_{\text{будів.}}$ — витрати на будівництво; $C_{\text{обсл.}}$ — витрати на поточне обслуговування у році i ; $C_{\text{ремонт}}$ — витрати на пляновий та поточний ремонт у році i ; $C_{\text{аварія}}$ — імовірнісні витрати на ліквідацію аварій у році i ; r — дисконтна ставка (зазвичай 3–7 %); n — розрахунковий період (зазвичай 20–50 років); $C_{\text{залиш.}}$ — залишкова вартість наприкінці періоду.

Ілюстрацією викладеного слугуватиме приклад розрахунку вартості життєвого циклу пересічної висотної споруди, в якому взята до уваги сукупність витрат на створення, експлуатацію, технічне обслуговування та виведення об'єкта з експлуатації. За результатами аналізу й узагальнення отриманих розрахункових даних обрано декілька альтернативних варіантів стратегії обслуговування, що забезпечують раціональне співвідношення між витратами та рівнем надійності (табл. 6).

Доцільно підкреслити, що вартісні показники, отримані на основі аналізу життєвого циклу споруди, свідчать, що реалізація плянового технічного обслуговування (сценарій 2, табл. 6) забезпечує оптимальний баланс між витратами та рівнем експлуатаційної надійності. Використання наявних резервів несної здатності конструкцій, оцінених на рівні 60–90 %, у поєднанні зі своєчасним виконанням плянових робіт, дозволяє утримувати щорічні витрати на обслуговування на рівні близько 30–40 тис. грн.

Висновки.

Виконано аналіз комплексної оцінки технічного стану та експлуатаційної надійності висотних металевих споруд вежевого типу, що експлуатуються в умовах агресивного середовища та непроектних силових впливів. Встановлено, що більшість обстежених споруд відносяться до класів технічного стану II–III і характеризуються наявністю корозійного та втомного зносу, дефектів зварних і болтових з'єднань, а також ушкоджень, спричинених ударними та вибуховими впливами. Незважаючи на виявлені дефекти, розрахунково-аналітичні дослідження показали збереження значних резервів несної здатності конструкцій (в середньому 60–90 %) в умовах корозійного зносу, що створює передумови для продовження терміну їхньої служби за умови раціонального управління експлуатацією (враховуючи особливості відновлення конструкцій, ушкоджених вибуховими навантаженнями).

Ключовим результатом дослідження є розробка методики забезпечення конструктивної стійкості висотних споруд на основі робастного проектування, орієнтованої на зниження чутливості

конструкцій до невизначеностей навантаж, деградації матеріалів і непроекtnих вибухових впливів. Методика заснована на ієрархічному описі конструкцій, аналізі дійсного стану елементів і вузлів, обліку резервів несної здатності та реалізації стратегій мінімізації наслідків локальних ушкоджень. Показано, що поєднання робастного підходу з пляновим

технічним обслуговуванням та профілактичним ремонтом дозволяє суттєво знизити ризик аварійних відмов і забезпечити продовження терміну служби споруд на 10–20 років за умови дотримання вимог державних будівельних норм, національних стандартів та гармонізованих в Україні європейських і міжнародних стандартів.

- [1] ДБН В.1.2–14:2018. Загальні принципи забезпечення надійності та конструктивної безпеки будівель і споруд. — К.: Міністерство регіонального розвитку, будівництва та житлово-комунального господарства України, 2018.— 29 с.
- [2] ДСТУ Б В.2.6–210:2016. Оцінка технічного стану сталевих будівельних конструкцій, що експлуатуються. — Київ: Мінрегіон України, 2016.— 80 с.
- [3] ДСТУ-Н Б EN 1993–3–2:2012 Єврокод 3. Проектування сталевих конструкцій. Частина 3–2. Башти, щогли і димові труби. Димові труби (EN 1993–3–2:2007, IDT). — Київ: ДП «УкрНДНЦ», 2012.— 33 с.
- [4] ДСТУ EN ISO 9712:2022. Неруйнівний контроль. Кваліфікація та сертифікація персоналу неруйнівного контролю (EN ISO 9712:2022, IDT; ISO 9712:2021, IDT). — Київ: ДП «УкрНДНЦ», 2022.— 15 с.
- [5] ДСТУ EN ISO 17635:2018. Неруйнівний контроль зварних з'єднань. Загальні правила для металевих матеріалів (EN ISO 17635:2016, IDT; ISO 17635:2016, IDT). — Київ: ДП «УкрНДНЦ», 2016.— 19 с.
- [6] ДСТУ ISO 9001:2015. Системи управління якістю. Вимоги (ISO 9001:2015, IDT). — Київ: ДП «УкрНДНЦ», 2016.— 22 с.
- [7] ДСТУ ISO 12944–1:2019. Фарби та лаки. Захист від корозії сталевих конструкцій захисними лакофарбовими системами. Частина 1. Загальний вступ (ISO 12944–1:2017, IDT). — Київ: ДП «УкрНДНЦ», 2020.— 20 с.
- [8] ДСТУ ISO 12944–5:2020. Фарби та лаки. Захист від корозії сталевих конструкцій захисними лакофарбовими системами. Частина 5. Захисні лакофарбові системи (ISO 12944–5:2019, IDT). — Київ: ДП «УкрНДНЦ», 2020.— 20 с.
- [9] ДСТУ ISO 14001:2015. Системи екологічного управління. Вимоги та настанови щодо застосування (ISO 14001:2015, IDT). — Київ: ДП «УкрНДНЦ», 2016.— 36 с.
- [10] ДСТУ OHSAS 18001:2010. Системи управління гігієною та безпекою праці. Вимоги. (OHSAS 18001:2007, IDT). — Київ: ДП «УкрНДНЦ», 2016.— 28 с.
- [11] Шимановський О. В. Методологічні аспекти сьогочасного процесу проектування будівель і споруд // Промислове будівництво та інженерні споруди.— 2024.— № 1.— С. 2–7.
- [12] Шимановський О. В. Методологічні питання процесу обстеження конструкцій будівель і споруд // Промислове будівництво та інженерні споруди.— 2024.— № 3.— С. 34–40.
- [13] Шимановський О. В., Бут Б. М., Красноносів С. В. Стосовно відновлювальних робіт на окремих металевих конструкціях телевізійної вежі Київської філії Концерну РТТ // Промислове будівництво та інженерні споруди.— 2023.— № 4.— С. 2–11.
- [14] Шимановський А. В., Кондра М. П., Кондра С. М. Высотные сооружения. Теория и практика. Издание второе, переработанное и дополненное / Под общей редакцией Шимановского А. В. — Київ: Видавництво «Сталь», 2015.— 486 с.
- [15] Gibalenko O. M., Gibalenko V. A. Corrosion Protection of Metal Structures in Manufacturing Conditions // Proceedings of the 2nd International Conference on Building Innovations.— 2020.— P. 45–52.
- [16] Gibalenko O., Gibalenko V., Bocharova O. Anticorrosive Protection Of Structures In Robust Design // Eastern-European Journal of Enterprise Technologies.— 2020.— Vol. 5, N 12 (107). — P. 66–72; URL: <http://journals.urau.ua/eejet/article/view/214821>.
- [17] Korolov, V.P.; Gibalenko, O.M.; Korolov, P. V. Methods of Control of the Corrosion Protection of Steel Structures at Industrial Objects // Materials Science.— 2021.— Vol. 56.— Issue 5.— P. 661; DOI: 10.1007/s11003–021–00479–5
- [18] Korolov V. P., Vysotsky Y., Gibalenko O. M., Korolov P. V. Estimation of steel structure corrosion risk level // Eurocorr-2010. The European Corrosion Congress / From the Earth's Depths to Space Heights. — Moscow, 2010.— 534 p.
- [19] K-Zan. Life Cycle Costing in Construction: Benefits, Formula & More. — URL: <https://surl.li/rzhmeh>.

Стаття надійшла 12.02.2026 р.

УЧАСТЬ УКРАЇНСЬКОГО ІНСТИТУТУ СТАЛЕВИХ КОНСТРУКЦІЙ ІМЕНІ В. М. ШИМАНОВСЬКОГО У РЕАЛІЗАЦІЇ НЕВІДКЛАДНИХ ЗАХОДІВ ІЗ ЛІКВІДАЦІЇ НАСЛІДКІВ ЧОРНОБИЛЬСЬКОЇ КАТАСТРОФИ

Анотація. Ця стаття повертає нас на 40 років назад у часи Чорнобильської катастрофи. Вона описує роль та участь інституту в подоланні її наслідків і охоплює період від моменту аварії, включаючи час, коли відбувалося створення і модифікація першого укриття (яке спочатку мало назву Саркофаг, а потім — об'єкт «Укриття») над зруйнованим 4-м блоком і виконувалися роботи на суміжних об'єктах, до того часу, як почалося проектування і будівництво Нового безпечного конфайнменту.

У статті мова йде про перші дні техногенної аварії, поспіхом сформовані конструктивні рішення Саркофага і їхню реалізацію за участю працівників інституту, математичне моделювання зони руйнувань, будівництво вежі-димаря промислово-опалювальної котельні, обстеження, ремонт та заміну пошкоджених конструкцій, прилеглих до зони реактора, зокрема вентиляційної вежі-димаря 3-го та 4-го енергоблоків, а також відновлення покриття машинної зали 4-го блоку, яке завалилося значно пізніше за аварію.

Ключові слова: Чорнобильська катастрофа, Саркофаг, об'єкт «Укриття», захисні конструкції, балка Мамонт, ключики, вежа-димар.

Передмова. Найбільша в світі техногенна аварія, відома як Чорнобильська катастрофа, відбулася на відстані 100 км від нашого інституту. Відомості про аварію на Чорнобильській атомній електростанції (ЧАЕС) надійшли до нас рано вранці 28 квітня 1986 року з неофіційних джерел. Найстрашніше, що ми могли тоді припустити, — це обвал покриття, уламки якого могли пошкодити реактор. Однак нам було відомо, що будівельні металоконструкції покриття там найзвичайніші, а снігової навантаги у квітні не було. Тому що ж могло там обвалитися було цілком незрозуміло. І лише через кілька днів ми усвідомили сутність і справжній масштаб катастрофи.

Джерелом аварії став уран-графітовий атомний реактор РБМК-1000 (реактор великої потужності, каналний, 1000 мегават), розроблений під керівництвом академіків А. П. Александрова (науковий керівник, Інститут атомної енергії імені І. В. Курчатова), Н. А. Доллежаля (головний конструктор, Науково-дослідний і конструкторський інститут енерготехніки) та М. П. Мельникова (головний конструктор з металевих конструкцій, Центральний науково-дослідний і проектний інститут сталевих конструкцій). Творці реактора були настільки впевнені у високому рівні безпеки реакторів типу РБМК, що реакторне відділення навіть не було обладнане захисною оболонкою. Вони вважали, що в такому агрегаті ядерна ланцюгова реакція неможлива в принципі.

Однак життя, на превеликий жаль, спростувало цю впевненість (до речі, зайвий раз довівши, що все відбувається за своїми правилами, бо життя



О. В. ШИМАНОВСЬКИЙ,
генеральний директор
ТОВ «Український інститут
сталевих конструкцій
імені В. М. Шимановського»,
член-кореспондент НАН України,
лауреат Державної премії
України в галузі науки і техніки,
заслужений діяч науки і техніки
України, д. т. н., професор



В. М. ГОРДЕЄВ,
заступник генерального
директора з наукової роботи
Українського інституту
сталевих конструкцій імені
В. М. Шимановського, заслужений
діяч науки і техніки України, д. т. н.,
професор

є життя!), поневаж некерована ланцюгова реакція розпочалася в невеликій частині активної зони, що спричинило місцеве перегрівання та катастрофічне підвищення тиску в системі водяного охолодження. Вибухнули труби паливних каналів і хмара пари не тільки легко зірвала 2500-тонну кришку реактора зі своїх кріплень, а й виштовхнула її на велику висоту. В утворене жерло ринула суміш пари, уламків графітової кладки, ядерного палива. Кришка реактора впала назад в активну зону, викликавши додатковий викид радіоактивних речовин в атмосферу. З шахти реактора в центральну залу вирвалися сотні кубометрів водню. Змішавшись із повітрям, водень утворив вибухонебезпечну суміш, яка вибухнула, найімовірніше,

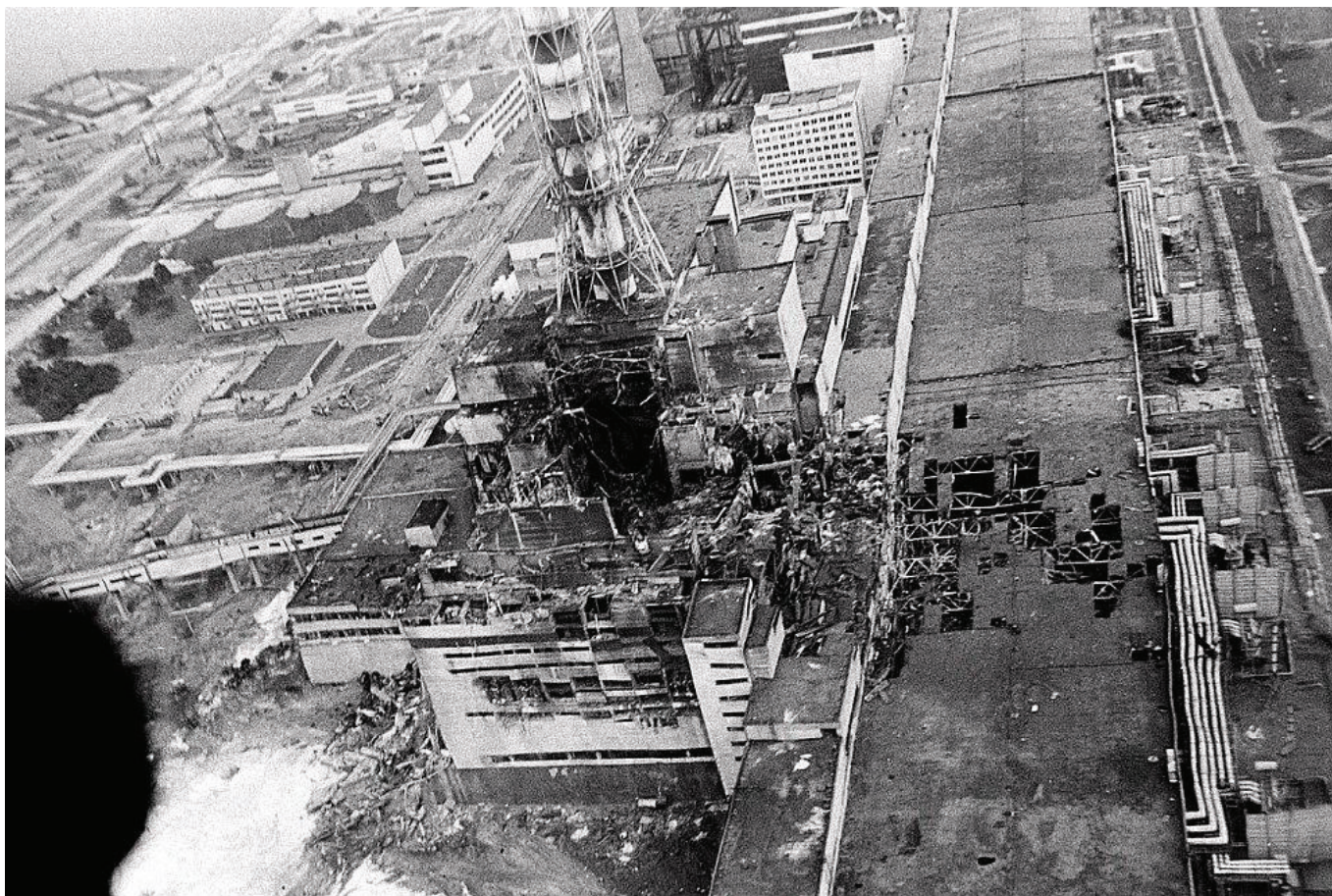


Рис. 1. Руйнування, викликані аварією 4-го енергоблока Чорнобильської АЕС (вигляд із заходу)

від випадкової іскри або від розпеченого графіту. Температура в аварійній зоні досягла 2500–2700 °С. І саме цей вибух зруйнував дах, центральну залу реакторного відділення та інші приміщення 4-го енергоблока.

Наступ на зруйнований енергоблок розпочався одразу після аварії. Проводилася дезактивація прилеглої території. Розкидані вибухом радіоактивні уламки та ґрунт із найбільш забруднених місць збиралися в контейнери. Використовувалася найрізноманітніша будівельно-дорожня техніка, зокрема виготовлена в Польщі, Фінляндії, ФРН, Японії. Місце водія захищалося свинцем, а повітря надходило через фільтри. Деякі машини були обладнані апаратурою телеспостереження. Контейнери пізніше поміщали в зруйнований енергоблок або вивозили в місця поховання — «могильники». Після попереднього очищення територію навколо енергоблока покрили шаром щебеню, піску та бетону завтовшки до 1,5 м.

Саркофаг. Поки робилися ці перші кроки, конструктори розробляли варіанти споруди, яка б відгородила зруйнований реактор від зовніш-

нього світу, яку в народі називали Саркофагом. Ніхто ще не вирішував такого складного завдання, до того ж, без достовірної інформації. Тому проектування та будівництво велося одночасно з її отриманням. Потрібно було опрацювати 18 варіантів проекту, щоб вибрати з них остаточний, запропонований Всесоюзним науково-дослідним інститутом енергетичних технологій (ВНПІЕТ). Аксонометрія остаточного варіанта конструктивної схеми Саркофага показана на рис. 2, а її план — на рис. 3. Зауважимо, що ЧАЕС орієнтована в просторі так, що літерні осі прямокутної координатної сітки йдуть точно зі сходу на захід, а цифрові — точно з півдня на північ.

Насамперед потрібно було звести бетонні стіни, що відокремлюють зону руйнувань від решти приміщень станції. З усіх цих стін найскладнішою виявилася каскадна стіна (рис. 2). Вона виконувалася уступами заввишки по 12 м. Металева опалубка уступів спроектована з великогабаритних щитів завдовжки до 54 м із спеціальною опорою. Монтажна маса таких щитів досягала 100 т. Решту огорожувальних функцій виконує

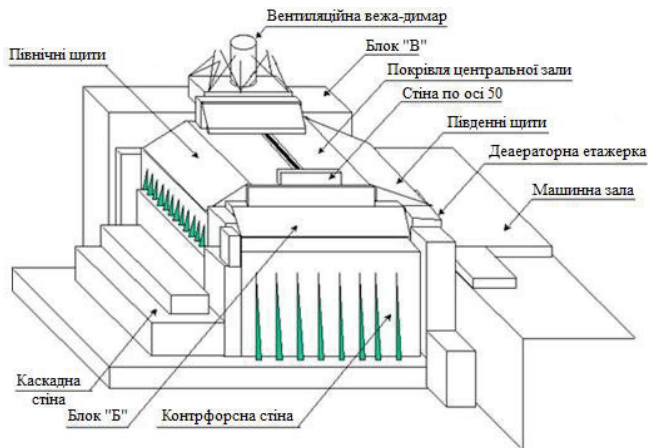


Рис. 2. Аксонометрія конструктивної схеми Саркофага

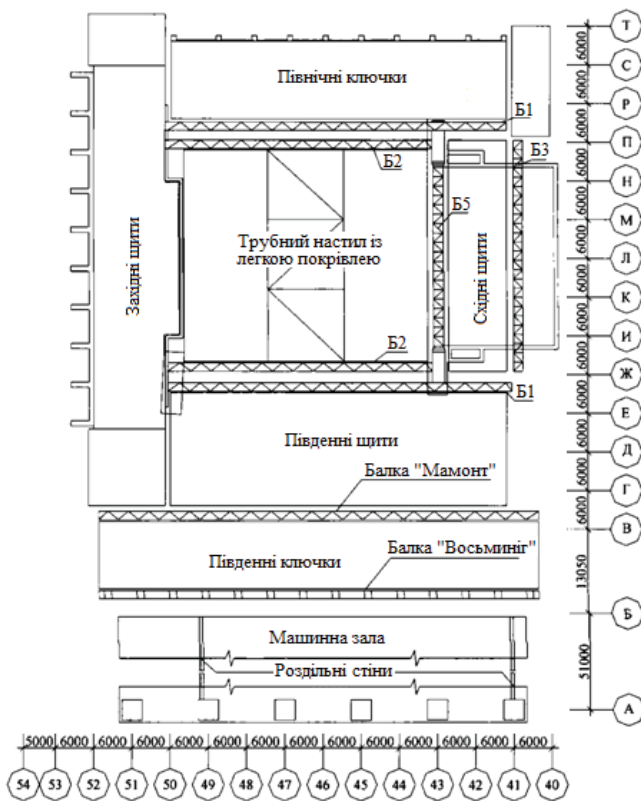


Рис. 3. План конструктивної схеми Саркофага

покриття складної геометричної форми, уявлення про яке також дає рис. 2. Далі по тексту переважно будемо користуватися наведеною на рис. 3 конструктивною схемою Саркофага.

Як вбачається з цієї схеми, основу центральної частини покриття складають балки Б2. Вони являють собою спарені металеві конструкції зі сталі 09Г2С прогоном 38,0 м, заввишки 3,4 м і масою 130 т. По балках Б2 укладено так званий трубний настил. Він складається з 27 труб завдовжки 34,5 м,

діаметром 1220 мм із стінкою завтовшки 15,2 мм. За всією довжиною труби до неї з двох боків приварені гнуті швелери 800x150x10 мм. Зауважимо, що тримальна здатність трубних елементів забезпечена зі значним запасом, оскільки вони проектувалися для сприйняття навантаги шару бетону завтовшки 600 мм.

Проте від застосування бетону в процесі будівництва відмовилися, уклавши поверх труб по прогонах легку покрівлю з профільованого настилу.

Північна та південна частини покриття мають похилі та вертикальні площини і складаються з окремих щитів. Тримальну основу цих щитів складають Г-подібні елементи, так звані «ключки». Північні опори мають прогін похилої ділянки 13 м і висоту вертикальної ділянки — 3,5 м. Вони обшиті листами завтовшки 4 мм. Ширина опор становить 3 м. Вони спираються на балки Б1 і північну контрфорсну стіну.

Південні щити, розташовані між рядами Б і В, складаються з поздовжніх і поперечних балок та настилу завтовшки 3 мм. Вони мають вертикальну стінку заввишки 12,25 м і похилу ділянку завдовжки 12,9 м. Щити мають ширину 6 м. Ці щити спираються на південну гілку балки «Мамонт» і на балку «Восьминіг». Південні щити з листовою обшивкою завтовшки 4 мм розташовані між рядами Ж — В між осями 45–50. По осі Ж вони спираються на балку Б1, а по осі В — на балку «Мамонт». Аналогічну конструкцію мають східні та західні металеві щити.

Покриття машинної зали між осями 41–49 було дуже пошкоджене. Тому прийняли рішення поверх існуючого розмістити нове покриття по фермах, що спирається на нові просторові решітчасті колони.

Проектування конструкцій Саркофага. До проектування конструкцій Саркофага було залучено багато організацій. До складу московської групи входили організації «ПромНДІпроект», «Оргтехстрой-Н», «Оргбудпроект». Для надання консультаційних послуг у процесі проектування та будівництва були запрошені фахівці з Інституту атомної енергії ім. І.В. Курчатова Академії наук СРСР, фахівці з інститутів Держбуду СРСР: Науково-дослідного інституту залізобетонних конструкцій (НДІЗБК), Центрального науково-дослідного інституту будівельних конструкцій ім. В.А. Кучеренка (ЦНДІБК), Науково-дослідного інституту основ і підземних споруд ім. Н. М. Гер-

сєванова (НДІОПС), Науково-дослідного інституту будівельних конструкцій (НДІБК) та з інших організацій.

Для проектування металокопструкцій Саркофага було залучено спеціалізовану організацію з Москви — «ЦНДІПроектсталькопструкція» та українські інститути «УкрНДІПроектсталькопструкція» (нині Український інститут сталевих копструкцій імені В.М. Шимановського) і «Дніпропроектсталькопструкція». Інститут «УкрНДІПроектсталькопструкція» у Чорнобилі представляли Михайло Кондра, Ігор Сідненко та Олександр Сєдов, а інститут «Дніпропроектсталькопструкція» — Марк Герзон, які працювали цілодобово. Саме вони втілили в металевих копструкціях ідею ВНІПІЕТ щодо копструктивної форми Саркофага.

Інститут «УкрНДІПроектсталькопструкція» розробив кресленики північних і південних копштейнів разом з обшивкою та брав участь у проектуванні інших металокопструкцій. За успішне виконання завдання з розроблення креслеників А. С. Сєдов був нагороджений Орденом Трудового Червоного Прапора. Великий внесок у проектування зробили монтажники. Їхні раціоналізаторські пропозиції одразу розглядалися і, у разі схвалення, втілювалися в життя. Проектування металевих копструкцій Саркофага тривало

один місяць. Копструкції виготовив Дніпропетровський завод металокопструкцій імені Бабушкіна за безпосередньої участі директора П. Л. Аксютєнка та головного копструктора Л. Х. Резника. За термінами виконання замовлення були перекоприті всі мислимі норми.

Копструкції Саркофага змонтували за п'ять місяців. Будівництво завершилося в листопаді 1986 р. У процесі будівництва було укладено близько 400 тисяч кубометрів бетону, змонтовано понад 7 тисяч тонн металокопструкцій, знято та переміщено 90 тисяч кубометрів ґрунту. Саркофаг набув вигляду, показаного на рис. 4.

Подальші роботи на території Чорнобильської АЕС. Будівництво Саркофага і нового покриття частини машинної зали (рис. 5) не завершило ліквідацію наслідків Чорнобильської катастрофи на території ЧАЕС. Надалі потрібно було підтримувати в безаварійному стані копструкції самого Саркофага, зокрема, його західної стіни, яка не була повністю забетонована і могла зруйнуватися. Вентиляційна вежа-димар 3-го та 4-го енергоблоків, що знаходиться в безпосередній близькості від атомного реактора, який вибухнув, була пошкоджена. Її тримальна здатність, особливо її основа, викликали сумніви, отже, незважаючи на необхідність демонтажу, з нею потрібно було щось робити.



Рис. 4. Загальний вигляд реалізованого Саркофага



Рис. 5. Загальний вигляд Чорнобильської АЕС

Передусім внаслідок планування закриття ЧАЕС треба було перейти на енергопостачання від зовнішніх джерел. Для забезпечення її теплом було прийнято рішення про будівництво промислово-опалювальної котельні (ПОК). Її вежа-димар мала бути виконана в металевих конструкціях.

Поза тим, траплялися несподівані події. Оскільки пошкоджене вибухом покриття машинної зали було замінено не повністю, його прогін між осями 50–52 у 2013 році обвалився, відкривши дуже забруднену зону всередині машинної зали. Покриття цього прогону потрібно було терміново відновлювати.

Інститут «УкрНДІпроектстальконструкція» брав участь в обстеженні та ремонті вентиляційної вежі-димаря 3-го та 4-го енергоблоків, у проектуванні та подальшому огляді вежі-димаря промислово-опалювальної котельні та у відновленні покриття машинної зали між осями 50–52.

Математичне моделювання зруйнованих конструкцій. Підготовка та реалізація подальших технічних заходів на об'єкті «Укриття» 4-го енергоблока ЧАЕС базувались на аналізі його поведінки з урахуванням можливих порушень структури внаслідок деградаційних процесів, екстремальних впливів чи змін конструкції.

На жаль, для об'єкта «Укриття» не існувало повної вихідної інформації та виконавчої документації щодо стану його тримальних елементів, а проведення натурних обстежень і прямих вимірювань у значній частині об'єкта було нереальним внаслідок радіаційних обставин та загромодження шляхів доступу. Вказане обумовило необхідність застосування для оцінки міцності, стійкості та надійності тримальних конструкцій об'єкта «Укриття» математичного моделювання.

Передбачалося послідовне виконання комплексу робіт, який включав стабілізацію найбільш послаблених тримальних конструкцій, заходи щодо зменшення наслідків можливого раптового обрушення, питання підвищення ядерної безпеки, безпеки персоналу і довкілля. Серед них вкажемо на роботи, що пов'язані зі стабілізацією та підсиленням опорних конструкцій покриття об'єкта «Укриття», вентиляційної вежі-димаря між 3-м та 4-м енергоблоками ЧАЕС, стіни по осі 50, вентиляційних шахт тощо. Внаслідок цього було вирішено отримувати вихідну інформацію шляхом математичного скінченноелементного моделювання.

Відомо декілька математичних скінченноелементних моделей (СМ), які були побудовані для розв'язання конкретних задач. Наприклад, НДІБК для розроблення рішень щодо стабілізації та підсилення опорних конструкцій південних балок Б1, Б2 була реалізована СМ частини об'єкта «Укриття»; інститутом «УкрНДІпроектстальконструкція ім. В. М. Шимановського» під час робочого проектування покриття об'єкта «Укриття» була реалізована його СМ для розроблення рішень зі стабілізації та підсилення вентиляційної труби між 3-м і 4-м енергоблоками ЧАЕС; Київським інститутом «Енергопроект» спільно з Науково-дослідним інститутом механіки швидкоплинних процесів з метою розроблення рішень зі стабілізації та підсилення стіни по осі 50 була реалізована СМ частини об'єкта «Укриття».

Складовими зазначених СМ були працездатні та частково працездатні (з урахуванням відомих даних стосовно руйнувань і пошкоджень) будівельні конструкції, розташовані між відповідними осями, рядами та рівнями, деякі фрагменти технологічного обладнання, які наразі виконують функції тримальних елементів, опорні конструкції балок Б1, Б2, деякі масиви монолітного бетону і завали зі зруйнованих конструкцій тощо. Ба більше, з максимальною можливою точністю (на час створення моделей) були відображені дані про фізико-механічні властивості матеріалів, навантаги, впливи, граничні умови та умови взаємодії конструктивних елементів, що увійшли до складу моделей.

З використанням вказаних СМ були проведені дослідження напружено-деформованого стану локальних частин об'єкта «Укриття», виконані розрахункові обґрунтування пропонованих

інженерних рішень зі стабілізації та підсилення існуючих будівельних конструкцій та розроблені технологічні підходи для їх реалізації. Окрім того аналіз результатів проведених досліджень дозволив сформулювати два методологічні висновки, перший з яких вказав на можливість отримання нових даних щодо ймовірного стану та вірогідної поведінки недоступних для прямого обстеження конструкцій і їх елементів за допомогою чисельного моделювання. А другий — дав змогу сформулювати принципи побудови та вимоги до концептуальної моделі об'єкта «Укриття», тобто моделі, яку можна було б без значних змін і доповнень застосовувати для розрахункового обґрунтування всього комплексу завершальних робіт.

Як було вказано вище, найголовніша складність проблеми об'єкта «Укриття» полягала (до речі, і зараз полягає) у суттєвій недостатності та неоднозначності існуючої вихідної інформації, зокрема даних щодо пошкоджень конструкцій. З цього серед іншого випливає, що для отримання вірогідних результатів досліджень об'єкта «Укриття» його концептуальна модель повинна повною мірою відображати післяаварійний стан 4-го енергоблока. Тому при побудуванні вказаної моделі потрібно було максимально врахувати не тільки всі дані його натурних обстежень, але й отриману після проведення чисельного моделювання руйнування об'єкта «Укриття» інформацію про стан недоступних для прямого спостереження конструкцій, тобто так звану «недостатню інформацію». Варто підкреслити, що єдиний підхід для визначення цієї інформації для об'єкта «Укриття» полягав в отриманні його дійсної структури як підсумку проходження всіх етапів руйнування та перетворення 4-го енергоблока від інформаційно достатнього вихідного стану. Реалізація цього підходу потребувала виконання таких етапів робіт:

- побудування СМ доаварійного стану 4-го енергоблока з урахуванням регламентованих технологічних процесів і експлуатаційних навантажень;
- визначення основних параметрів впливів запроектої аварії, що діяли на конструкції 4-го енергоблока, за допомогою відтворених та проаналізованих основних гіпотетичних варіантів розвитку перехідних

термомеханічних процесів протікання запроектої аварії реактора РБМК-1000;

- дослідження руйнування СМ доаварійного стану 4-го енергоблока при дії аварійних впливів за допомогою кроково-ітераційного коригування топологічної структури моделі (шляхом виключення з роботи елементів, параметри напружено-деформованого стану яких на конкретному кроці по параметру аварійного впливу перевищили нормативні граничні значення) до повної стабілізації процесу перерозподілу зусиль;
- обґрунтування адекватності реалізованої СМ досліджуваним процесам і оцінку вірогідності результатів проведених досліджень шляхом їх співставлення з відомою інформацією натурних обстежень доступних зон;
- доповнення інформації натурних обстежень доступних зон чисельними даними про стан конструкцій в недоступних зонах об'єкта «Укриття».

Зрозуміло, що відповідно до висунутих вимог концептуальна модель об'єкта «Укриття» належить до класу надвеликих СМ не тільки за кількістю невідомих бо, напевно, повинна нараховувати більш ніж 10000 вузлів і скінченних елементів (СЕ), але й за конструктивною унікальністю і топологічною нерегулярністю структури та граничними і позаграничними умовами роботи модельованого об'єкта. Реалізація цієї СМ також висуває досить високі вимоги до програмного забезпечення, з використанням якого вона має проводитись. Вказаним вимогам на той час найбільш відповідав програмно-обчислювальний комплекс SCAD, за допомогою якого вже були побудовані максимально наближені до дійсності (без обмежень на конфігурацію об'єкта, умови симетрії, необхідність фрагментації, наявність армування, типи СЕ) моделі надскладних комбінованих просторових споруд (зокрема об'єктів атомної енергетики), а також виконані їх розрахунки на реальні (без обмежень на величину і тип, напрямок прикладання та час дії) навантаги і впливи.

Відповідно до вищезазначеного в інституті «УкрНДІпроектстальконструкція ім. В.М. Шимановського» з використанням архівної документації була побудована СМ доаварійного стану 4-го енергоблока ЧАЕС (рис. 6).

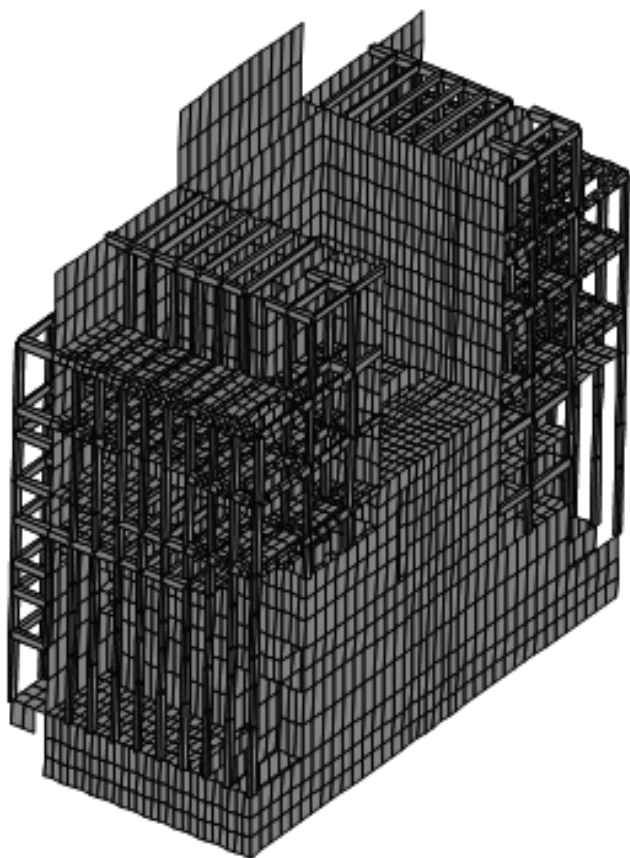
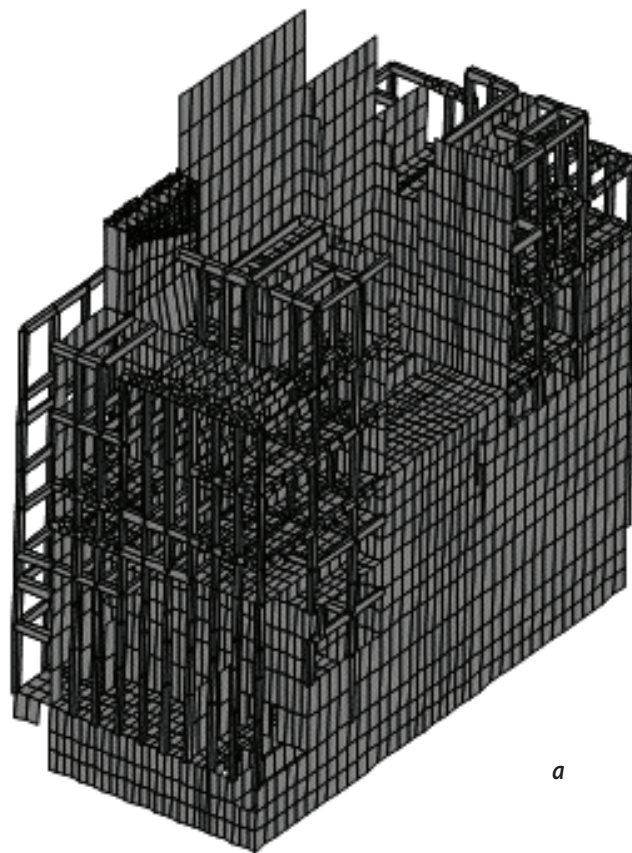


Рис. 6. Скінченноелементна модель доаварійного стану 4-го енергоблоку ЧАЕС в осях 41–51' і рядах Г-Т між рівнями від 6.0 м до 66.5 м

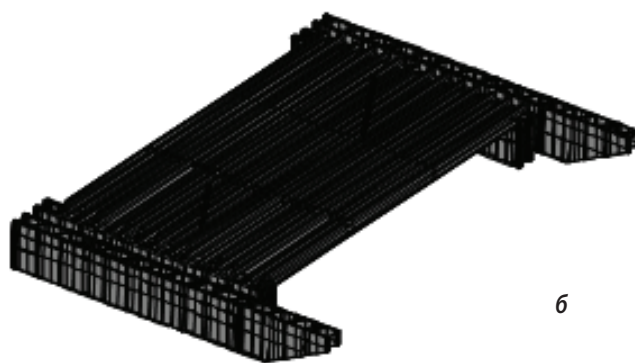
Після виконання розрахунку вказаної моделі на аварійні навантаги і впливи (визначені при моделюванні протікання запроектованої аварії реактора РБМК-1000 і задані у вигляді просторових функцій внутрішнього надлишкового тиску і температурних полів) її відкоригована топологічна структура була доповнена багатьма характерними конструктивними елементами об'єкта «Укриття». Побудована таким чином концептуальна модель об'єкта «Укриття» наведена на рис. 7 і нараховує 14762 вузла і 18324 СЕ.

На основі проведених робіт дійшли наступних висновків:

- для об'єкта «Укриття» основним засобом отримання даних щодо ймовірного стану та вірогідної поведінки недоступних для прямого обстеження конструкцій та їх елементів є методи математичного моделювання і комп'ютерного розрахунку;
- створено методику побудування чисельних моделей будівель і споруд при суттєвій недостатності і неоднозначності вихідної інформації щодо стану та пошкоджень конструкцій



а



б

Рис. 7. Концептуальна модель об'єкта «Укриття»: а — зруйнований 4-й енергоблок ЧАЕС з конструктивними елементами об'єкта «Укриття»; б — покриття центральної зали (представлено в збільшеному масштабі)

і відсутності можливості проведення натурних обстежень і прямих вимірювань внаслідок природних або техногенних чинників;

- складові методики верифіковано при моделюванні, розрахунковому обґрунтуванні і робочому проектуванні основних тримальних конструкцій покриття об'єкта «Укриття», а також вентиляційної вежі-димаря між 3-м та 4-м енергоблоками ЧАЕС;
- з використанням створеної методики побудовано концептуальну модель об'єкта «Укриття»,

яку можна застосовувати для розрахункового обґрунтування всього комплексу завершальних робіт за проектом **Shelter Implementation Plan** (SIP), насамперед — для робіт із спорудження безпечного конфайнмента;

- досвід, накопичений в інституті при моделюванні, дослідженні та проектуванні будівель і споруд, дозволяє ефективно та обґрунтовано вирішувати питання стабілізації і підсилення пошкоджених конструкцій як для промислових і цивільних об'єктів, так і для об'єктів атомної енергетики.

Обстеження та заміна вентиляційної вежі-димаря. Другою великою роботою з ліквідації наслідків Чорнобильської катастрофи було обстеження вентиляційної вежі-димаря, спільного для 3-го та 4-го енергоблоків (рис. 8).

Розташування цього димаря добре видно на рис. 4 і рис. 5. Він розташований в безпосередній близькості від атомного реактора, що вибухнув, і пошкоджений уламками конструкцій та вмісту реактора, що розлетілися. Незважаючи

на виконану дезактивацію конструкцій, рівень радіації на момент обстеження залишався високим. Ба більше, на робочих майданчиках і на елементах конструкцій можна було знайти шматки уламків тепловидільних елементів (ТВЕЛів) і радіоактивного графіту, який утворюється з графіту високої чистоти, що використовується як сповільнювач нейтронів у ядерних реакторах, внаслідок тривалого опромінення.

Основа вежі-димаря знаходилася на рівні 74,5 м, а верх — на рівні 150 м. Щоб дістатися до основи вежі-димаря, треба було пройти частину шляху всередині Саркофага, де був високий рівень радіації, а потім по драбинах піднятися до потрібного рівня. Вже саме цей шлях становив значну проблему.

Роботи з обстеження конструкцій вежі-димаря влітку 1996 року виконала бригада фахівців інституту під керівництвом М. П. Кондри. До складу бригади входили І. В. Сідненко, І. Л. Овдієнко та Г. Я. Запольський. Обстеження проводилося на майданчиках, погано очищених від радіоактивних відходів, і наші співробітники отримали значні дози опромінення. Їхнє взуття досягло такого рівня радіоактивного забруднення, що його довелося знищити.

Обстеження показало, що вибух атомного реактора не спричинив помітних вм'ятин у самому димарі та серйозних пошкоджень вежі. Було виявлено лише пошкодження кількох другорядних елементів та кількох фасонів.

Однак серйозні побоювання викликали пошкодження основи вежі-димаря, що знаходилася в безпосередній близькості від ядерного реактора, та кріплення вежі-димаря до основи. Ці побоювання були настільки великі, що 15 жовтня 1997 року Міненерго України та Міненерго США підписали «Протокол про співпрацю в рамках проекту з ремонту вентиляційної труби блоків 3/4 ЧАЕС», а потім і наряд-замовлення № 7 на ремонт її основи та кріплення. Відповідно до цього наряду-замовлення було виконано необхідні ремонтні роботи.

Вежа-димар могла б і надалі виконувати свої функції, якби не будівництво Нового безпечного конфайнмента. Вона буквально на кілька метрів не дозволяла насунути конфайнмент у проектне положення. Тому було вирішено побудувати поруч нову вентиляційну вежу-димар, а стару, що заважає насунанню, демонтувати (рис. 9).



Рис. 8. Вентиляційна вежа-димар 3-го і 4-го енергоблоків Чорнобильської АЕС (знімок зроблений у 1996 р. під час обстеження вежі-димаря)



Рис. 9. Демонтаж вентиляційної вежі-димаря

Нову вежу-димар звели за проектом Київського науково-дослідного та проектно-конструкторського інституту «Енергопроект» (КІЕП). Водночас під час будівництва виникла низка проблем: через недостатнє врахування проектувальниками температурних деформацій у зимовий період у вузлових фасонках вежі з'явилися численні тріщини.

Методи усунення цих тріщин тривалий час обговорювалися фахівцями Інституту електрозварювання імені Є.О. Патона та Українського інституту сталевих конструкцій імені В.Н. Шимановського. У результаті обговорень було вирішено обмежитися їх заварюванням. Однак немає гарантії, що ці тріщини не виникнуть знову.

Вежа-димар промислово-опалювальної котельні. На території Чорнобильської АЕС у 90-ті роки було збудовано промислово-опалювальну котельню (ПОК), призначення якої полягало у виробництві гарячої води та пари, необхідних для роботи об'єктів із відпрацьованим ядерним паливом (ВЯП)

та радіоактивними відходами (РАВ), теплопостачанням обладнання та систем, що залишаються в експлуатації, а також для опалення технологічних та адміністративних будівель і споруд після остаточної зупинки енергоблоків. Для виведення газів, що утворюються в процесі згоряння палива, котельня мала мати вежу-димар. Технологи визначили, що він повинен мати висоту 100 м і діаметр 3,6 м. Проектування труби було доручено інституту «УкрНДІпроектстальконструкція».

Проект був успішно виконаний колективом інженерів під керівництвом головного інженера проєктів Ж.С. Страшко в 1993 році. Для підтримки димаря знадобилося спорудити решітчасту вежу (рис. 10).

Вежа була виконана за класичною схемою інституту «УкрНДІпроектстальконструкція», а саме: димар був підвішений до вежі на верхньому рівні, на проміжних рівнях розташовані тангенціальні ковзні опори, а внизу — компенсатор.



Рис. 10. Котельня ПОК і вежа-димар

Металеві конструкції були виготовлені на Маріупольському заводі металоконструкцій у 1993 році, доставлені на будівельний майданчик і лежали там шість років. І лише в 1999 році їх було змонтовано. Після монтажу в 2000 році інститутом «УкрНДІ-проектстальконструкція» було проведено огляд технічного стану металоконструкцій тримального каркаса. Дефекти, виявлені при цьому, були усунені, і вежа-димар введена в експлуатацію.

Відновлення покриття машинної зали. Ще одна неприємність сталася на Чорнобильській АЕС 12 лютого 2013 року, коли відбулось часткове руйнування покриття машинної зали енергоблока № 4 і прилеглих ділянок стіни. Обвалилася кроквяна ферма по осі 50, що знаходиться між осями А і Б (див. рис. 3) прогоном 51 м, і в покритті утворився пролом між осями 50–52 із розмірами 51×12 м, який має площу близько 600 м².

Обвал стався взимку, і викиду в атмосферу пилу та інших радіоактивних залишків, що знаходилися в машинній залі, практично не відбулося. Проте, потрібно було терміново закрити утворений пролом. Цю проблему доручили вирішити інституту КІЕП, який залучив для проектування металевих конструкцій Український інститут сталевих конструкцій імені В.М. Шимановського. Металеві конструкції були спроектовані з таким розрахунком, щоб під час монтажу мінімізувати час

перебування людей у машинній залі, де був високий радіаційний фон. Проектування виконано під керівництвом головного конструктора Б. Л. Фурмана та головного інженера проектів Р. І. Ганжі.

Конструкції являють собою єдиний блок з прикріпленими до тримальних конструкцій покрівельними металевими листами та стіновою огорожею. Його габарити в плані трохи менші за утворений пролом розміром 24×51 м.

Блок складається з двох ферм прогоном 49,0 м, об'єднаних між собою в'язями по верхніх і нижніх поясах та вертикальними діафрагмами. Відстань між фермами становить 7,0 м. До верхніх поясів блока прикріплені двоконсольні прогони, по яких змонтовано профільований оцинкований настил. Маса блока (з оснащенням) становить близько 60 т (рис. 11).

Цікавим є те, що цей блок спирався не на колони, а на підкранові балки мостового крана машинної зали на проектному рівні 23,300. Водночас точне положення підкранових балок на етапі проектування залишалося невідомим, оскільки вибух реактора деформував металеві конструкції по ряду Б. Невизначеність у розташуванні підкранових балок, які слугували опорами блока, компенсували тим, що сам блок був спроектований як геометрично змінна система. Він мав один надлишковий ступінь свободи, завдяки чому міг безперешкодно



Рис. 11. Монтаж блока покриття машинної зали

встановлюватися на опори, що не перебували в одній горизонтальній площині. У результаті блок без труднощів змонтували на зміщені вибухом підкранові балки та приварили до них. Натомість монтажники звернули увагу на «хиткість» цього блока, але їм було пояснено, що це не дефект, а задум проектувальника.

Конструкції успішно прослужили п'ять років. Тепер вони перебувають всередині Нового безпечного конфайнмента і підлягають розбиранню.

Подальша робота інституту, спрямована на ліквідацію наслідків Чорнобильської катастрофи, так чи інакше повсякчас була пов'язана з роботами щодо перетворення об'єкта «Укриття» в екологічну безпечну систему, проектуванням і будівництвом Нового безпечного конфайнмента та сховищ для відпрацьованого ядерного палива, а також подоланням пошкоджень конструкцій Нового безпечного конфайнмента Російською Федерацією під час воєнного конфлікту.

Післямова. Ця стаття присвячена діяльності Українського інституту сталевих конструкцій імені В. М. Шимановського на початковому етапі ліквідації наслідків найбільшої в світі техногенної аварії на Чорнобильській АЕС і базується на літературних джерелах [1–7] та спогадах авторів. У ній мова йде переважно про роботи, виконані інститутом на договірних засадах. Проте, цим не вичерпується діяльність інституту з чорнобильської тематики. Спеціалісти інституту активно працювали з цієї ж тематики у Міжвідомчій комісії з питань науково-технологічної безпеки при Раді національної безпеки та оборони України, у складі Посольства України в Російській Федерації, у Науково-координаційній та експертній Раді з питань ресурсу та експлуатації конструкцій, споруд та машин при Президії Національної академії наук України, у складі Групи незалежних експертів з оцінки концептуальних рішень, які пропонуються для стабілізації об'єкта «Укриття» та зведення Нового безпечного конфайнмента, а також в інших організаціях на громадських засадах.

- [1] Арошенко М. Тайны стальных конструкций. [Текст] / М. Арошенко, В. Гордеев, И. Лебедич. — Киев: «Сталь», 2004. — 304 с.
- [2] Беляев И. А. Бетон марки «Средмаш» [Текст] / И.А. Беляев. — Москва: ИздАТ, 1996. — 292 с.
- [3] Гордеев В. Н. Стальные конструкции защитных сооружений Чернобыльской атомной электростанции. [Текст] / В.Н. Гордеев, А.В. Перельмутер. — Киев: «Сталь», 2020. — 80 с.
- [4] Гордеев В. Н. Участие института имени В.Н. Шимановского в ликвидации последствий Чернобыльской катастрофы. Часть I. Объект «Укрытие». [Текст] / В.Н. Гордеев // Збірник наукових праць Українського інституту сталевих конструкцій імені В.М. Шимановського. — Київ: «Сталь», 2019. — Вип. 23. — С. 129–142.
- [5] Купный В. И. Объект «Укрытие»: вчера, сегодня, завтра. — В кн.: Объект «Укрытие» — 10 лет. Основные результаты научных исследований. — Чернобыль: МНТЦ «Укрытие», НАНУ, 1996. — С. 57–77.
- [6] Немчинов Ю. И. От Укрытия до Конфайнмента четвертого блока Чернобыльской АЭС. Строительные аспекты [Текст] / Ю.И. Немчинов, П.И. Кривошеев, М.В. Сидоренко и др. — Киев: «Логос», 2006. — 464 с.
- [7] Перельмутер А. В. Жили-были [Текст] / А.В. Перельмутер. — Киев: «Сталь», 2023. — 261 с.
- [8] Шимановський О. В. Концептуальна модель об'єкта «Укриття» / [Текст] / О.В. Шимановський, В.М. Гордеев // Будівництво України. — № 2. — 2002. — С. 14–20.

Стаття надійшла 28.05.20026 р. 

КЛІМАТИЧНЕ РАЙОНУВАННЯ ТЕРИТОРІЙ ЗА МАКСИМАЛЬНОЮ ГЛИБИНОЮ ПРОМЕРЗАННЯ ҐРУНТУ

Анотація. Обчислення ізотермів максимальної глибини промерзання ґрунту проведено за прийнятими 23-ма напрямками між початковими (1) і кінцевими (2) станціями із застосуванням трьох методик.

На базі результатів обчислень, застосовуючи ізотерми максимальних глибин промерзання ґрунту, складено карту кліматичного районування п'яти адміністративних районів Закарпатської області України та прилеглої території Румунії з визначенням шести кліматичних районів за максимальною глибиною промерзання ґрунту.

Abstract. The calculation of isotherms of the maximum depth of soil freezing was carried out according to the accepted 23 directions between the initial (1) and final (2) stations using three methods.

Based on the results of calculations, using isotherms of maximum soil freezing depths, a map of climatic zoning of five administrative districts of the Transcarpathian region, Ukraine and the adjacent territory of Romania was compiled, with the definition of six climatic regions by maximum soil freezing depth.

Ключові слова: метеостанції, перехідні станції, висотні коефіцієнти максимальної глибини промерзання ґрунту, максимальні надбавки до висот, кліматичне районування територій за ізотермами максимального промерзання ґрунту, шість кліматичних районів за максимальною глибиною промерзання ґрунту, середній коефіцієнт максимальної глибини промерзання ґрунту.

Вступ. Для обчислення ізотермів максимальних глибин промерзання ґрунту на територіях Виноградівського, Свалявського, Тячівського, Хустського, Іршавського адміністративних районів Закарпатської області України та прилеглої території Румунії використані дані шести базових метеостанцій за 136-річними (1889–2025 рр.) спостереженнями, які подані в таблиці 1.

Аналіз останніх досліджень. За максимальною глибиною промерзання ґрунту попередньо досліджено території областей: Закарпатської [2, 6, 13], Івано-Франківської [8], Чернівецької [5], Львівської [11] та прилеглих територій Польщі, Словаччини, Угорщини, Румунії, а також клімат Ужгорода [1]. Взяті до уваги рекомендації закордонних вчених [7, 8, 10], а також використані вітчизняні норми [3, 9] і географічна карта Закарпатської області [4].

Таблиця 1

Результати досліджень за максимальними глибинами промерзання ґрунту на 6-ти базових метеостанціях Закарпатської області за 136-річними спостереженнями (1889–2025 рр.)

Назва метеостанції	Максимальна глибина промерзання ґрунту, см	Висота метеостанцій над рівнем Балтійського моря, м	Рік і місяць спостережень
Берегово	65,0	113,0	02.1954 р.
Хуст	58,0	166,0	02.1954 р.
Рахів	62,0	438,0	02.1954 р.
Плай	97,9	1330,0	02.1954 р.
Великий Березний	64,0	209,0	02.1979 р.
Ужгород	63,0	114,6	02.1964 р.

Основна мета: детально дослідити максимальну глибину промерзання ґрунту за трьома методиками в п'яти адміністративних районах



Я. С. Гук,
доцент кафедри міського будівництва і господарства Ужгородського національного університету, к. т. н., член національної спілки архітекторів України



І. П. Радиш,
доцент кафедри геодезії і землеустрою Ужгородського національного університету, к. т. н.



І. Ф. Найбауер,
інженер І-ї категорії Ужгородського національного університету



Е. Й. Новак,
науковий співробітник Ужгородського національного університету

Закарпатської області України та в прилеглій до них території Румунії.

Постановка мети і задач дослідження. У прийнятій першій методиці досліджень висотних коефіцієнтів максимальних глибин промерзання ґрунту між початковою (1) і кінцевою (2) станціями напрямку 1–2, (всього напрямків 23), взято до уваги:

а) початкову станцію напрямку (1) вибрано в найнижчих точках, що розташовані в долинах рік Тиса, Іршава, Ріка, Тересва, Боржава, Бистра, Дусинка, Боркут, Ярок, Пиня, Бойлова;

б) кінцеву станцію (2) напрямку 1–2 вибрано у вищих за висотою точках (у гірській місцевості).

Базовими параметрами, що використані у формулах для обчислень, є: H_1 , H_2 — висоти над рівнем Балтійського моря початкової (1) і кінцевої (2) станцій напрямку 1–2, м; $h_{пр.1}$, $h_{пр.2}$ — максимальні глибини промерзання ґрунту на початковій (1) і кінцевій (2) станціях напрямку 1–2, см;

У другій методиці — максимальні надбавки до висот над рівнем Балтійського моря і до глибин промерзання ґрунту на досліджуваній станції X (в населених пунктах регіону) використані: L_{1-2} — відстань між початковою (1) і кінцевою (2) станціями напрямку 1–2, км; L_{1-X} — відстань між початковою (1) і досліджуваною станцією X, км.

Обчислення проведені за наступними формулами.

Максимальна надбавка, $H_{нд.X}$, см, до висоти досліджуваної станції X:

$$H_{нд.X} = \frac{(H_2 - H_1) \cdot L_{1-X}}{L_{1-2}}. \quad (1)$$

Максимальна висота, H_X , м, досліджуваної станції X:

$$H_X = H_1 + H_{нд.X}, \quad (2)$$

де H_X — максимальна висота досліджуваної станції в населених пунктах регіону.

Висотний коефіцієнт, $K_{пр.1-2}$, см/м, максимальної глибини промерзання ґрунту між станціями (1–2):

$$K_{пр.1-2} = \frac{h_{пр.2} - h_{пр.1}}{H_2 - H_1}. \quad (3)$$

Максимальна надбавка, $h_{нд.пр.X}$, см, до максимальної глибини промерзання ґрунту на досліджуваній станції X:

$$h_{нд.пр.X} = H_{нд.X} \cdot K_{пр.1-2}. \quad (4)$$

Максимальна глибина промерзання ґрунту, $h_{пр.X}$, см, на досліджуваній станції X:

$$h_{пр.X} = h_{нд.пр.X} + h_{пр.1}, \quad (5)$$

де $h_{пр.X}$ — максимальна глибина промерзання ґрунту на ст.X (а населених пунктах регіону).

Для обчислення максимальних глибин промерзання ґрунту на вершинах Карпат і гір Румунії на 8-ми напрямках визначено значення висотних коефіцієнтів між 8-ма метеостанціями (початковою станцією (1) і кінцевою станцією Плай (2)) напрямку 1–2. Результати обчислень подані в таблиці 2.

Таблиця 2

Результати обчислення висотних коефіцієнтів максимальної глибини промерзання ґрунту на 8-ми напрямках (1–2) між 8-ма початковими метеостанціями (1) і м/с Плай (2) для дослідження максимального значення промерзання ґрунту

Назва напрямків між початковою (1) і кінцевою (2) станціями, їх висоти над рівнем Балтійського моря, Нст.1, Нст.2, м	Максимальна глибина промерзання ґрунту на метеостанціях, $h_{пр.ст.1}$, $h_{пр.ст.2}$, см	Висотний коефіцієнт максимальної глибини промерзання ґрунту напрямку 1–2, $K_{пр.1-2}$, см/м (ф-ла 3)
Нижні Ворота — 500 м ÷ Плай — 1330 м	73,0 97,9	0,03
Хуст — 166 м ÷ Плай — 1330 м	58,0 97,9	0,034278
Ужгород — 114,6 м ÷ Плай — 1330 м	63,0 97,9	0,028714
Великий Березний — 209 м ÷ Плай — 1330 м	64,0 97,9	0,03024
Нижній Студений — 615 м ÷ Плай — 1330 м	59,0 97,9	0,054405
Берегово — 113 м ÷ Плай — 1330 м	65,0 97,9	0,027033
Рахів — 438 м ÷ Плай — 1330 м	62,0 97,9	0,040246
Між гір'я — 456 м ÷ Плай — 1330 м	54,0 97,9	0,050228
	$h_{пр.,сеп.} = 62,25$	$K_{пр.1-2,сеп.} = 0,03689$

Для гарантійних обчислень максимальних глибин промерзання ґрунту на вершинах Карпат і гір Румунії із таблиці 2 обраний напрямок Нижній Студений — 615 м ÷ Плай — 1330 м, де висотний коефіцієнт промерзання найбільший, що дорівнює:

$$K_{пр.1-2} = 0,054405 \text{ см/м}. \quad (6)$$

Загальна формула обчислення максимальної глибини промерзання ґрунту на вершинах має вигляд:

$$h_{пр.верш.} = (H_{верш.} - 615) \cdot 0,054405 + 59, \quad (7)$$

де $H_{\text{верш.}}$ — висота над рівнем Балтійського моря досліджуваної вершини, м; 615 — висота над рівнем Балтійського моря метеостанції Нижній Студений, м; 59 — максимальна глибина промерзання ґрунту на станції Нижній Студений, см.

Результати досліджень.

Досліджені параметри для 23-х напрямків між початковою (1) і кінцевою (2) станціями напрямку 1–2. У таблиці 3 наведено 23 напрямки між початковими (1) і кінцевими (2) станціями напрямків 1–2, окремо вказано розташування початкових (1) станцій в долинах рік: Тиса, Іршава, Ріка, Тересва, Боржава, Бистра, Дусинка, Боркут, Ярок, Пиня, Бойлова. Наведені відстані між початковою (1) і кінцевою (2) станціями напрямку 1–2, L_{1-2} , км, максимальні глибини промерзання ґрунту на ст. 1, 2, $h_{\text{пр.1,2}}$, см, висотні коефіцієнти максимальної глибини

промерзання ґрунту для кожного із 23 напрямків 1–2, $K_{\text{пр.1-2}}$, см/м, їх середні значення.

Досліджування параметрів для п'яти адміністративних районів Закарпатської області України та прилеглої території Румунії. У таблицях 4–9 подані висоти станцій H_1 , H_2 , м, напрямку 1–2, назву рік, в долинах яких розміщені ст. 1, обчислені максимальні надбавки $HX_{\text{над.}}$, м, до висот і $hX_{\text{над.}}$, см, до максимальних глибин промерзання ґрунту на ст. X (в населених пунктах регіону), відстані між ст. 1–2, L_{1-2} , км, між ст. 1–X, L_{1-X} , км, висотні коефіцієнти максимальних глибин промерзання ґрунту між ст. 1–2, $K_{\text{пр.1-2}}$, см/м, для обчислень максимальних глибин промерзання ґрунту на територіях адміністративних районів: Виноградівського (табл. 4), Свалявського (табл. 5), Тячівського (табл. 6), Хустського (табл. 7), Іршавського (табл. 8) та прилеглої території до Закарпатської області України території Румунії (табл. 9).

Таблиця 3

Аналіз застосованих 23-х напрямків 1–2 між початковою (1) і кінцевою (2) станціями для обчислення максимальних глибин промерзання ґрунту і максимальних надбавок до висот над рівнем Балтійського моря, а також до максимальних глибин промерзання ґрунту на досліджуваних станціях X (в населених пунктах) в п'яти районах Закарпатської області і на прилеглої території Румунії за заданими відстанями між станціями 1–2, L_{1-2} і долинами рік, де розміщені ст. 1

Назва району Закарпатської області України та прилеглої території Румунії	Назва застосованого напрямку 1–2 з висотами над рівнем Балтійського моря, м. Долини ріки розташування станцій. Відстань між ст. 1 — ст. 2, L_{1-2} , км	Висотні коефіцієнти максимальної глибини промерзання ґрунту для напрямку 1–2, $K_{\text{пр.1-2}}$, см/м
I. Виноградівський	1. Берегово — 113 м ÷ Хуст — 166 м. Долина р. Тиса, $L_{1-2} = 60$ км 2. Берегово — 113 м ÷ г. Кук — 1364 м. Долина рік Боржава, Іршава, $L_{1-2} = 75$ км	0,13207 0,0277
II. Свалявський	1. Чинадієво — 128 м ÷ г. Плай — 1330 м. Долина р. Латориця, $L_{1-2} = 68,75$ км 2. Свалява — 467 м ÷ г. Рівна — 1473 м. Долина р. Пиня, $L_{1-2} = 36$ км 3. Свалява — 467 м ÷ г. Бужора — 1081 м. Долина р. Дусинка, $L_{1-2} = 16,25$ км	0,02826 0,0313 0,0163
III. Тячівський	1. Хуст — 166 м ÷ Рахів — 438 м. Долина р. Тиса, $L_{1-2} = 81,25$ км 2. Солотвино — 342 м ÷ г. Магура — 884 м. Долина р. Тересва, $L_{1-2} = 82,4$ км 3. Тересва — 296 м ÷ г. Прибуй — 1546 м. Долина р. Тересва, $L_{1-2} = 50$ км 4. Буштино — 239 м ÷ г. Топас — 1348 м. Долина р. Терєбля, $L_{1-2} = 42,5$ км	0,014 0,0404 0,0404 0,03868
IV. Хустський	1. Буштино — 239 м ÷ г. Топас — 1348 м. Долина р. Терєбля, $L_{1-2} = 42,5$ км 2. Сокирниця — 199,5 м ÷ г. Лак — 1134 м. Долина р. Бойлова, $L_{1-2} = 27,5$ км 3. Хуст — 166 м ÷ г. Лак — 1134 м. Долина р. Ріка, $L_{1-2} = 26,5$ км 4. Хуст — 166 м ÷ г. Скала — 1038 м. Долина р. Ріка. 5. Хуст — 166 м ÷ Рахів — 438 м. Долина р. Тиса, $L_{1-2} = 96,25$ км	0,03868 0,03055 0,0299 0,02638 0,0014
V. Іршавський	1. Берегово — 113 м ÷ г. Лак — 1364 м. Долина р. Боржава, $L_{1-2} = 75$ км 2. Берегово — 113 м ÷ г. Дахманів — 1017 м. Долина рік: Іршава, Блід, $L_{1-2} = 53$ км 3. Хуст — 166 м ÷ г. Бужора — 1081 м. Долина р. Бистра, $L_{1-2} = 58,25$ км	0,0277 0,01755 0,02977
VI. Територія Румунії.	1. Тячів — (П'ятра) — 262,5 м ÷ Солотвино — 342,3 м. Долина р. Тиса, $L_{1-2} = 28,5$ км 2. Вилок — 128,5 м ÷ г. Брад — 1091 м. Долина р. Тиса, $L_{1-2} = 56,25$ км 3. В.Паладь — 143,7 м ÷ г. Брад — 1091 м. Долина рік Тиса, Боркут, Ярок. $L_{1-2} = 50,5$ км	0,0139 0,02283 0,02527

Таблиця 4

Результати обчислення максимальних глибин промерзання ґрунту та надбавок до висот і глибини промерзання ґрунту на ст.Х (для населених пунктів) Виноградівського району Закарпатської області України

Назва напрямку 1–2. Висотний коефіцієнт максимальної глибини промерзання ґрунту на напрямку 1–2 $K_{пр.1-2}$ см/м. Долина ріки. Обчислювані параметри на ст.Х	Висота станцій H_1, H_2, H_X м	Максимальна глибина промерзання ґрунту на ст. 1, 2, $X, h_{пр.ст.1}, h_{пр.ст.2}, h_{пр.ст.X}$ см	Відстані: L_{1-2} між ст. 1–2 L_{1-X} між ст. 1 і ст.Х, км	Максимальна надбавка висот над рівнем моря на ст.Х до висоти $H_{ст.1}$ м	Надбавка максимальної глибини промерзання ґрунту на ст.Х до $h_{пр.ст.1}$ см
Напрямок: Берегово (1) — Хуст (2) Долина ріки Тиса $K_{пр.1-2} = -0,13207$	113 166	65 58	60		
Вилок	128,46	62,96	$\frac{60}{17,5}$	15,46	-2,04
Пейтерфолво, Тисобикень	135,52	62,02	$\frac{60}{25,5}$	22,52	-2,97
Велика Паладь, Нове Клинове, Ботар, Фортефолмаш	143,25	61	$\frac{60}{34,25}$	30,25	-3,99
Оклі Гель, Дюла, Чорнотисово, Гетиня, Чепя, Затисівка, Холмовець, Сасово	147,89	60,39	$\frac{60}{41}$	34,89	-4,6
Теково, Гудя	151,86	59,86	$\frac{60}{44,16}$	38,86	-5,13
Королево, Веряця	157	59,16	$\frac{60}{53,5}$	44,16	-5,83
Напрямок: Берегово (1) — Хуст (2) Долина ріки Тиса. $K_{пр.1-2} = -0,13207$	113 166	65 58	48,75		
Нове Село, Карачин, Перехрестя, Пушкіно	136	61,31	$\frac{48,75}{21,5}$	23,37	-3,08
Виноградів, Фанчиково, Тросник, Руська Долина, Матієво, Підвиноградів	142,31	61,12	$\frac{48,75}{27}$	29,35	-3,08
Букове, Мала Копаня, Велика Копаня	160,83	58,68	$\frac{48,75}{44}$	47,83	-6,31
Широке, Вертеп (Хуст), Заболоття (Іршава)	163,1	58,3	$\frac{48,75}{47,5}$	50,01	-6,6
Напрямок: Берегово (1) — г. Кук (2) Долина рік Іршава, Боржава. $K_{пр.1-2} = -0,0277$	113 1364	65 99,7	75		
Шаланки	405	73,08	$\frac{75}{17,5}$	292	8,08
Великі Ком'яти, Онік	521,7	76,32	$\frac{75}{24,5}$	408,7	11,32
Боржавське	580	77,9	$\frac{75}{28}$	467	12,9

Таблиця 5

Результати обчислення максимальних глибин промерзання ґрунту та надбавок до висот і глибин промерзання ґрунту на ст.Х (для населених пунктів) Свалявського району Закарпатської області України

Назва напрямку 1–2. Висотний коефіцієнт максимальної глибини промерзання ґрунту на напрямку 1–2 $K_{пр.1-2'}$ см/м. Долина ріки. Обчислювані параметри на ст.Х	Висота станцій $H_1, H_2, H_{X'}$ м	Максимальна глибина промерзання ґрунту на ст. 1, 2, $X, h_{пр.ст.1'}, h_{пр.ст.2'}, h_{пр.ст.X'}$ см	Відстані: L_{1-2} між ст. 1–2 L_{1-X} між ст. 1 і ст.Х, км	Максимальна надбавка висот над рівнем моря на ст.Х до висоти $H_{ст.1'}$ м	Надбавка максимальної глибини промерзання ґрунту на ст.Х до $h_{пр.ст.1'}$ см
Напрямок: Чинадієво (1) — Плай (2) Долина ріки Латориця. $K_{пр.1-2} = 0,02820$	128 1330	65 97,9	68,75		
Свалява	467,03	74,32	$\frac{53}{15}$	345,03	9,32
Ганьковиця	644,95	79,35	$\frac{53}{22,5}$	531	14,35
Напрямок: Свалява (1) — г. Рівна (2) Долина ріки Пиня $K_{пр.1-2} = 0,0313$	467 1479	74,32	36		
Голубине	572,44	77,61	$\frac{36}{3,75}$	105,41	3,29
Солочин	637,6	79,81	$\frac{36}{6,25}$	175,6	5,49
Поляна	712,9	82,09	$\frac{36}{8,75}$	245,9	7,69
Плоске, Павлово	888,6	87,22	$\frac{36}{15}$	421	12,9
Рудникова Гута	1063,8	92,58	$\frac{36}{21,5}$	596,8	18,26
Родникове	993,6	90,43	$\frac{36}{18,25}$	526,6	16,11
Напрямок: Свалява (1) — г. Бужора (2) Долина ріки Дусинка $K_{пр.1-2} = 0,0163$	467,03 1081	74,32 84,35	16,25		
Дусино	812,38	79,84	$\frac{16,25}{9}$	345,35	5,12
Мала Мартинка, Тибава	608,7	76,6	$\frac{16,25}{3,75}$	141,68	2,30
Керецьки, Березово	1128	85,09	$\frac{16,25}{16,1}$	661,2	10,77

Таблиця 6

Результати обчислення максимальних глибин промерзання ґрунту та надбавок до висот і глибин промерзання ґрунту на ст.Х (для населених пунктів) Тячівського району Закарпатської області України

Назва напрямку 1–2. Висотний коефіцієнт максимальної глибини промерзання ґрунту на напрямку 1–2 $K_{пр.1-2}$, см/м. Долина ріки. Обчислювані параметри на ст.Х	Висота станцій H_1, H_2, H_X , м	Максимальна глибина промерзання ґрунту на ст. 1, 2, $X, h_{пр.ст.1}, h_{пр.ст.2}, h_{пр.ст.X}$, см	Відстань: L_{1-2} між ст. 1–2, L_{1-X} між ст. 1 і ст.Х, км	Максимальна надбавка висот над рівнем моря на ст.Х до висоти $H_{ст.1}$, м	Надбавка максимальної глибини промерзання ґрунту на ст.Х до $h_{пр.ст.1}$, см
Напрямок: Хуст (1) — Рахів (2) Долина ріки Тиса. $K_{пр.1-2} = 0,014$	166 438	58 62	81,25		
Буштино	233,16	58,94	$\frac{81,25}{20}$	67,16	0,94
Тячів	262,5	59,35	$\frac{81,25}{28,75}$	96,54	1,35
Тересва	296	59,82	$\frac{81,25}{38,75}$	130,12	1,82
Солотвино	342,3	60,46	$\frac{81,25}{52,5}$	176,29	2,46
Напрямок: Солотвино (1) — г. Магура (2) Долина рік Тиса, Тересва $K_{пр.1-2} = 0,0404$	342,3 884	6,46 82,4	82,4		
Подішор, Нижня Апша	566	69,56	$\frac{82,4}{9,8}$	224,45	9,06
Топчино, Пещера	660,82	73,37	$\frac{82,4}{12,5}$	318,8	12,87
Напрямок: Тересва (1) — г. Прибуй (2) Долина ріки Тересва. $K_{пр.1-2} = 0,0404$	216 1546	59,82 109,65	50		
Біловарці, Крива	317,1	63,9	$\frac{50}{3,8}$	101,1	4,08
Добрянське	415,5	67,87	$\frac{50}{7,5}$	199,5	8,09
Терново, Вишуватий, Сасово	482	70,56	$\frac{50}{10}$	266	10,74
Новоселиця, Підплеша, Ганичі	582	74,6	$\frac{50}{13,75}$	365	14,74
Нересниця, Вільхівці	748	81,31	$\frac{50}{50}$	532	21,49
Широкий Луг, Тисолово	854	85,66	$\frac{50}{24}$	638	25,79
Пригідь, Фонтеняси	1014	92,1	$\frac{50}{24}$	798	32,23
Калини, Нижній Дубовець	814,5	84,07	$\frac{50}{22,5}$	598,5	24,17
Дубове, Верхній Дубовець	849,08	85,44	$\frac{50}{23,8}$	633,08	25,57
Красна	1048	93,50	$\frac{50}{31,3}$	832,58	33,63

Продовження таблиці 6

Назва напрямку 1–2. Висотний коефіцієнт максимальної глибини промерзання ґрунту на напрямку 1–2 $K_{\text{пр.1–2}}$ см/м. Долина ріки. Обчислювані параметри на ст.Х	Висота станцій H_1, H_2, H_X м	Максимальна глибина промерзання ґрунту на ст. 1, 2, $X, h_{\text{пр.ст.1}}, h_{\text{пр.ст.2}}, h_{\text{пр.ст.Х}}$ см	Відстань: L_{1-2} між ст. 1–2, L_{1-X} між ст. 1 і ст.Х, км	Максимальна надбавка висот над рівнем моря на ст.Х до висоти $H_{\text{ст.1}}$ м	Надбавка максимальної глибини промерзання ґрунту на ст.Х до $h_{\text{пр.ст.1}}$ см
Усть-Чорна	1314,6	104,25	$\frac{50}{41,3}$	1098,6	44,38
Лопухово, Німецька Мокра, Руська Мокра	1466,2	110,4	$\frac{50}{47}$	1250,2	50,50
Напрямок: Буштино (1) — г. Топас (2) Долина ріки Теремля. $K_{\text{пр.1–2}} = 0,03868$	233,16 1548	58,94 109,8	42,5		
Руське Поле, Вонігово, Нове Барове, Лази	418,78	66,11	$\frac{42,5}{6}$	185,62	7,17
Теремля	511,59	69,7	$\frac{42,5}{9}$	278,49	10,76
Дулово	604,4	73,3	$\frac{42,5}{12}$	371,24	14,26
Колодне, Угля, Мала Уголька, Бобове, Груники	774,56	79,88	$\frac{42,5}{17,5}$	541,4	20,94
Кричево, Чумалево	913,78	85,26	$\frac{42,5}{22}$	680,62	26,32
Велика Уголька	975,65	87,66	$\frac{42,5}{24}$	742,49	28,71

Таблиця 7

Результати обчислення максимальних глибин промерзання ґрунту та надбавок до висот і глибин промерзання ґрунту на ст.Х (для населених пунктів) Хустського району Закарпатської області України

Назва напрямку 1–2. Висотний коефіцієнт максимальної глибини промерзання ґрунту на напрямку 1–2 $K_{\text{пр.1–2}}$ см/м. Долина ріки. Обчислювані параметри на ст.Х	Висота станцій H_1, H_2, H_X м	Максимальна глибина промерзання ґрунту на ст. 1, 2, $X, h_{\text{пр.ст.1}}, h_{\text{пр.ст.2}}, h_{\text{пр.ст.Х}}$ см	Відстань: L_{1-2} між ст. 1–2, L_{1-X} між ст. 1 і ст.Х, км	Максимальна надбавка висот над рівнем моря на ст.Х до висоти $H_{\text{ст.1}}$ м	Надбавка максимальної глибини промерзання ґрунту на ст.Х до $h_{\text{пр.ст.1}}$ см
Напрямок: Буштино (1) — г. Топас (2) Долина ріки Теремля $K_{\text{пр.1–2}} = 0,03868$	233,16 1548	58,94 109,8	42,5		
Драгово, Жовтневе	739,46	83,17	$\frac{42,5}{20,25}$	626,46	24,23
Становець, Кічерели	855,47	87,65	$\frac{42,5}{24}$	742,4	28,71
Вільшани	1164,84	99,62	$\frac{42,5}{34}$	1051,84	40,68
Напрямок: Сокириця (1) — г. Лак (2) Долина ріки Бойлова $K_{\text{пр.1–2}} = 0,03055$	199,58 1134	58,47 87,02	27,5		
Данилово	369,39	63,65	$\frac{27,5}{5}$	169,8	5,18
Золотарьово	581,67	70,14	$\frac{27,5}{11,25}$	382,09	11,67

Продовження таблиці 7

Назва напрямку 1–2. Висотний коефіцієнт максимальної глибини промерзання ґрунту на напрямку 1–2 $K_{пр.1-2}$, см/м. Долина ріки. Обчислювані параметри на ст.Х	Висота станцій H_1, H_2, H_X м	Максимальна глибина промерзання ґрунту на ст. 1, 2, Х, $h_{пр.ст.1}, h_{пр.ст.2}, h_{пр.ст.Х}$ см	Відстань: L_{1-2} між ст. 1–2 L_{1-X} між ст. 1 і ст.Х, км	Максимальна надбавка висот над рівнем моря на ст.Х до висоти $H_{ст.1}$ м	Надбавка максимальної глибини промерзання ґрунту на ст.Х до $h_{пр.ст.1}$ см
Напрямок: Хуст (1) — г. Лак (2) Долина ріки Ріка $K_{пр.1-2} = 0,0299$	166 1134	58 87,02	26,5		
Нанково, Нижнє Селище	622,6	71,68	$\frac{26,5}{14,5}$	456,6	13,68
Копашнево	695,66	73,87	$\frac{26,5}{14,5}$	529,66	15,87
Лунка, Хустець	768,7	76,06	$\frac{26,5}{16,5}$	602,7	18,06
Напрямок: Хуст (1) — г. Скала (2) Долина ріки Ріка $K_{пр.1-2} = 0,02638$	166 1038	58 81,01	32,5		
Кошельово, Залом	407,5	64,37	$\frac{32,5}{9}$	241,5	6,37
Липча, Кривий	512,2	67,13	$\frac{32,5}{11,5}$	346,19	9,13
Липовець	734,24	73,0	$\frac{32,5}{19}$	568,2	14,98
Осава, Крайно	689,4	71,8	$\frac{32,5}{17,5}$	523,3	13,8
Ожовех, Тополин, Поточок	764,1	73,77	$\frac{32,5}{20}$	598	15,77
Липецька Поляна, Слоповий, Капків, Медвежий	913,7	77,72	$\frac{32,5}{25}$	747,7	19,72
Горінчево	689,3	71,8	$\frac{32,5}{17,5}$	523,3	13,80
Монастирець, Облаз	823,96	75,35	$\frac{32,5}{22}$	658	17,35
Березово, Рапідь	853,9	76,14	$\frac{32,5}{23}$	688	18,14
Нижній Бистрий, Гонцош	951	78,7	$\frac{32,5}{26,6}$	725	20,7
Широке, Підчумаль	1123	83,24	$\frac{32,5}{32}$	957	
Напрямок: Хуст (1) — Рахів (2) Долина ріки Тиса $K_{пр.1-2} = 0,0014$	166 438	58 62	96,25		
Велятино	222,5	58,03	$\frac{96,25}{9}$	25,43	0,03
Вишково, Модьорош, Шаян, Ракош	222,5	58,08	$\frac{96,25}{20}$	56,5	0,08
Яблунівка	250,8	58,12	$\frac{96,25}{30}$	84,7	0,12

Таблиця 8

Результати обчислення максимальних глибин промерзання ґрунту та надбавок до висот і глибин промерзання ґрунту на ст.Х (для населених пунктів) Іршавського району Закарпатської області України

Назва напрямку 1–2. Висотний коефіцієнт максимальної глибини промерзання ґрунту на напрямку 1–2 $K_{пр.1-2}$, см/м. Долина ріки. Обчислювані параметри на ст.Х	Висота станцій H_1, H_2, H_X , м	Максимальна глибина промерзання ґрунту на ст. 1, 2, Х, $h_{пр.ст.1}, h_{пр.ст.2}, h_{пр.ст.Х}$, см	Відстань: L_{1-2} між ст. 1–2, L_{1-X} між ст. 1 і ст.Х, км	Максимальна надбавка висот над рівнем моря на ст.Х до висоти $H_{ст.1}$, м	Надбавка максимальної глибини промерзання ґрунту на ст.Х до $h_{пр.ст.1}$, см
Напрямок: Берегово (1) — г. Кук (2) Долина ріки Боржава $K_{пр.1-2} = 0,0277$	113 1364	65 99,7	75		
Воловиця, Хмільник	477	74,91	$\frac{75}{21,5}$	358	9,91
Богаревиця, Кам'янське	563,36	77,07	$\frac{75}{27}$	450,36	12,47
Заріччя, Сільце	613	78,8	$\frac{75}{32}$	500	13,8
Мала Розтока, Велика Розтока, Дубрівка	688,5	80,94	$\frac{75}{34,5}$	575,5	15,94
Білки	746,8	82,5	$\frac{75}{36,5}$	634	17,56
Луково, Імстичево	805,2	84,17	$\frac{75}{27}$	692,2	19,17
Приборжавське	847	85,33	$\frac{75}{44}$	734	20,33
Довге	930,32	87,6	$\frac{75}{49}$	817,32	22,6
Бронька	1013,7	90	$\frac{75}{54}$	900,73	24,9
Кушниця	1073,7	91,6	$\frac{75}{57,5}$	960,7	26,6
Лисичево	1068,63	94,57	$\frac{75}{64}$	1067,5	29,5
Напрямок: Берегово (1) — г. Дахманів (2) Долина рік Іршава, Брід $K_{пр.1-2} = 0,01755$	113 1017	65 80,87	53		
Дешковиця, Ільниця	752	76,21	$\frac{53}{32,5}$	635	11,21
Загаття	880,5	78,46	$\frac{53}{45}$	767,5	13,17
Чорний Потік, Крайня Мартинка	914	79,05	$\frac{53}{47}$	801	14,05
Смологовиця	974	80,1	$\frac{53}{50,5}$	861	15,11
Климовиця, Івашковиця	999	80,6	$\frac{53}{52}$	886	15,56
Напрямок: Хуст (1) — г. Бужора (2) Долина ріки Бистра, $K_{пр.1-2} = 0,02977$	166 1081	58 84,35	58,25		
Малий Раковець, Великий Раковець	410,8	64,7	$\frac{58,25}{16,25}$	224,78	6,69
Велика Розтока, Гребля, Вільхівка	505	68,09	$\frac{58,25}{22,5}$	359	10,09
Заріччя	599	70,89	$\frac{58,25}{28,75}$	433,1	12,89
Мідяниця	633	72	$\frac{58,25}{31}$	467	14,00
Горбок, Дунковиця	693	73,7	$\frac{58,25}{35}$	527,2	15,7
Арданово	712,5	74,3	$\frac{58,25}{33,5}$	546,5	16,3
Доробратово, Негрово	745,9	75,3	$\frac{58,25}{38,5}$	579,9	17,3

Таблиця 9

Результати обчислення максимальних глибин промерзання ґрунту та надбавок до висот і глибин промерзання ґрунту на ст.Х для прилеглої до Закарпатської області України території Румунії (для населених пунктів)

Назва напрямку 1–2. Висотний коефіцієнт максимальної глибини промерзання ґрунту на напрямку 1–2 $K_{пр.1-2}$, см/м. Долина ріки. Обчислювані параметри на ст.Х	Висота станцій H_1, H_2, H_X , м	Максимальна глибина промерзання ґрунту на ст. 1, 2, $X, h_{пр.ст.1}, h_{пр.ст.2}, h_{пр.ст.X}$, см	Відстань: L_{1-2} між ст. 1–2, L_{1-X} між ст. 1 і ст.Х, км	Максимальна надбавка висот над рівнем моря на ст.Х до висоти $H_{ст.1}$, м	Надбавка максимальної глибини промерзання ґрунту на ст.Х до $h_{пр.ст.1}$, см
Напрямок: Тячів-П'ятра (1) — Солотвино (2) Долина ріки Тиса $K_{пр.1-2} = 0,0139$	262,5 342,3	59,35 60,46	28,5		
Ремець	324,67	60,21	$\frac{28,5}{6,75}$	62,17	0,66
Сапинца	370,72	60,85	$\frac{28,5}{11,75}$	108,22	1,50
Кампулуй ла Тиса	422,91	61,58	$\frac{28,5}{17,42}$	160,44	2,23
Сигет-Мармаціей	262,5	62,99	$\frac{28,5}{28}$	7,82	3,64
Напрямок: Вилок (1) — г. Брад (2) Долина ріки Тиса $K_{пр.1-2} = 0,02283$	128,45 1091	62,96 84,94	56,25		
Шірлеу, Батари	556,25	72,22	$\frac{56,25}{25,0}$	427,8	9,76
Турц-Бай Канарзан	663,2	75,16	$\frac{56,25}{31,25}$	534,75	12,2
Напрямок: Велика Паладь (1) — г. Брад (2) Долина рік Тиса, Боркут, Ярок $K_{пр.1-2} = 0,02527$	143,75 1091	61 84,94	50,5		
Чідряг	246	63,60	$\frac{50,5}{5,5}$	103,16	2,60
Бабешть	332,82	65,77	$\frac{50,5}{10,08}$	143,75	4,77
Герца-Маре	520,4	70,51	$\frac{50,5}{20,08}$	376,64	9,51
Тир Шолц	707,9	75,25	$\frac{50,5}{30,08}$	564,2	14,25
Мойшень Гута Чертезе	780,9	77,09	$\frac{50,5}{35,08}$	637,1	16,09

Дослідження максимальних глибин промерзання ґрунту на вершинах Карпат і висотах гір Румунії.
Результати обчислення максимальних глибин промерзання ґрунту за методикою висотних коефіцієнтів з використанням найбільш високих показників цього коефіцієнта на напрямку м/с Нижній Студений — 615м (1) ÷ м/с Плай — 1330 м (2), $K_{пр.1-2} = 0,054504$ м/см і формули 7:

$$h_{пр.верш.} = (H_{верш.} - 615) \cdot 0,054405 + 59, \quad (7)$$

для гірських районів Закарпатської області і прилеглої території Румунії наведені в таблиці 10.

Таблиця 10

Результати обчислення максимальних глибин промерзання ґрунту за методикою висотних коефіцієнтів для вершин гірських районів Закарпатської області та гір прилеглої території Румунії (формула 7)

№ з/п	Назва вершин, без назви (б/н) вершини	Висота вершин над рівнем Балтійського моря, м	Максимальна глибина промерзання ґрунту, см
Тячівський район			
1.	Б/н	1441	103,93
2.	Б/н	1310	96,81
3.	г. Берть	1668	116,28
4.	Б/н	1691	117,53
5.	Б/н	1403	101,87
6.	г. Стримба	1719	119,17
7.	г. Прибуй	1546	109,73
8.	Б/н	1630	114,21
9.	г. Велика	1478	105,94
10.	г. окра	1225	92,58
11.	Б/н	1424	102,84
12.	г. Натундур	1443	104,04
13.	Б/н	1447	104,26
14.	Б/н	1542	109,7
15.	г. Підпула	1630	114,21
16.	г. Унг. ряска	1707	118,4
17.	г. Темпа	1634	114,43
18.	г. Уг. рська	1294	95,53
19.	Б/н	1563	110,57
20.	г. Братківська	1788	122,81
21.	Б/н	1704	118,40
22.	Б/н	1302	96,37
23.	г. Тропа	1494	106,81
24.	г. Іванів Звор	1068	83,64
25.	г. Климова	1492	106,8
26.	г. Топас	1548	109,75
27.	г. Манчул	1501	107,19
28.	г. Курпень	1406	102,03
29.	г. Полонинка-Гора	1047	82,5
30.	Б/н	1550	110
31.	Б/н	1498	107
32.	г. Стог.	1285	96
33.	г. Довг. яска	1761	127
34.	Б/н	1110	86
35.	Б/н	1499	107
36.	г. Кінець Горг. ну	1580	111
37.	Б/н	1881	128
38.	Б/н	1092	85
39.	Б/н	1032	82
40.	г. Рункул	812	70
41.	Б/н	1187	90

№ з/п	Назва вершин, без назви (б/н) вершини	Висота вершин над рівнем Балтійського моря, м	Максимальна глибина промерзання ґрунту, см
42.	Б/н	1190	90
43.	Б/н	1312	97
44.	г. Опецька	1512	108
45.	Б/н	1004	80
46.	г. Попада	1740	120
47.	Б/н	1076	84
48.	Б/н	802	70
Свалявський район			
49.	Б/н	997	79,7
50.	г. Пог. р	792	69
51.	г. Жлобки	815	70
52.	г. Щавина	856	72
53.	г. Кичера, Россішка	977	79
54.	г. Дунавка	1018	80,92
55.	Б/н	1088	84,83
56.	г. Стій	1677	116
57.	г. Великий Верх	1052	83
Хустський район			
58.	Б/н	880	73,41
59.	г. Ясенівка	1004	80,16
60.	г. Товста	819	70,09
61.	г. Противень	885	73,68
62.	г. Лак	1134	87,23
63.	г. Скала	1038	82
Іршавський район			
64.	г. Бистра	1002	80
65.	г. Кук	1361	99,58
66.	г. Водиця	1027	81,41
67.	г. Тис	835	70,96
68.	г. Малий Клобук	568	70
69.	г. Тупий	835	70,96
70.	г. Бужора	1081	84,35
71.	г. Дахманів	1017	80,87
Прилегла територія Румунії			
72.	г. Гостра	577	73,2
73.	г. Вар-Хедь	589	73,47
74.	Б/н	639	74,61
75.	Б/н	538	72,31
76.	г. Брад	1091	82,38
77.	Б/н	942	68,79
78.	Б/н	948	68,87
79.	Б/н	612	64,2

За спостереженнями на 9-ти метеостанціях Закарпатської області на різних висотах над рівнем Балтійського моря зафіксовані за 136 років (1889 — 2025 рр.) неоднакові глибини промерзання ґрунту, на які впливають: висота снігового покриву, розміщення станцій в різних кліматичних гірських районах.

Середній висотний коефіцієнт максимальної глибини промерзання ґрунту для 8-ми напрямків між 8-ма метеостанціями (1) і м/с Плай (2) обчислений і наведений в таблиці 2:

$$K_{\text{пр.1-2, ср.}} = 0,03689 \text{ см/м.}$$

Дослідження висот умовних станцій (1) за заданими ізотермами максимального промерзання ґрунту на умовних напрямках 1–2. За найвищу та кінцеву (2) станцію в оновлених умовних напрямках прийнята м/с Плай. Із формули (3) знаходять висоти умовних початкових станцій (1) за оновленою формулою:

$$H_{1, \text{Хдосл}} = \frac{h_{\text{Хдосл}} - [h_{\text{пр.Плай}} - (H_{\text{Плай}} \cdot 0,03624)]}{0,03689}, \quad (8)$$

або, підставивши значення параметрів м/с Плай і $K_{\text{пр.1-2, ср.}} = 0,03689 \text{ см/м}$, отримують знайдені обчисленнями висоти умовної ст. 1

$$H_{1, \text{Хдосл}} = \frac{h_{\text{Хдосл}} - 49,694}{0,03689}. \quad (9)$$

Підставляючи у формулу (9) замість $h_{\text{Хдосл}}$ досліджувані максимальні глибини промерзання ґрунту: 60, 70, 80, 90, 100, 110, 120 см, знаходять обчислені висоти над рівнем Балтійського моря умовних початкових станцій (1) на умовних напрямках 1–2 з використанням середнього висотного коефіцієнта на 8-ми напрямках між початковими метеостанціями (1) і м/с Плай (2) за заданими максимальними глибинами промерзання ґрунту. Результати обчислень наведені в таблиці 11.

Таблиця 11
Результати обчислення висот умовних початкових станцій (1) на умовних напрямках 1–2 з використанням параметрів кінцевої станції (2) м/с Плай і середнього висотного коефіцієнта максимальної глибини промерзання ґрунту, обчисленого за 8-ма напрямками (табл. 2)

Задані максимальні глибини промерзання ґрунту, $h_{\text{пр. X}}$, см	Результати знайдених обчисленнями висот над рівнем Балтійського моря умовної станції (1), м
60	279
70	550
80	821
90	1093
100	1364
110	1635
120	1906
125,7	2061 (г. Говерла)

Графіки залежності максимальних глибин промерзання ґрунту від висот станцій над рівнем Балтійського моря. На базі таблиць 4–11 побудовані графіки залежності максимальних глибин промерзання ґрунту (ізотермів глибин промерзання) від висот станцій спостережень на територіях адміністративних районів Закарпатської області, а також — прилеглої території Румунії (табл. 9, рис. 6) і вершин Карпат і гір Румунії (див. табл. 4–10, рис. 1–7). За заданими ізотермами максимальних глибин промерзання ґрунту: 60, 70, 80, 90, 100, 110, 120, 125,7 (г. Говерла) і формулою 9 знайдені відповідні максимальні висоти умовної ст. 1 (табл. 11, рис. 8).

За результатами обчислених ізотерм максимальної глибини промерзання ґрунту виділено шість кліматичних районів, які наведені в таблиці 12.

Таблиця 12

Кліматичне районування територій п'яти адміністративних районів Закарпатської області України і прилеглої території Румунії за максимальною глибиною промерзання ґрунту

Назва кліматичного району максимальної глибини промерзання ґрунту	Межі максимальних глибин промерзання ґрунту, см	Ізотерми промерзання	
		максимальні ізотерми промерзання, см	орієнтовні висоти над рівнем Балтійського моря, м
Перший 1	58–70	60	279
Другий 2	70–80	70	550
Третій 3	80–90	80	821
Четвертий 4	90–100	90	1093
П'ятий 5	100–110	100	1364
Шостий 6	110–120	110	1635

Висновок. 1. Наведені дві методики визначення максимальної глибини промерзання ґрунту є точними і дають можливість обчислити даний параметр в будь-якій точці даного регіону, для якої відома висота над рівнем Балтійського моря. Обчислені висоти за третьою методикою менш точні, їх можна застосувати тільки для орієнтовного дослідження.

2. Дані параметри використовують при будівництві будівель і споруд, прокладанні інженерних мереж та інших наукових дослідженнях.

3. Запропоновані методики визначення максимальних глибин промерзання ґрунту рекомендується враховувати при коригуванні державних будівельних норм.

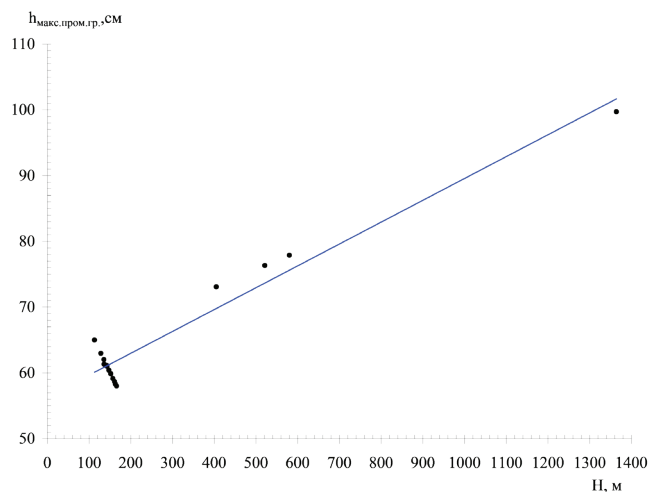


Рис. 1. Графік залежності максимальних глибин промерзання ґрунту від максимальних висот станцій спостережень на території Виноградівського району Закарпатської області

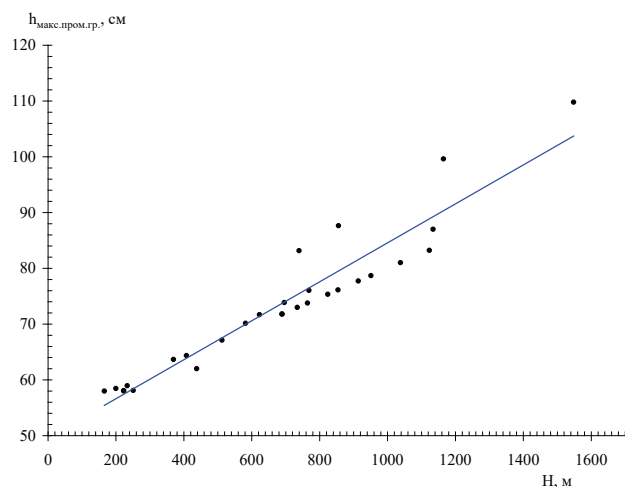


Рис. 4. Графік залежності максимальних глибин промерзання ґрунту від максимальних висот станцій спостережень на території Хустського району Закарпатської області

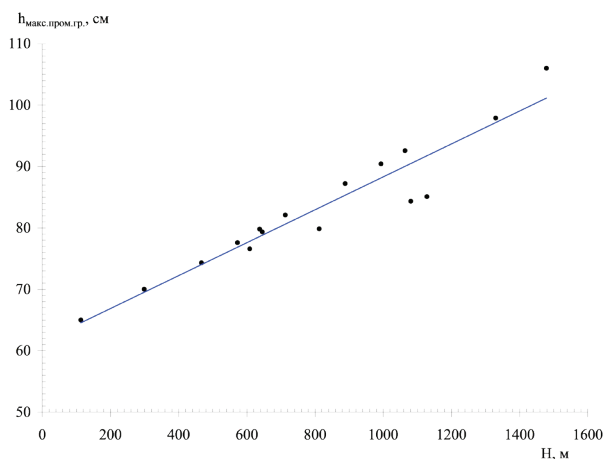


Рис. 2. Графік залежності максимальних глибин промерзання ґрунту від максимальних висот станцій спостережень на території Свалявського району Закарпатської області

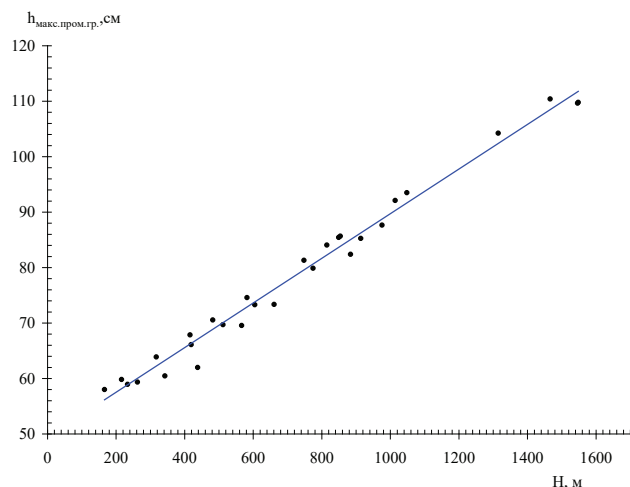


Рис. 5. Графік залежності максимальних глибин промерзання ґрунту від максимальних висот станцій спостережень на території Іршавського району Закарпатської області: синя лінія — напрямок Берегово — г. Кук, червона лінія — напрямки Берегово — г. Дахманів і Хуст — г. Бужора

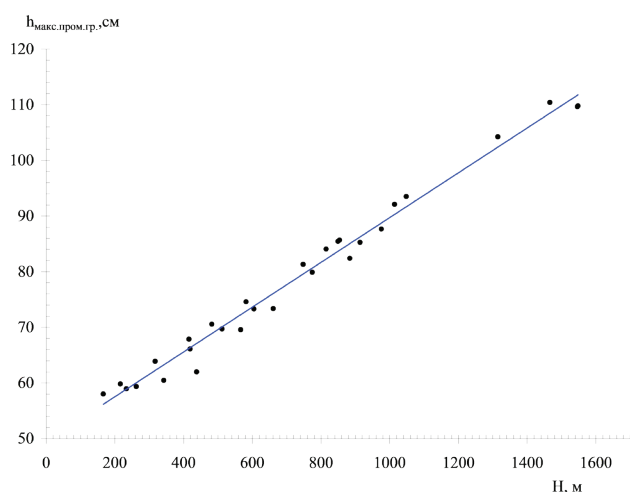


Рис. 3. Графік залежності максимальних глибин промерзання ґрунту від максимальних висот станцій спостережень на території Тячівського району Закарпатської області

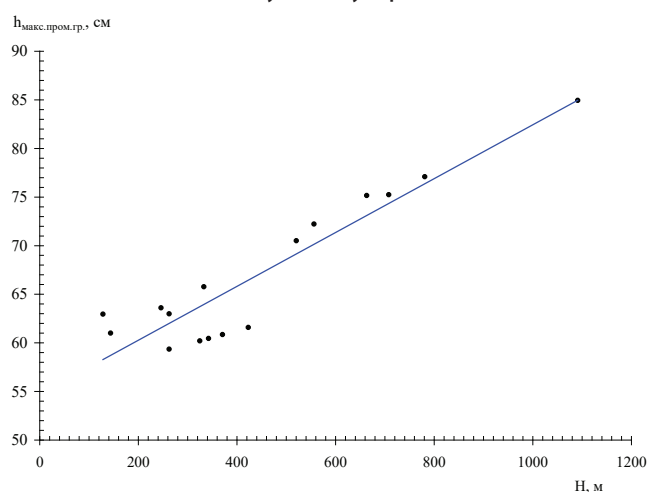


Рис. 6. Графік залежності максимальних глибин промерзання ґрунту від максимальних висот станцій спостережень для прилеглої до Закарпатської області України території Румунії

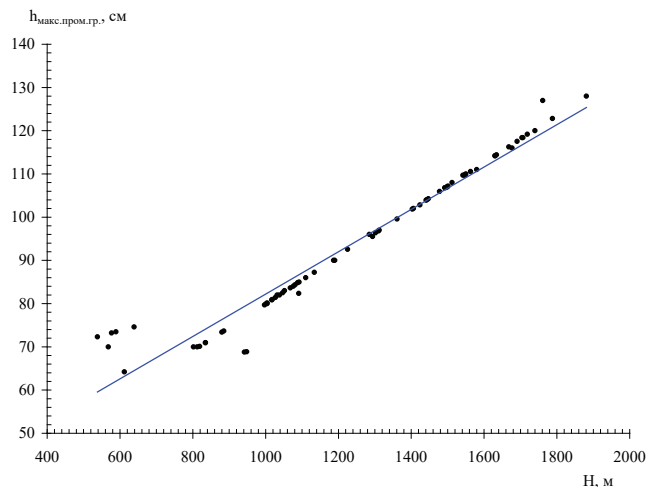


Рис. 7. Графік залежності максимальних глибин промерзання ґрунту від максимальних висот станцій спостережень для гірських районів Закарпатської області, вершин Карпат і гір Румунії

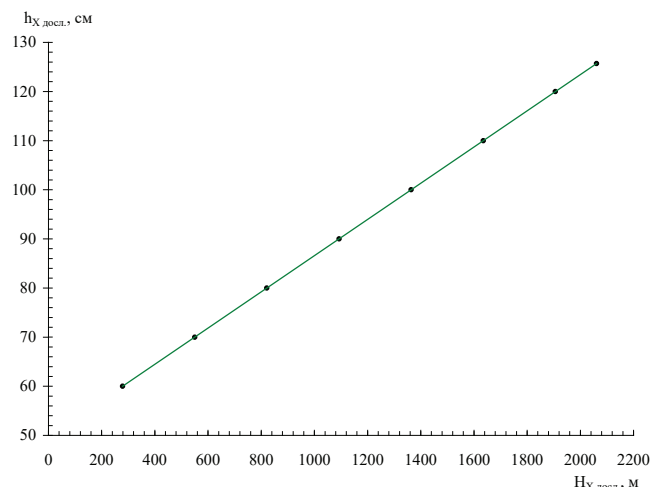


Рис. 8. Графік залежності заданих ізоTERM промерзання ґрунту, $h_{X, \text{досл.}}$, від знайдених відповідних максимальних висот над рівнем Балтійського моря умовних станцій $H_{X, \text{досл.}}$, обчислених за формулою (9)

- [1] Бабиченко В. Н. Климат Ужгорода [текст] / В.Н. Бабиченко — Л.: Гидрометеиздат, 1991.— 190с.
- [2] Кінаш Р. І. Районування території Закарпатської області за максимальною глибиною ґрунту / Р.І. Кінаш, Я.С. Гук — Збірник наукових праць "Ресурсоекономні матеріали, конструкції, будівлі та споруди".— Рівне.— 2011.— С. 651–655.
- [3] ДСТУ НБ В.1.1–21:2010 «Захист від небезпечних геологічних процесів, шкідливих експлуатаційних впливів, від пожежі. Будівельна кліматологія. Будівельний стандарт України».— К.: 2010.— 55 с.
- [4] Закарпатська область. Загальногеографічна карта м-б 1:250 000 / — К.: АГП.— 2006.— 1 лист.
- [5] Гук Я. С. Дослідження максимальної глибини промерзання ґрунту для території Українських Карпат в межах Чернівецької області / Я.С. Гук — Збірник наукових праць Українського інституту сталених конструкцій ім.В.М.Шимановського.— Київ.— Вип.16.— 2015.— С. 31–40.
- [6] Гук Я. С. Методика районування території Закарпатської області за максимальною глибиною промерзання ґрунту / Я.С. Гук.— Збірник наукових праць Потавського національного технічного університету. Серія: Галузеве машинобудування, будівництво.— Полтава.— Випуск 2 (44).— 2015.— С. 42–51.
- [7] Pichugin S. F. Probabilistic Analysis on Wind Load and Reliability of Structures / S.F. Pichugin // Proc. of the 2 EACWE. Vol. 2.— Genova, Italy, 1997.— P. 1883–1890.
- [8] Гук Я. С. Районування території Карпат за максимальною глибиною промерзання ґрунту в межах Івано-Франківської області / Гук Я. С., Кінаш Р. І.— Київ.— Будівництво України. № 4.— 2017.— С. 36–42.
- [9] ДСТУ НБ В.1.1–27:2010 «Будівельна кліматологія».
- [9] Del Corso R. Analysis of exceptional Snow load values for long term observation series in Snow Engineering / del Corso R.— Davos: Proceedings of the fifth international conference on Snow engineering.— 2005.— P. 25–27.
- [10] Гук Я. С. Методика обчислення максимальної глибини промерзання ґрунту і середньої висоти снігового покриву в гірських районах львівської області та на прилеглий території Польщі за спрощеними формулами / Гук Я. С., Томашко М. М., Васирина В. І.— Збірник наукових праць "Ресурсоекономні матеріали, конструкції, будівлі та споруди".— Рівне.— Випуск 36.— 2018.— С. 218–227.
- [11] Гук Я. С. Порівняння абсолютного максимуму температури зовнішнього повітря в Карпатах і Татрах / Гук Я. С., Найбауер І. Ф., Новак Е. Й.— Збірник наукових праць Українського інституту сталених конструкцій.— Київ.— Випуск 4.— 2023.— С. 32–45.
- [12] Гук Я. С. Районування територій Воловецького і Між гірського районів Закарпатської області України за максимальною глибиною промерзання ґрунту / Гук Я. С., Радиш І. П., Найбауер І. Ф., Новак Е. Й.— Промислове будівництво та інженерні споруди.— Київ.— 2025.— № 4.— С. 26–36.

Стаття надійшла 05.03.2026 р. 

РОЛЬ НАУКИ У СТАНОВЛЕННІ ТА РОЗВИТКУ НОРМАТИВНОЇ БАЗИ ВІТЧИЗНЯНОГО МЕТАЛОБУДІВНИЦТВА

(до 90-річчя Вадима Миколайовича Гордєєва)

У жовтні 2026 року будівельна спільнота України відзначає 90-річний ювілей відомого вченого, заступника генерального директора з наукової роботи Українського інституту сталевих конструкцій імені В. М. Шимановського, доктора технічних наук, професора, заслуженого діяча науки і техніки України, академіка-фундатора Академії будівництва України Вадима Миколайовича Гордєєва.

Фахове середовище будівельної галузі добре ознайомлене із творчим внеском В. М. Гордєєва у вирішення питань оптимізації та формування металевих будівельних конструкцій, розроблення проектів для промислових будівель і висотних споруд, автоматизації розрахунку і процесів проектування промислових сталевих конструкцій та ряду інших.

У цій статті наведені здобутки В. М. Гордєєва у підготовці державних будівельних норм і нормативних документів національної системи стандартизації, як основи новоствореної вітчизняної системи технічного регулювання у металобудівництві.

Кінець 90-х та початок 2000-х — це період із визначення необхідності створення у будівельній галузі власної вітчизняної нормативної бази шляхом поступового відходу від застосування норм і правил колишнього Радянського Союзу і одночасного впровадження сучасних нормативних документів, розроблених з урахуванням останніх досягнень науки і техніки, передового вітчизняного і міжнародного досвіду та потреб будівельного ринку України.

З метою реалізації цієї важливої справи у галузі розпочалось формування вітчизняної школи нормотворчості на базі залучення колективів провідних українських науково-дослідних, проектних та проектно-конструкторських організацій.

Одним із перших до цієї діяльності долучився Український інститут сталевих конструкцій імені В. М. Шимановського (колишній УкрНДІпроектстальконструкція), у складі якого працювали та працюють донині такі знані фахівці, як О. В. Шимановський — д. т. н., член-кореспондент НАН України, В. М. Гордєєв — д. т. н., А. В. Перельмутер — д. т. н., В. П. Корольов — д. т. н., О. І. Голоднов — д. т. н., В. К. Цихановський — д. т. н.,



В. П. Адріанов,
заступник генерального
директора ТОВ «Укрінсталькон
ім. В. М. Шимановського»,
заступник голови ТК 301
«Металобудівництво»

М. О. Микитаренко — к. т. н., М. Л. Грінберг — к. т. н., А. А. Гром — к. т. н., а також досвідчені інженери М. П. Кондра, В. Л. Гейфман, В. В. Холькін та інші.

За безпосередньою участю В. М. Гордєєва в інституті було започатковано новий вид діяльності із підготовки сучасних нормативних документів за двома основними напрямками.

Перший — підготовка на замовлення Мінрегіонбуду України проектів державних будівельних норм, що встановлюють вимоги до проектування металевих будівельних конструкцій при їх зведенні, реконструкції та ремонті, а також державних будівельних норм щодо комплексного проектування об'єктів промислового призначення та інженерно-транспортної інфраструктури.

Другий — підготовка проектів національних стандартів із виготовлення і монтажу металевих конструкцій для об'єктів будівництва.

За першим напрямком вже в 2005 році інститутом був підготовлений ДБН В.1.2-2 «Навантаження і впливи. Норми проектування», у якому встановлені положення і правила щодо застосування коефіцієнтів надійності, визначення навантаг і впливів, зокрема із визначенням ваги конструкцій та ґрунтів, навантаження від устаткування, людей, матеріалів, снігу, вітру і ожеледиці тощо.

Наступним важливим кроком у створенні нових підходів до системи проектування металевих конструкцій було розроблення під науковим керівництвом В. М. Гордєєва ДБН В.2.6:198 «Сталеві конструкції. Норми проектування» та Зміни № 1 до нього, а також ДБН В.2.6:165 «Алюмінієві конструкції. Основні положення».

До ДБН В.2.6:198 включені вимоги щодо проектування сталевих конструкцій із дотриманням основних принципів забезпечення надійності, безпеки та довговічності, наведені розрахунки елементів сталевих конструкцій при центральному розтягу і стиску, при згині на дію поздовжньої сили, опорних плит та опорних частин, листових конструкцій, вимоги до матеріалів та проектування з'єднань, додаткові вимоги до проектування елементів будівель і споруд (ферми, балки, колони, в'язі), ЛЕП антенних споруд зв'язку, гідротехнічних споруд, балок із перфорованою стінкою, а також використання нових марок сталі, виробництво яких за європейськими нормами організовано на вітчизняних металургійних комбінатах.

Державні будівельні норми із проектування алюмінієвих конструкцій для будівель і споруд у своєму складі мають вимоги до їх надійності, розрахунки за методом розрахункових граничних станів, характеристики матеріалів та з'єднань, перевірку стійкості стінок та поясних листів, розрахунок з'єднань конструкцій із алюмінієвих сплавів, а також додаткові вимоги до проектування конструкцій із алюмінію.

Важливим етапом розвитку технічного регулювання з підвищення безпеки та надійності споруд стало створення його нормативного підґрунтя шляхом підготовки колективом інституту під науковим керівництвом доктора технічних наук, професора В. М. Гордєєва ДБН В.1.2-14 «Загальні принципи забезпечення надійності та конструктивної безпеки будівель і споруд», у якому визначені класи наслідків (відповідальності), які характеризуються рівнем можливих втрат, майнових збитків, тобто рівнем можливих наслідків, пов'язаних з можливим припиненням експлуатації або втратою цілісності об'єкта. У нормі надано принципи імовірнісного розрахунку, а також орієнтовні терміни експлуатації будівель і споруд.

Участь В. М. Гордєєва у підготовці нової редакції ДБН В.2.3-26 «Мости і труби. Проектування сталевих конструкцій» сприяла створенню сучасного

нормативного документа із проектування конструкцій зі сталі для таких об'єктів транспортної інфраструктури, як залізничні і автодорожні мости та дорожні труби, пішохідні мости, прогонні будови та опори розвідних мостів.

Вадим Миколайович Гордєєв, як знаний фахівець у сфері нормування та проектування будівельних конструкцій для складних в інженерному плані будівель і споруд, на постійній основі входив до складу розробників багатьох об'єктних державних будівельних норм. У цьому переліку: ДБН В.2.2-41 «Висотні будівлі. Основні положення»; ДБН В.2.2-29 «Промислові інженерні споруди. Основи проектування»; ДБН В.2.2-42 «Споруди холодильників. Основи проектування»; ДБН В.2.2-43 «Складські будівлі. Основні положення»; ДБН В.2.2-2 «Теплиці і парники»; ДБН В.2.6-221 «Конструкції силосів сталевих з гофрованою стінкою для зерна. Основні положення»; ДБН В.2.3-27 «Тунелі. Норми проектування».

Його підхід до наукового керівництва процесами підготовки проектів нових будівельних норм є системним і ґрунтовним. Застосовуючи високий рівень математичних знань і підходів, Вадим Миколайович здатен не лише подати будь-яку описану у нормах проблему у вигляді математичної моделі, а й пояснити чому у ній з'явилась та чи інша формула, як її трактувати і на що звернути увагу.

За ініціативи В. М. Гордєєва в інституті створена робоча група з перегляду та розроблення нормативної термінології у галузі металобудівництва. У переліку питань, що розглядаються, термінологія перекладів текстів європейських нормативних документів, проблематика удосконалення галузевої термінологічної системи з урахуванням тривалої русифікації інженерного простору і заміни її на сучасну українську.

Протягом останніх років до досвідченої команди інституту із підготовки нових нормативних документів під керівництвом В. М. Гордєєва долучилась нова група ініціативних інженерів у складі О. І. Кордуна, С. М. Кондри, В. В. Шалінського, В. П. Гаврилової, Я. В. Лимар.

Сучасна нормотворчість у будівництві базується на розумінні розробниками процесів входження України до Європейського економічного простору і виконання положень Законів України «Про будівельні норми» та «Про надання

будівельної продукції на ринку», яким імплементовано в нашій країні Технічний регламент № 305/204 щодо застосування параметричного методу нормування, інклюзивності будівель і споруд, збалансованого використання природних ресурсів, енергоефективності і енергозбереження, застосування інформаційних моделей із одночасним оцінюванням життєвого циклу об'єкта, технічних рішень з пожежної безпеки та збереження навколишнього середовища, а також посилянй у нормах на гармонізовані в Україні європейські і міжнародні нормативні документи на продукцію будівельного призначення.

Одночасно із підготовкою проєктів державних будівельних норм інститут залучається до створення галузевої системи стандартизації.

В. М. Гордєєв, як знаний фахівець із багаторічним досвідом співпраці з заводами із виготовлення будівельних конструкцій зі сталі та спеціалізованими монтажними організаціями, починаючи із 2005 року бере активну участь у підготовці стандартів на наступну продукцію і процеси — балки підкранові сталеві для мостових кранів (ДСТУ Б.В.2.6-73), ферми кроквяні (ДСТУ Б.В.2.6-51 та ДСТУ Б.В.2.6-74), панелі сталеві двохшарові із утеплювачем із поліуретану (ДСТУ Б.В.2.6-72), колони сталеві ступінчасті для будівель із мостовими кранами (ДСТУ Б.В.2.6-50), правила виконання проєктної і робочої документації металевих конструкцій (ДСТУ Б.А.2.4-43, ДСТУ Б.А.2.4-44) та інші.

Згідно з рішеннями Мінрегіонбуду України у 2011 році було створено Технічний комітет стандартизації № 301 «Металобудівництво», що дало можливість суттєво збільшити обсяги робіт із підготовки нових необхідних для галузі нормативних документів.

Представником ТОВ «Укрінсталькон ім. В. М. Шимановського», як колективного члена у складі ТК № 301, було призначено заступника генерального директора інституту із наукової роботи В. М. Гордєєва, під керівництвом якого у період з 2012 по 2025 роки був підготовлений значний перелік нових національних стандартів, і в першу чергу таких основоположних, як ДСТУ Б.В.2.6-199 «Конструкції сталеві будівельні. Вимоги до виготовлення»; ДСТУ Б.В.2.6-200 «Конструкції металеві будівельні. Вимоги до монтажу»; ДСТУ Б.В.2.6-210 «Оцінка технічного стану сталевих будівельних кон-

струкцій, що експлуатуються»; ДСТУ Б.В.2.6-193 «Захист металевих конструкцій від корозії»; ДСТУ 9054 «Конструкції автодорожніх мостів, що експлуатуються» та низки інших НД.

Вадим Миколайович Гордєєв постійно перебуває у пошуку вирішення кола інженерних питань у галузі металобудівництва. Так, проєктна спільнота галузі в очікуванні прийняття підготовленого за його безпосередньої участі нового стандарту — Настанови з оцінювання якості будівельних сталевих конструкцій, у якій надано стандартизований набір показників із визначення якості конструктивних рішень запроєктованих будівельних конструкцій, що дає змогу автору проєкта, замовнику, підряднику або виготовлювачу оцінити проєкт КМ за трьома напрямками:

- незалежним оцінюванням проєкту;
- авторським оцінюванням проєкту;
- підтвердженням ефективності доопрацювання проєкту.

Положення цього стандарту можуть бути використані не тільки для оцінки якості конструктивних рішень, але і для розроблення комп'ютерної системи підтримки прийняття рішень.

У 2010 – 2013 роках відповідно до рішень Уряду України щодо забезпечення оновлення нормативної бази у галузі будівництва, адаптованої до вимог Європейського Союзу, була розпочата активна робота із гармонізації європейських нормативних документів із проєктування будівельних конструкцій (Єврокодів).

З метою єдиного методичного підходу до підготовки розробниками національних стандартів, ідентичних європейським НД, шляхом їх перекладу на українську мову, творчим тандемом відомих вчених Гордєєва В. М. та Перельмутера А. В. було підготовлено Термінологічний словник, складений на основі термінів і понять, що використовуються в Єврокодах.

У 2013 році інститутом була завершена робота із гармонізації 28 частин Єврокодів, 16 із яких підготовлені під керівництвом В. М. Гордєєва (Єврокод 1 «Дії на конструкції» — 4 частини, Єврокод 3 «Проектування сталевих конструкцій» — 8 частин, Єврокод 9 «Проектування алюмінієвих конструкцій» — 4 частини).

Особлива увага у цьому процесі приділялась підготовці національних додатків до них, у яких необхідно було додати інформацію про ті

параметри, що залишені у Єврокодах для національного вибору.

За результатами визначення і оцінювання значної кількості положень і вимог нормативно-правових актів, будівельних норм і стандартів були підготовлені, прийняті та видані окремим документом у вигляді Зміни до ДСТУ-Н Б EN національні додатки до відповідних частин Єврокодів.

Для прикладу, у національному додатку до частини 1-3 Єврокоду 3 «Додаткові правила до холодноформованих елементів і профільованих листів» були визначені коефіцієнти надійності при розрахунках за першою та другою групами граничних станів, надані значення границі текучості і тимчасового опору, визначені діапазони товщини елементів і профільних листів та коефіцієнти надійності для метвиробів, несна здатність кріпильних елементів та зварних з'єднань, а у національному додатку до частини 1-5 Єврокоду 3 «Пластинчасті конструктивні елементи» було визначено понижувальний коефіцієнт для обчислення ефективної довжини стінок із поздовжніми елементами жорсткості при визначенні несної здатності та вплив стиснутого поясу на втрату стійкості.

Імплементация в Україні Єврокодів дала змогу провідним розробникам програмного продукту для потреб будівельної галузі — «Скад-Софт» та «Ліра» розпочати роботу із підготовки програмних комплексів для розрахунку та проектування металевих конструкцій із застосуванням сучасних європейських нормативних документів, а також підготувати ряд посібників щодо застосування Єврокодів у процесі проектування конструкцій та програм для ознайомлення студентів будівельних закладів вищої освіти із передовим європейським досвідом.

Інтеграція України у Європейський економічний простір надала можливість більш об'єктивно впроваджувати сучасні інноваційні практики у будівництві шляхом гармонізації і застосування положень європейських і міжнародних стандартів.

Досвідченою командою фахівців інституту під науковим патронатом В. М. Гордєєва було реалізовано комплекс заходів із забезпечення розроблення і впровадження значної кількості європейських і міжнародних нормативних документів у галузі металобудівництва шляхом фахового їх перекладу на українську мову із використанням усталеної термінології, залучення інженерної

спільноти галузі до розгляду і обговорення текстів гармонізованих НД, методичної допомоги організаціям і підприємствам щодо впровадження передового європейського досвіду в процесі проектування, виготовлення та монтажу металевих конструкцій.

У переліку першочергових були гармонізовані основоположні європейські стандарти серії ДСТУ EN 1090 «Виконання сталевих і алюмінієвих конструкцій» (частини 1, 2, 4, 5) із загальними технічними вимогами до виготовлення конструкцій у заводських умовах та їх монтажу згідно з положеннями Технічного регламенту ЄС 305/2011.

Задля підвищення рівня конкурентоспроможності вітчизняного монтажного виробництва і усунення технічних бар'єрів у торгівлі були введені у дію наступні європейські стандарти: ДСТУ EN 1337 «Опорні частини будівельних конструкцій»; ДСТУ EN 14399 «Болтові комплекти конструкційні високоміцні для попереднього натягу» (частини 1-9); ДСТУ EN 14509 «Панелі теплоізоляційні самонесінні з двобічним металевим облицюванням»; ДСТУ EN 508-1 «Вироби покрівельні та облицювальні металеві листові. Частина 1. Сталь»; ДСТУ EN 14195 «Профілі металеві для гіпсокартонних систем»; ДСТУ EN 13031 «Проектування і будівництво теплиць промислового виробництва»; ДСТУ EN 12285 «Резервуари сталеві горизонтальні циліндричні для зберігання горючих і негорючих рідин»; ДСТУ EN 1856 «Конструкції металеві для видалення димових газів»; ДСТУ EN 14 989 «Труби димові»; ДСТУ EN 15620 «Системи складські стаціонарні сталеві» та інші стандарти.

Одним із напрямів реформування будівельної галузі наразі є впровадження цифрових технологій, зокрема і найбільш прогресивної технології будівельно-інформаційного моделювання (BIM).

Першим і важливим кроком щодо застосування BIM-технологій стало створення необхідного нормативного середовища.

Український інститут сталевих конструкцій імені В. М. Шимановського та ТК 301 є єдиними в Україні, хто здійснює підготовку, розгляд та схвалення проектів національних стандартів із BIM-технологій перед їх прийняттям.

Протягом останніх п'яти років було надано чинності більш як 30 таким стандартам, а саме були гармонізовані:

- основоположні стандарти щодо визначення понять і принципів управління інформацією за допомогою інформаційного моделювання (ДСТУ EN ISO 19650-1), управління інформацією на етапі проектування і будівництва об'єктів (ДСТУ EN ISO 19650-2), процесів із обміну інформацією (ДСТУ EN ISO 19650-4) та її захисту (ДСТУ EN ISO 19650-5);
- європейські та міжнародні стандарти із вимогами до таких елементів інформаційного моделювання, як структура інформації щодо об'єктів будівництва (ДСТУ EN ISO 12006), основи управління інформацією про будівельний об'єкт (ДСТУ ISO 22263), настанова із доставляння інформації (ДСТУ EN ISO 29481), семантичне моделювання (ДСТУ EN 17632); методи управління життєвим циклом об'єктів нерухомості (ДСТУ ISO 15686) та низка інших.

Створення нормативної бази із впровадження BIM-технологій дозволило впровадити елементи BIM у процеси проектування, спорудження та експлуатації об'єктів будівництва, а також в освітній процес у закладах вищої освіти будівельного профілю.

Залучення до створення сучасної нормативної бази у галузі проектування, виготовлення і монтажу металевих будівельних конструкцій відомих вчених О. В. Шимановського, В. М. Гордєєва, А. В. Перельмутера, а також провідних фахівців інституту із великим досвідом проектування складних в інженерному плані об'єктів заклало основи щодо створення вітчизняної школи із нормотворчості у металобудівництві.

За роки незалежності України колективом інституту було розроблено 25 чинних державних будівельних норм та більше 120 нормативних документів національної системи стандартизації. При цьому слід відзначити неоціненний

особистий внесок у цей процес заступника генерального директора інституту з наукової роботи, видатного вченого Гордєєва Вадима Миколайовича. Під його науковим керівництвом підготовлено 15 державних будівельних норм із проектування металевих конструкцій та 16 Єврокодів 1, 3 та 9 і національних додатків до них, 50 національних стандартів, пов'язаних із процесами проектування, виготовлення і монтажу будівельних металевих конструкцій, а також 20 стандартів із впровадження BIM-технологій.

Наразі перед колективом інституту постають нові виклики щодо оновлення нормативної бази, пов'язані із положенням нового законодавства у галузі будівництва, зокрема вимог Технічного регламенту ЄС 305/2011 із наступною його новою редакцією 3110/2024, впровадження в Україні другого покоління Єврокодів із одночасним переходом на проектування будівельних конструкцій виключно за європейськими нормативними документами, необхідністю розроблення нових стандартів на інноваційну продукцію, виробництво якої організовано на вітчизняних підприємствах, впровадження цифрових технологій у будівельне виробництво, а також застосування нових і нестандартних рішень при відновленні зруйнованих від агресії рашистів об'єктів.

Значну роль у виконанні цих завдань відіграють наукові школи, що функціонують в ТОВ «Український інститут сталевих конструкцій імені В. М. Шимановського». Завдяки активній участі в їх роботі таких відомих вчених, як доктор технічних наук, професор, заслужений діяч науки і техніки України Вадим Миколайович Гордєєв вирішуються найскладніші наукові та прикладні задачі, впроваджуються сучасні інноваційні практики у вітчизняне металобудівництво.

Стаття надійшла 07.07.2026 р. 

ДО 95-РІЧЧЯ ІНСТИТУТУ «УКРНДІВОДОКАНАЛПРОЄКТ»

У липні 2026 року Український державний науково-дослідний і проектно-вишукувальний інститут «УКРНДІВОДОКАНАЛПРОЄКТ» відзначав свій 95-річний ювілей. Це шлях завдовжки майже у століття, упродовж якого ідеї перетворювалися на унікальні інженерні рішення та об'єкти.

Історія Інституту розпочалася в 1931 році, коли для вирішення невідкладних завдань із водопостачання та водовідведення рішенням Уряду УРСР було створено проектні ланки будівельного тресту «Водоканалбуд». Ключовою серед них стала Київська проектна контора. На її базі у 1934 році створили Київське відділення, яке після серії реорганізацій 9 грудня 1959 року набуло статусу Українського державного інституту «Укрводоканалпроект».

Новий етап діяльності Інституту розпочався у 1963 році з підпорядкуванням об'єднанню «Союзводоканалпроект». Ставши однією із провідних організацій з проектування систем водопостачання, водовідведення та промислових гідротехнічних споруд в СРСР Інститут спрямував свої зусилля на міжреспубліканські проекти — зокрема, з будівництва систем зовнішнього водопостачання та водовідведення, промислових гідротехнічних об'єктів хімічного та нафтохімічного профілю. Тоді ж було отримано статус територіальної спеціалізованої установи у сфері водопостачання та водовідведення. Її ключовим завданням стала безпосередня участь у розробленні схем генеральних планів для промислових вузлів та зон (сучасних технопарків) із централізованою інженерною інфраструктурою, а також об'єктів житлового і соціального призначення. Зона територіальної діяльності Інституту охоплювала 15 областей Правобережної України, Крим, міста Київ та Севастополь, а також територію Молдавської РСР. А з 1976 року ДПП «Укрндіводоканалпроект» додатково отримав повноваження щодо розгляду та погодження проектних робіт інших організацій із будівництва чи реконструкції всіх об'єктів водопостачання та водовідведення у цих регіонах.

Територіальна діяльність Інституту здійснювалася через аналітично-експертні дослідження та інформаційно-консультаційний супровід і була спрямована на:

- оптимізацію капітальних та майбутніх експлуатаційних витрат ще до початку будівництва чи реконструкції об'єктів;
- моделювання й оцінювання можливих наслідків та впливу будівництва чи реконструкції об'єктів на довкілля і здоров'я місцевого населення, а також

визначення необхідних заходів безпеки й обсягу компенсацій для мінімізації негативних наслідків.

У період діяльності з 1964 по 1991 рік Інститут розробив 181 комплексну схему для п'яти республік колишнього СРСР (зокрема 101 — для України), паралельно долучаючись до створення стратегічних екологічних програм для захисту басейну річки Дніпро. Водночас фахівці проектували хвостосховища для підприємства «Чіатурамарганець» у Грузії та для Азербайджанського ГЗК. На етапі техніко-економічного обґрунтування було виконано відповідні розробки для Афганістану (мідний рудник «Айнак») та Казахстану (Зирянівська збагачувальна фабрика цинкових руд).

Після відновлення незалежності України в 1991 році Інститут віднесли до сфери управління Держбуду України, а у 1995 році він отримав сучасну назву — Державний інститут «УКРНДІВОДОКАНАЛПРОЄКТ». Пріоритетом Інституту в Україні, як і раніше, залишилося проектування систем водопостачання та водовідведення промислових об'єктів Донбасу, Криворіжжя та Криму. За його розробками зведено понад 4000 об'єктів, які успішно функціонують як в Україні, так і за її межами.

Доробок Інституту вражає своєю масштабністю і різноманітністю реалізованих рішень для різних галузей економіки — від комплексних систем водопостачання та водовідведення населених пунктів до окремих об'єктів хімічного, нафтохімічного й металургійного профілю, а також складних гідротехнічних споруд промислового призначення.

Цей досвід втілений у створенні великих проектних комплексів і споруд регіонального значення, як і систем зовнішнього централізованого водопостачання та водовідведення населених пунктів продуктивністю до 540 тис. м³/добу в таких містах України, як Бровари, Біла Церква, Горішні Плавні, Івано-Франківськ, Кривий Ріг, Обухів, Рівне, Ужгород та в багатьох інших населених пунктах колишнього СРСР. Крім того, у доробку фахівців Інституту — проекти систем оборотного водопостачання продуктивністю понад 7 млн м³/добу для потужних хімічних підприємств «Азот» у Сіверськодоноцьку, Черкасах

і Рівному, «Навоіазот» в Узбекистані, а також для гірничо-збагачувальних комбінатів Полтавщини та Дніпропетровщини, Грузії та Азербайджану.

Характерними рисами розроблених проєктів завжди були обґрунтованість технічних рішень, їхня економічність та екологічна доцільність.

Змінювалися назви Інституту, його підпорядкованість і керівники, але незмінними залишалися високий професіоналізм, якість та визначене ще в далекому 1931 році його функціональне призначення — вирішення складних інженерно-технічних завдань у сферах промислової гідротехніки, виробничого й комунального водопостачання, водовідведення та очищення стічних вод. За 95 років діяльності в Інституті сформувалася цілісна система творчого підходу із застосуванням найновіших досягнень науки і техніки.

Особливою сторінкою в історії колективу стала участь у ліквідації наслідків катастрофи на ЧАЕС у 1986 році та в наступні періоди. Зусилля фахівців були спрямовані на проєктування й науково-технічний супровід будівництва споруд для захисту водних ресурсів від радіонуклідів, що могли потрапити у річку Прип'ять та Київське водосховище. Крім того, Інститут розробляв системи водопостачання та водовідведення вахтового селища Зелений Мис та міста Славутич.

Одним із пріоритетних напрямів науково-технічної діяльності інституту залишається комплексне проєктування об'єктів промислової гідротехніки — хвостосховищ і шламонакопичувачів для складування відходів гірничо-збагачувальних, металургійних та хімічних комбінатів, що утворюються під час фізичного й хімічного перероблення металічних і неметалічних корисних копалин, а також пов'язаних з ними споруд гідротранспорту (пульповодів та пульпонасосних станцій), допоміжних та інфраструктурних будівель та споруд.

Більшість таких об'єктів в Україні побудовано за проєктами Інституту, який спеціалізується на повному циклі проєктування для підприємств гірничо-металургійного комплексу (за винятком шахт, кар'єрів, вуглезбагачувальних фабрик, а також виробництв вогнетривів чи вапняку).

Зважаючи на вагомий внесок та наявність команди досвідчених висококваліфікованих фахівців у цій галузі, спільним наказом Мінпромполітики та Держбуду України у 1998 році Інститут було призначено головною організацією — генеральним

проєктувальником хвостових господарств гірничо-збагачувальних комбінатів України.

Замовниками проєктів Інституту є такі промислові гіганти та групи:

- «Метінвест» — Північний, Центральний, Південний та Інгuleцький ГЗК;
- «Ferrexpo» — Полтавський, Єристівський та Беланівський ГЗК;
- ПАТ «АрселорМіттал Кривий Ріг»
- Марганецький, Покровський та Східний ГЗК;
- Миколаївський глиноземний завод;
- «Об'єднана гірничо-хімічна компанія — Вільногірський та Іршанський ГМК»;

Окрім хвостосховищ, фахівці Інституту розробили проєктно-кошторисну документацію для будівництва:

- водосховищ, серед яких варто виділити Карачунівське (об'ємом 300 млн м³) для водопостачання Кривого Рогу, а також гребель на річках Рось, Чечва та Удра;
- системи водозниження ґрунтових вод на території НСК «Олімпійський» у Києві;
- полігонів та мулонакопичувачів промислових відходів для хімічних підприємств «Азот» (у Рівному, Черкасах, Сіверськодонецьку) та шинних заводів — «Росава» (Біла Церква) й «Белшина» (Бобруйськ).

Інститут активно впроваджує новітні інженерні рішення. Зокрема, для оптимізації складування відходів гірничо-збагачувальних комбінатів фахівці розробили технологію «картового намиву». Завдяки прискореній консолідації відходів збагачення безпосередньо під час гідронамиву (складування) в межах самої карти формується якісний будівельний матеріал для зведення внутрішніх гребель споруд. Метод також дозволяє організувати циклічно-потокową схему виконання робіт і за рахунок цього частково підтоплювати поверхню карт, що суттєво зменшує пилоутворення. Цю розробку вже успішно застосовано на багатьох запроєктованих Інститутом гірничо-збагачувальних комбінатах.

Проєктування споруд хвостового (шламового) господарства, систем гідротранспорту та зворотного водопостачання за найвищим класом наслідків (відповідальності) ССЗ вимагає від фахівців інституту безкомпромісного дотримання встановлених нормативних документів. Такий підхід гарантує максимальну надійність та екологічну безпеку об'єктів на всіх етапах: від проєктування і будівництва до тривалої експлуатації.

Інженерні розробки Інституту мають повний науково-технічний супровід і базуються на цифровізації виробничих процесів. Завдяки регулярному оновленню матеріально-технічної бази та переходу на сучасні спеціалізовані програмні комплекси створюється середовище для продуктивної роботи фахівців, що безпосередньо підвищує конкурентоспроможність підготовлених проєктів.

Проте ефективність технологій визначається професіоналізмом команди. Ключову роль у створенні науково-технічної документації відіграють інженери, чий досвід дозволяє трансформувати складні дані у вивірені проєктні рішення. Постійно підвищуючи свою кваліфікацію, фахівці інституту підтверджують високий рівень експертності: зокрема 11 із них уже мають сертифікати відповідності для роботи з об'єктами найвищого класу наслідків (ССЗ).

Накопичений багаторічний досвід проєктування систем водозабезпечення, водовідведення та об'єктів промислової гідротехніки (зокрема щодо поводження з відходами ГЗК) фахівці Інституту втілили під час розроблення (на замовлення Міністерства розвитку громад та територій України) державних будівельних норм, а саме: ДБН В.2.4–5:2012 «Хвостосховища і шламонакопичувачі. Частина I. Проєктування. Частина II. Будівництво»; ДБН В.2.5–74:2013 «Водопостачання. Зовнішні мережі і споруди. Основні положення проєктування»; ДБН В.2.5–75:2013 «Каналізація. Зовнішні мережі та споруди. Основні положення проєктування»; Зміна № 1 до ДБН В.2.5–64:2012 «Внутрішній водопровід та каналізація. Частина I. Проєктування. Частина II. Будівництво».

Крім того, Інститут надавав пропозиції до проєктів Водного кодексу України, Законів України «Про питну воду та питне водопостачання», «Про централізоване водопостачання та водовідведення» та до загальнодержавної програми «Питна вода України».

Сьогодення колективу позначене активною науково-практичною роботою. Зокрема, у 2025 році фахівці долучилися до підготовки першої редакції ДБН В.2.2–4:202X «Заклади дошкільної освіти» та завершили розроблення нової редакції ДБН В.2.4–5:2026 «Хвостосховища і шламонакопичувачі. Частина I. Проєктування. Частина II. Будів-

ництво». На теперішній час, як базова організація згідно з наказом Міністерства розвитку громад, територій та інфраструктури України від 26 квітня 2024 року № 360, Інститут координує науково-технічну діяльність в галузі будівництва за напрямом науково-технічне, дослідне, методичне та інформаційне забезпечення нормування проєктування та будівництва об'єктів промислової гідротехніки (хвостосховищ та шламонакопичувачів), безпеки і доступності під час експлуатації.

Статус базової організації зобов'язує Інститут забезпечувати високу якість науково-дослідних і проєктних робіт, залишаючись беззаперечним лідером у своїй галузі.

Сьогодні, в умовах повномасштабного воєнного вторгнення РФ, Інститут, як і вся країна, проходить найскладніший етап у своїй сучасній історії. Об'єктивні реалії війни — мобілізація співробітників, скорочення чисельності штату та зменшення обсягів проєктних робіт стали серйозним випробуванням для колективу. Будні Інституту нині — це поєднання професійного обов'язку та громадянської позиції. Частина наших колег захищає країну в лавах ЗСУ, і ми тримаємо з ними постійний зв'язок, надаючи підтримку. Ті ж, хто залишається на робочих місцях, працюють із подвійною відповідальністю та наполегливістю, забезпечуючи безперебійний супровід запроєктованих об'єктів та оперативно вирішуючи складні інженерні завдання.

Відзначивши своє 95-річчя, Інститут демонструє колосальну життєстійкість: попри воєнний стан, ми зберегли кадровий потенціал та впевнено виконуємо зобов'язання перед замовниками. Наразі колектив розпочав проєктування нового гірничозбагачувального комбінату на базі Балахівського родовища графітових руд та завершив науководослідну роботу щодо мінімізації наслідків блекаутів та гідроударів для об'єктів водопостачання та водовідведення КП «КРИБАСВОДОКАНАЛ». Важливою складовою роботи Інституту є залучення студентів на практику для виховання нового покоління інженерів і науковців. Інтегруючи багаторічний досвід у сучасні цифрові технології, Інститут уже сьогодні створює технічний фундамент для безпечної відбудови незалежної України.

Щиро дякуємо унікальному колективу ДІ «УКРНДІВОДОКАНАЛПРОЕКТ» за відданість справі та вітаємо з цим визначним ювілеєм. Бажаємо кожному співробітнику міцного здоров'я та мирного неба, а Інституту — подальшого процвітання й нових наукових здобутків!

*До відома дописувачів та читачів
журналу!*

Вимоги щодо оформлення статей
для публікації у нашому виданні
розміщено на веб-сайті
ТОВ «Український інститут
сталевих конструкцій
ім. В. М. Шимановського»



<http://urdisc.com.ua>

На сайті також можна знайти
усі архівні номери часопису
«Промислове будівництво
та інженерні споруди»

