



НАУКА



ТА БУДІВНИЦТВО

1[39]' 2024

Виходить чотири рази на рік

ЗАСНОВНИК

Державне підприємство «Державний науково-дослідний інститут будівельних конструкцій»

Заснований в лютому 2014 року.

Свідоцтво про державну реєстрацію
КВ № 20575-10375 Р від 24.02.2014 р.

Журнал входить до міжнародної наукометричної бази даних Copernicus з №1(15) 2018 року

<https://journals.indexcopernicus.com/search/details?id=63800&lang=pl>

Головний редактор:

Фаренюк Г.Г., д.т.н., проф., Україна

Заступник Головного редактора:

Слюсаренко Ю.І., к.т.н., с.н.с., Україна

Редакційна колегія:

Балаш Георгій, д.т.н., проф., Угорська Республіка

Бамбура А. М., д.т.н., проф., Україна

Брандль Хайнц, д.т.н., проф., Австрійська Республіка

Ванічек Іван, д.т.н., проф., Чеська Республіка

Жусупбеков А. Ж., д.т.н., проф., Республіка Казахстан

Ковров А. В., к.т.н., проф., Україна

Назаренко І. І., д.т.н., проф., Україна

Немчинов Ю. І., д.т.н., проф., Україна

Савицький М. В., д.т.н., проф., Україна

Шейніч Л. О., д.т.н., проф., Україна

Виконавчий редактор: Гах Н.Д., к.т.н., Україна

Комп'ютерна верстка: Чорна К.В., Україна

Затверджено до друку Науково-технічною радою ДП НДІБК (Протокол № 3 від 26.03.2024).

Журнал включено до переліку наукових фахових видань, в яких можуть публікуватися результати дисертаційних робіт (Затверджено наказом Міністерства освіти і науки України від 17.03.2020, №409).

При передруках посилання на «Наука та будівництво» є обов'язковим. Редакційна колегія не завжди поділяє думку авторів.

Адреса редакції: вул. Преображенська, 5/2,

м. Київ-37, 03037, тел.: + 38 (044) 249-38-04

E-mail: journal@ndibk.gov.ua,

www.journal-niisk.com

© "Наука та будівництво" 2024

Підписано до друку: 28.03.2024

Віддруковано: Товариство з обмеженою відповідальністю «Мастеркниг», 01030 м. Київ, вул. Михайла Коцюбинського, 12, тел. 044 209-24-70

Свідоцтво про реєстрацію суб'єкта видавничої справи ДК №3861 від 18.08.2010

Замовлення 138/3 від 28 березня 2024 р.

Наклад 50 примірників

ЗМІСТ

- 3 **Фаренюк Г.Г.**
Актуальні завдання галузевої науки на сучасному етапі розвитку держави
- 13 **Гах Н.Д., Лісеній О.М., Подольчук Ю.Я., Дубовик С.О., Харчун Ю.П.**
Оновлення стандартів щодо вимог до проектної документації
- 21 **Оксень Є.І., Титаренко В.А., Домбровський Я.І., Шумінський В.Д.**
Особливості оцінки технічного стану пішохідного мосту, пошкодженого в результаті військових дій
- 29 **Байда Д.М., Маєвська І.В., Попов В.О., Башинський С.І.**
Причини нерівномірних деформацій будівлі школи, яка зазнала пошкоджень внаслідок підтоплення
- 40 **Титаренко В.А., Домбровський Я.І., Шумінський В.Д.**
Застосування геосинтетичних матеріалів в гідротехнічному будівництві
- 51 **Шейніч Л.О., Пушкарьова К.К., Приймаченко А.С., Чайковський В.В.**
Оцінка відповідності міцності бетону на стиск за українськими та європейськими стандартами
- 60 **Лучко Й.Й.**
Тріщиностійкість бетонних та залізобетонних конструкцій з позицій механіки руйнування
- 72 **Башинський О.В.**
Оцінка несучої здатності сталевих балок перекриття в умовах високих температурних впливів



1(39)' 2024

Published four times a year

FOUNDER

State enterprise «State Scientific Research Institute of Building Constructions»

Founded in February 2014.

Certificate of state registration

KV № 20575-10375 R dated on 24.02.2014

The journal is included in the Index Copernicus scientific database from №1(15) 2018

<https://journals.indexcopernicus.com/search/details?id=63800&lang=pl>

Editor-in-chief:

Farenjuk G., Dr., Prof., Ukraine

Deputy editor-in-chief:

Slusarenko Yu., PhD, Ukraine

Editorial Board

Balazs G., Dr., Prof., Republic of Hungary

Bambura A., Dr., Prof., Ukraine

Brandl H., Dr., Prof., Republic of Austria

Kovrov A., PhD, Prof., Ukraine

Nazarenko I., Dr., Prof., Ukraine

Nemchynov Iu., Dr., Prof., Ukraine

Savitskyi M., Dr., Prof., Ukraine

Sheinich L., Dr., Prof., Ukraine

Vanicek I., Dr., Prof., Czech Republic

Zhussupbekov A., Dr., Prof., Republic of Kazakhstan

Executive Editor: N. Gakh, PhD, Ukraine

Computer layout: K. Chorna

Issue is approved for print by Scientific and technical Council of SE NIISK (Protocol N 3 dated on 26.03.2024)

Journal is included in List of the scientific professional issues, where the dissertation works results may be published (It is approved by order of Ministry of education and science of Ukraine dd. 17.03.2020, №409)

The referencing on «Science & Construction» is obligatory when reprinting. The Editorial Board may be not agreed with authors' opinion.

Address of Editorial Board:

5/2 Preobrazhenska str., Kyiv-37, 03037,

tel.: + 38 (044) 249-38-04

E-mail: journal@ndibk.gov.ua,

www.journal-niisk.com

© «Science & Construction», 2024

Signed for printing: 28.03.2024

Printed: Master book Limited Liability Company 12, Mykhailo Kotsyubynskyi St., Kyiv, 01030, tel. 044 209-24-70

Certificate of Publishing Business Entity Registration DK No. 3861 of 18.08.2010

Order № 138/3 from 28.03.2024

Drawing: 50 copy

CONTENT

3

Farenjuk G.

Current tasks of sectoral research at the present stage of state development

13

Gakh N., Lisenyi O., Podolchuk Yu., Dubovyk S., Kharchun Yu.

Updating standards on requirements for design documentation

21

Oksen Ye., Tytarenko V., Domdrowskii Y., Shuminskyi V.

Assessment of the technical condition of the pedestrian bridge damaged as a result of military actions

29

Baida D., Majewska I., Popov V., Bashynskyi S.

Causes of differential settlement of the damaged school building as a result of soil flooding

40

Tytarenko V., Domdrowskii Y., Shuminskyi V.

Application of geosynthetic materials in hydrotechnical construction

51

Sheinich L., Pushkarova K., Prymachenko A., Chaikovskiy V.

Conformity assessment of concrete compressive strength according to Ukrainian and European standards

60

Luchko Yo.

Crack resistance of concrete and reinforced concrete structures from the perspective of fracture mechanics

72

Bashynskyi O.

Assessment of bearing capacity of steel beam under high-temperature effect



Doi: <https://doi.org/10.33644/2313-6679-1-2024-1>

УДК 91.120.10



ФАРЕНЮК Г.Г.

Доктор технічних наук, професор, директор ДП «Державний науково-дослідний інститут будівельних конструкцій», м. Київ, Україна,
e-mail: ndibk@ndibk.gov.ua,
тел.: +38 (044) 249-72-34,
ORCID: 0000-0002-5703-3976

АКТУАЛЬНІ ЗАВДАННЯ ГАЛУЗЕВОЇ НАУКИ НА СУЧАСНОМУ ЕТАПІ РОЗВИТКУ ДЕРЖАВИ

АНОТАЦІЯ

Наведений аналіз наукових задач, актуальність яких обумовлена військовими діями російської федерації в Україні та ліквідації наслідків військових пошкоджень будівель та споруд. Житлові та громадські будівлі не проектувалися та не розраховувалися на стійкість від вибухових пристроїв, тому чисельні їх руйнування потребують проведення спеціальних досліджень. Наданий аналіз існуючих наукових робіт з оцінювання технічного стану багатоповерхових житлових будинків, пошкоджених внаслідок військових дій. Наведені напрямки досліджень, які дозволять встановлювати можливість подальшого відновлення пошкоджених будівель та споруд або приймати обґрунтовані науковими даними висновки про необхідність повного чи часткового демонтажу. Наукові дослідження мають проводитися на системному рівні, який дозволяє визначати впливи вибухових дій на структуру будівельних матеріалів та фізико-механічні характеристики конструкцій, що потребує залучення значних фінансових ресурсів. Наведений аналіз підходів до фінансування наукових досліджень та відповідного розвитку галузевої науки у розвинутих країнах світу та в Україні у довоєнний період.

Розглянуто питання стану системи будівельних норм та стандартів в умовах виконання прийнятої Україною політики максимальної адаптації національних стандартів з європейськими

та міжнародними стандартами. Відзначено необхідність повноцінного запровадження Закону України «Про надання будівельної продукції на ринку», яким імплементовано в Україні Регламент ЄС 305/2011 (Construction Products Regulation, CPR), згідно з вимогами якого успішно працюють всі учасники європейського будівельного ринку. Підкреслено, що при відбудові України правила CPR будуть визначальними для реалізації відповідних масштабних проектів, що може бути проблемним для вітчизняних будівельних компаній, які не мають практичного досвіду робіт згідно з правилами CPR. Надаються пріоритетні напрямки розвитку будівельної галузі із забезпечення інноваційного перетворення України при її повоєнній відбудові.

КЛЮЧОВІ СЛОВА: будівлі, військові дії, пошкодження, руйнація, прогресуюче обвалення, інструментальні обстеження, будівельні норми

CURRENT TASKS OF SECTORAL RESEARCH AT THE PRESENT STAGE OF STATE DEVELOPMENT

ABSTRACT

This analysis presents scientific challenges whose relevance is conditioned by the military actions of the Russian Federation in Ukraine and the mitigation of the consequences of military damage to buildings and structures. Residential and public buildings were



not designed or calculated for resistance to explosive devices, hence their numerous destructions necessitate special studies. This paper analyzes existing scientific works on assessing the technical condition of multi-storey residential buildings damaged due to military actions. It presents research directions that will allow determining the possibility of further restoration of damaged buildings and structures or making well-founded scientific conclusions about the need for complete or partial dismantling. Scientific research should be conducted at a systemic level, which allows determining the effects of explosive actions on the structure of building materials and the physical-mechanical characteristics of constructions, requiring significant financial resources.

The paper reviews approaches to funding scientific research and corresponding development of sectoral science in developed countries and in Ukraine during the pre-war period. It also addresses the state of the building codes and standards system under the conditions of implementing Ukraine's policy of maximum adaptation of national standards to European and international standards. It emphasizes the necessity of fully implementing the Law of Ukraine "On the Provision of Construction Products on the Market," which has implemented in Ukraine the EC Regulation 305/2011 (Construction Products Regulation, CPR), according to which all participants of the European construction market operate successfully. It is noted that in the reconstruction of Ukraine, CPR rules will be crucial for the implementation of corresponding large-scale projects, which may be problematic for domestic construction companies lacking practical experience working according to CPR rules. Priority directions for the development of the construction industry are provided to ensure the innovative transformation of Ukraine in its post-war reconstruction.

KEYWORDS: buildings, military actions, damage, destruction, progressive collapse, instrumental surveys, building norms

ПОСТАНОВКА ПРОБЛЕМИ

Згідно з Законом України «Про наукову і науково-технічну діяльність» [1] держава здійснює підтримку наукової і науково-технічної діяльності як джерела економічного зростання та стимулює використання досягнень вітчизняної та світової науки і техніки для задоволення соціальних та економічних потреб. Ключовим

питанням забезпечення науково-технічного прогресу будівельної галузі є рівень застосування нових інноваційних технічних рішень і конструктивних систем з одночасним забезпеченням надійності та безпеки об'єктів будівництва та вирішенні можливості продовження ресурсу існуючих будівель і споруд. Науково-технічна діяльність у будівельній галузі здійснюється у науково-дослідних інститутах та університетах і академіях будівельного профілю.

Показник наукоємності ВВП на сьогодні є однією із найважливіших характеристик інноваційності країни. Згідно з Законом [1] держава має забезпечувати бюджетне фінансування наукової і науково-технічної діяльності у розмірі не менше 1,7 відсотка валового внутрішнього продукту України. До 2025 року передбачено збільшення обсягу фінансування науки за рахунок усіх джерел до 3 відсотків валового внутрішнього продукту, що не виконувалося жодного року (табл.1).

Значення показника фінансування науки у [1] було прийнято згідно з критеріями Лісабонської стратегії Європейського Союзу, яка спрямована на підвищення його глобальної конкурентоспроможності через економічне оновлення та поліпшення в соціальній сфері й охороні довкілля і яка визначила для Європейського Союзу завдання стати у наступні десятиліття найконкурентоспроможнішою та найдинамічнішою у світі економікою, що базується на знаннях, та здатною до постійного зростання, забезпечення найкращих робочих місць та тіснішого соціального гуртування. Тому, у розвинутих країнах не тільки Європи, а й світу показ-

Таблиця 1 – Показник наукоємності ВВП України по рокам [2]

Рік	Фінансування, % ВВП	Бюджетне, % ВВП	Інші джерела, % ВВП
1991	2,44	0,29	2,15
1996	1,21	0,35	0,86
2000	1,2	0,37	0,84
2005	1,17	0,39	0,78
2010	0,82	0,34	0,48
2015	0,62	0,21	0,16
2020	0,41	0,25	0,35
2021	0,29	0,17	0,12
2022	0,36	0,26	0,10
2023 (прогноз)	0,29	0,22	0,07



ник наукоємності ВВП дорівнює або перевищує встановлені 3 % (табл.2).

Абсолютні значення фінансувань вкладень у розвиток науки в Україні становили біля 17 млрд. грн. у передвоєнні роки [2]. Для порівняння, у США витрати на науку та наукові дослідження складають понад 679 млрд. доларів на рік, у КНР – 551 млрд. доларів на рік, у ФРН – 143 млрд. доларів на рік (рис.1).

Одним із показників рівня розвитку країни є питомі витрати на науково-дослідні та дослідно-

конструкторські розробки (далі – НДДКР) на одного громадянина (рис.2). Найвищий рівень асигнувань зафіксований у Люксембурзі (661,6 €/особу), Данії (529,1 €/особу) та Німеччині (517,6€/особу), найменші мали Румунія (17,6€/особу), Болгарія (27,3 €/особу) та Латвія (49,6 €/особу). Україна за цим показником і у довоєнні роки значно поступалася всім країнам Європи.

Військова агресія російської федерації потребує перегляду пріоритетних напрямків розвитку наукової діяльності, яка має бути направлена, насамперед, на забезпечення життя, здоров'я та захисту населення.

АНАЛІЗ ОСТАННІХ ДОСЛІДЖЕНЬ І ПУБЛІКАЦІЙ

Дослідженням впливу військових дій на стан будівельних конструкцій житлових та громадських будівель присвячені роботи науковців Державного науково-дослідного інституту будівельних конструкцій (далі – ДП НДІБК). Так, у роботі [6] вперше наведені результати натурних обстежень будівель з фасадною ізоляцією зовнішніх стін при діях вибухових військових пристроїв та запропоновано і обґрунтовано необхідність введення нових показників експлуатаційної придатності, пов'язаних з оцінкою стійкості конструкцій фасадної теплоізоляції на екстремальні механічні дії.

Фізична та математична моделі утворення вибухової хвилі і її вплив на будівельні конструкції розкрито у роботі [7], яка спрямована на розробку методики експертної оцінки стану будівель та споруд вібродинамічним методом після військових пошкоджень. У статті розглянуто параметри повітряної хвилі під час вибуху, що характеризується миттєвою зміною від атмосферного тиску до пікового надлишкового тиску, що є причиною пошкодження та руйнування конструкцій будівель. Від дії ударних хвиль можуть виникнути тілесні ушкодження у людини та/або загальне руйнування конструкцій будівлі. Показано, що реакція будівлі на ударну хвилю призводить до зміни горизонтальної жорсткості будівлі при коливаннях. У статті розглянуто основні складові деформацій будівель, до яких відносяться: деформації вигину поперечних перерізів несучих конструкцій; деформації зсуву перерізів несучих конструкцій; поворот будівлі на ґрунті; переміщення (жорсткі усунення) будівлі на підставі. Показано, що внесок цих компонентів деформацій при коливаннях неоднозначний і залежить від висоти будівлі.

У статті [8] проаналізовано руй-

Таблиця 2 – Показник наукоємності ВВП розвинутих країн [3]

Країна	% від ВВП
Швеція	3,35
Бельгія	3,22
Німеччина	3,13
Фінляндія	2,99
Франція	2,21
Ізраїль	5,56
Південна Корея	4,93
Китай	3,78
США	3,46
Японія	3,3

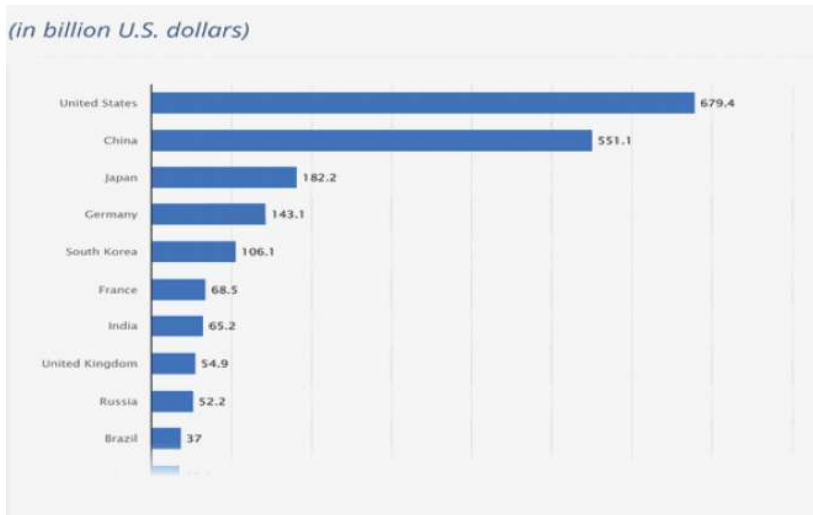


Рисунок 1 – Витрати на науку та дослідження у розвинутих країнах [4]



діями, забезпечення надійності та ефективності об'єктів будівництва при відбудові України з урахуванням наслідків військових агресій.

ВИКЛАД ОСНОВНОГО МАТЕРІАЛУ ДОСЛІДЖЕНЬ

Населення України за два роки повномасштабної війни втратило біля 158 тис. житлових будівель [15], з них біля 19 тисяч – це багатоквартирні багатоповерхові будівлі. Рівень пошкоджень є різним (рис. 3 ÷ 7), але в усіх випадках потрібно вирішувати, чи можлива подальша експлуатація будівлі або її слід демонтувати. Це питання не тільки технічне, адже воно пов'язано з соціальними та фінансовими проблемами. Громадяни втратили житло і держава має вирішувати їх проблеми: або ремонтувати та поновлювати, або надавати нове житло. У кожному випадку слід приймати оптимальне за фінансовим вкладенням та соціальними втратами рішення щодо подальшої експлуатації будівлі, особливо коли вона зруйнована частково і в уцілілій частині будівлі можливо знаходження мешканців під час відновлювальних робіт.

Безпека життя та здоров'я мешканців пошкоджених будівель залежить від обґрунтованості висновків про технічний стан конструкцій і від рівня знань експертів про зміну властивостей конструкцій при екстремальних діях на них. Чинні нормативні документи з методів оцінювання технічного стану конструкцій пошкоджених будівель, у тому числі [16, 17], як наведено у роботі [11], потребують змін та коригувань. Для внесення таких змін потрібно провести аналіз стану пошкоджених конструкцій будівель внаслідок різних видів військових впливів, здійснити систематизацію даних про пошкодження за видами об'єктів – житлові та громадські (рис. 3 ÷ 7), промислові будівлі (рис. 8), інженерні споруди,

мости (рис. 9 ÷ 10), сховища збіжжя (рис. 11 ÷ 12), гідротехнічні споруди тощо, по основним конструктивним системам цих об'єктів, конструктивним елементам, по регіонам та вражаючим факторам.

Також на підставі проведеного аналізу рівня



Рисунок 3 – Пошкодження монолітно-каркасного житлового будинку від вибуху ракети



Рисунок 4 – Пошкодження будівлі готелю від вибуху ракети



Рисунок 5 – Руїнація частини житлового цегляного будинку від вибуху ракети



та характеру навантажень при вибухах з оцінюванням рівнів ударних навантажень та рівнів сейсмовибухових впливів від вибухів у ґрунті слід переглянути сучасні методи розрахунку будівельних конструкцій, які застосовуються у вітчизняній практиці проектування. Особливу увагу слід приділяти розвитку методів оцінки надійності пошкоджених конструкцій, що зафіксовано у роботі [16], розрахунку пошкоджених конструктивних систем, у т.ч. розрахунку на прогресуюче обвалення.

Як свідчать дані [14], при оцінюванні технічного стану пошкоджених будівель слід обов'язково враховувати зміни фізико-механічних характеристик основних будівельних матеріалів, що використовуються в будівництві (сталь, бетон, цегла, утеплювачі тощо), що можливо тільки на підставі проведення спеціальних досліджень та систематизації їх результатів за видами вибухів, наявності викликаних ними пожеж тощо.

Наявність обґрунтованих критеріїв оцінювання безпеки будівель в залежності від рівня їх пошкодження дозволить здійснити розробку та тиражування оптимальних технічних рішень та створити нормативну базу з проектування та відновлення пошкоджених об'єктів. Першою роботою за цим напрямом є Методичні рекомендації з питань відбудови об'єктів цивільного, промислового, енергетичного та транспортного призначення, розроблені ДП НДІБК у 2023 р. на підставі результатів досліджень, що наведені вище (рис. 13).

Політична ситуація в Україні та Європі обумовлює необхідність надання особливої уваги до розробок конструкцій фортифікаційних споруд. Житлові та громадські будівлі не можуть бути стійкими до



Рисунок 6 – Пошкодження житлових будинків від танкових снарядів



Рисунок 7 – Руйнація частини житлового чотирьохповерхового будинку від авіаційної бомби



Рисунок 8 – Руйнація промислової будівлі від вибуху ракети



Рисунки 9 ÷ 10 – Руйнація мостової споруди внаслідок артилерійських вибухів



Рисунки 11 ÷ 12 – Руйнація споруд сховищ внаслідок ракетних вибухів



Рисунок 13 – Рекомендації ДП НДІБК

вибухів, але мають бути відповідні споруди, де мешканцям забезпечується їх безпека під час військових дій. Об'єкти критичної інфраструктури слід проектувати саме за показниками фортифікаційного захисту. Нові норми [19] регламентують критерії оцінки захисту та класифікацію захисних споруд та сховищ.

Враховуючи значні обсяги захисних споруд, яких буде потребувати Україна в найближчий період, необхідно провести детальний аналіз та обґрунтування оптимальних конструктивних схем надземних споруд із підвищеним рівнем фортифікаційного захисту в залежності від розрахункових рівнів ударних навантажень.

Виробництво захисних споруд є новим напрямком для підприємств будівельної індустрії і згідно з існуючою практикою введення нових виробів у серійне виробництво має здійснюватися відповідно до вимог нормативних документів.

На підставі проведення випробувань захисних споруд (сховищ модульного типу) різного класу у розвиток положень [19] слід розробити нормативні документи з регламентацією технічних та технологічних параметрів їх виготовлення та контролю.

Кожне влучання у будівлю та споруду призводить до утворення будівельного сміття (рис.14÷15), оціночна кількість якого за два воєнні роки складає біля 10 ÷ 12 млн. тон. Для рішення цієї екологічної проблеми необхідно визначити, наскільки існуючі в різних країнах технології ресайклінгу будівельних відходів можуть застосовуватися для будівельного сміття, яке утворилося під час руйнації будівель в результаті військових вибухів і яке має різну за розмірами і геометрією фракційність, різноманітний мінералогічний склад, частина з якого може бути токсичною внаслідок дії різних вибухових пристроїв, пожеж тощо.

Питання утилізації та можливості повторного використання будівельних відходів, що утворились внаслідок військових руйнувань, слід розглядати тільки після виконання комплексу досліджень складу конкретного об'єкту. При позитивному висновку, а саме відсутності токсичності, можливо визначати клас конструкцій, що виготовляються на основі переробленого будівельного



Рисунки 14 ÷ 15 – Утворення будівельного сміття внаслідок вибухів

сміття, встановлювати галузі їх використання, вимоги до технологічних процесів та безпеки застосування конструкцій та виробів з використанням перероблених відходів.

Відбудова України потребує перегляду архітектурної та містобудівної концепції і конструктивної методології нового будівництва повністю знищених міст, де зруйнований житловий фонд, інфраструктура та промислові підприємства. Повернення мешканців до свого житла залежить від їх забезпечення робочими місцями, а нові виробництва потребують значних фінансових вкладень, які можливі тільки при їх окупності. Тому необхідний перегляд системи планування та створення нових перспективних поселень з прив'язкою їх до природних ресурсів для організації виробництва та до існуючих систем енергопостачання.

Темпи відбудови України будуть визначатися рівнем застосування індустріальних методів у новому будівництві та при відновленні пошкоджених внаслідок військових дій будівель та споруд і реалізації принципів сталого розвитку міст та населених пунктів. Особливу роль впливу на розвиток національної будівельної індустрії має стан

новляють основні вимоги безпеки до будівель та споруд [21 ÷ 26].

В той же час, сьома основна вимога безпеки, яка встановлена у Регламенті 305/2011 CPR – сталого використання природних ресурсів, поки залишається нерозкритою у національній нормативній базі і для забезпечення застосування сучасних принципів нового будівництва необхідно розробити та прийняти відповідні будівельні норми та низку нормативних документів з визначення та оцінювання технічних рішень будівель і споруд та їх основних систем з урахуванням всього життєвого циклу.

Згідно з Законом [27] здійснюється адаптація законодавства України у сфері стандартизації до законодавства Європейського Союзу і протягом останніх років прийнято тільки у галузі будівництва більше 3000 європейських стандартів. При цьому залишаються чинними майже 2000 національних стандартів, які були прийняті упродовж останніх 30 років. Стрімке введення у нормативне поле європейських стандартів обумовило виникнення певних проблем, які стосуються наявності конфліктних стандартів, адаптованих та раніше прийнятих, що потребує системного вирішення, враховуючи те, що при відбудові України пріоритетними є європейські стандарти, до яких мають адаптуватися насамперед вітчизняні виробники будівельної продукції.

ВИСНОВКИ

Розвиток галузевої науки є основою успішної відбудови України і перегляд умов її фінансування є однією з ключових задач державної політики.

Військові дії на території України обумовлюють необхідність першочергового перегляду методології оцінювання будівель та спо-



Рисунок 16 – Ієрархічна схема законодавчої та нормативної бази



руд, які вже пошкоджені військовими впливами або мають ризик отримання таких пошкоджень.

Забезпечення населення домівками та робочими місцями після завершення військових дій потребує застосування індустріальних методів будівництва на основі принципів сталого розвитку і застосування передових будівельних технологій, які регламентуються новим поколінням будівельних норм та стандартів.

БІБЛІОГРАФІЧНИЙ СПИСОК

1. Закон України «Про наукову і науково-технічну діяльність». Відомості Верховної Ради (ВВР), 2016, № 3, ст. 25.
2. Міністерство фінансів України. Доступно: <https://mof.gov.ua/>
3. OECD. Gross domestic spending on R&D. Доступно: <https://data.oecd.org/rd/gross-domestic-spending-on-r-d.htm>
4. Statista. Worldwide research and development gross expenditure by top countries. Доступно: <https://www.statista.com/statistics/732247/worldwide-research-and-development-gross-expenditure-top-countries/>
5. Eurostat. Доступно: <https://ec.europa.eu/eurostat/web/products-eurostat-news/w/ddn-20230804-2>
6. Фаренюк Г.Г. Вплив екстремальних дій на експлуатаційну придатність та надійність конструкцій фасадної теплоізоляції. Наука та будівництво, 2023, № 2 (36), с. 3-11.
7. Фаренюк Г.Г., Немчинов Ю.І., Мар'єнков М.Г., Бабік К.М. Оцінка стану будівель і споруд вібродинамічним методом після військових пошкоджень. Наука та будівництво, 2022, № 2, с. 3-18.
8. Сергійчук В.А., Белоконь А.М., Табаркевич Н.В., Табаркевич О.О. Особливості обстеження та оцінки технічного стану житлового будинку, пошкодженого внаслідок військових дій, щодо його придатності до подальшої експлуатації. Наука та будівництво, 2023, № 1, с. 27-42.
9. Слюсаренко Ю.С., Мелашенко Ю.Б., Іщенко Ю.І. Досвід обстеження панельних будинків, пошкоджених внаслідок бойових дій. Наука та будівництво, 2023, № 2, с. 41-50.
10. Методика проведення обстеження та оформлення його результатів. Затверджено Наказом Міністерства розвитку громад та територій України від 06.08.2022 року № 144.
11. Фаренюк Г.Г., Любченко І.Г., Рубан Ю.А. Обстеження та аварійно-відновлювальні роботи на об'єктах, які зазнали пошкоджень внаслідок збройної агресії російської федерації. Наука та будівництво, 2022, № 3-4, с. 49-54.
12. Яковенко М.С., Зорін Є.В., Бень І.В. Геодезичний моніторинг часових змін деформованого стану під час відновлення будівлі/споруди, що постраждала від бойових дій внаслідок воєнної агресії рф. Наука та будівництво, 2023, № 2, с. 51-66.
13. Яковенко М.С. Щодо питань геодезичного обстеження будівель, що постраждали внаслідок воєнної агресії російської федерації. Наука та будівництво, 2022, № 3-4, с. 37-48.
14. Глуховський В.П., Лісений О.М., Мар'єнков М.Г., Дубовик С.О., Любченко І.Г., Яковенко М.С. Обстеження, оцінка технічного стану та умови відновлення житлового будинку на проспекті Лобановського, 6-А в м. Києві, пошкодженого внаслідок воєнних дій. Наука та будівництво, 2022, № 3-4, с. 55-68.
15. Пошкодження інфраструктури та економічні наслідки російського вторгнення. KSE Institute. Доступно: <https://kse.ua>
16. Методика обстеження будівель та споруд, пошкоджених внаслідок надзвичайних ситуацій, бойових дій та терористичних актів. Затверджено наказом Міністерства розвитку громад та територій України 28.04.2022 р. № 65.
17. ДСТУ-Н Б В.1.2-18:2016 Настанова щодо обстеження будівель і споруд для визначення та оцінки їх технічного стану. Київ: УкрНДНЦ, 2017, 47 с.
18. Перельмутер А.В., Пічугін С.Ф. Деякі особливості надійності пошкоджених сталевих конструкцій. Наука та будівництво, 2023, № 1, с. 15-26.
19. ДБН В.2.2-5:2023 Захисні споруди цивільного захисту. Київ: Міністерство розвитку громад, територій та інфраструктури України, 2023. 131с.
20. Закон України «Про надання будівельної продукції на ринку»
21. ДБН В.1.2-6:2021. Основні вимоги до будівель і споруд. Механічний опір та стійкість. Київ: Міністерство розвитку громад та територій України, 2022. 36 с.
22. ДБН В.1.2-7:2021. Основні вимоги до будівель і споруд. Пожежна безпека. Київ: Міністерство розвитку громад та територій України, 2022. 17 с.
23. ДБН В.1.2-8:2021. Основні вимоги до будівель і споруд. Гігієна, здоров'я та захист довкілля. Київ: Міністерство розвитку громад та територій України, 2022. 15 с.
24. ДБН В.1.2-9:2021. Основні вимоги до будівель і споруд. Безпека і доступність під час експлуатації. Київ: Міністерство розвитку громад та територій України, 2022. 17 с.
25. ДБН В.1.2-10:2021. Основні вимоги до будівель і споруд. Захист від шуму та вібрації. Київ: Міністерство розвитку громад та територій України, 2022. 20 с.
26. ДБН В.1.2-11:2021. Основні вимоги до будівель і споруд. Енергозбереження та енергоефективність. Київ: Міністерство розвитку громад та територій України, 2022. 21 с.



27. Закон України «Про стандартизацію» від 5 червня 2014 року № 1315-VII.

REFERENCES

1. Ukraine. (2016). Law of Ukraine "On Scientific and Scientific-Technical Activity." Information of the Verkhovna Rada (VVR), (3), Article 25.
2. Ministry of Finance of Ukraine. (n.d.). Retrieved from <https://mof.gov.ua/>
3. OECD. Gross domestic spending on R&D. Retrieved from <https://data.oecd.org/rd/gross-domestic-spending-on-r-d.htm>
4. Statista. Worldwide research and development gross expenditure by top countries. Retrieved from <https://www.statista.com/statistics/732247/worldwide-research-and-development-gross-expenditure-top-countries/>
5. Eurostat. Retrieved from <https://ec.europa.eu/eurostat/web/products-eurostat-news/w/ddn-20230804-2>
6. Farenjuk, G.G. (2023). The impact of extreme actions on the operational suitability and reliability of facade thermal insulation structures. *Science and Construction*, 2023(2), 3-11.
7. Farenjuk, G.G., Nemchynov, Yu.I., Maryenkov, M.G., & Babik, K.M. (2022). Evaluation of the condition of buildings and structures by the vibrodynamic method after military damages. *Science and Construction*, 2022(2), 3-18.
8. Sergiichuk, V.A., Bielokon, A.M., Tabarkevich, N.V., & Tabarkevich, O.O. (2023). Features of the survey and assessment of the technical condition of a residential building damaged as a result of military actions, regarding its suitability for further operation. *Science and Construction*, 2023(1), 27-42.
9. Slyusarenko, Yu.S., Melashenko, Yu.B., Ishchenko, Yu.I. (2023). Experience in inspecting panel buildings damaged due to military actions. *Science and Construction*, 2023(2), 41-50.
10. Ministry of Community and Territorial Development of Ukraine. (2022, August 6). Methodology for conducting inspections and documenting the results. Approved by Order No. 144.
11. Farenjuk, G.G., Liubchenko, I.G., & Ruban, Yu.A. (2022). Inspection and emergency restoration works on objects damaged due to the armed aggression of the Russian Federation. *Science and Construction*, 2022(3-4), 49-54.
12. Yakovenko, M.S., Zorin, Ye.V., & Ben, I.V. (2023). Geodetic monitoring of temporal changes in the deformed state during the restoration of a building/structure affected by military actions due to the aggression of the Russian Federation. *Science and Construction*, 2023(2), 51-66.
13. Yakovenko, M.S. (2022). Issues of geodetic survey of buildings affected by the military aggression of the Russian Federation. *Science and Construction*, 2022(3-4), 37-48.
14. Glukhovskiy, V.P., Lisiyeni, O.M., Maryenko, M.G., Dubovyk, S.O., Liubchenko, I.G., & Yakovenko, M.S. (2022). Survey, assessment of the technical condition, and conditions for the restoration of a residential building on Lobanovsky Avenue, 6-A in Kyiv, damaged as a result of military actions. *Science and Construction*, 2022(3-4), 55-68.
15. KSE Institute. Damage to infrastructure and economic consequences of the Russian invasion. Retrieved from <https://kse.ua>
16. Ministry of Community and Territorial Development of Ukraine. (2022, April 28). Methodology for inspecting buildings and structures damaged due to emergencies, military actions, and terrorist acts. Approved by Order No. 65.
17. Ukrainian Scientific and Technical Center (UkrNDNTs). (2016). DSTU-N B V.1.2-18:2016 Guideline on the survey of buildings and structures to determine and assess their technical condition. Kyiv.
18. Perelmutter, A.V., & Pichugin, S.F. (2023). Some features of the reliability of damaged steel structures. *Science and Construction*, 2023(1), 15-26.
19. DBN V.2.2-5:2023. (2023). Protective structures for civil protection. Kyiv: Ministry of Development of Communities, Territories and Infrastructure of Ukraine.
20. Law of Ukraine «On the provision of construction products in the market»
21. DBN V.1.2-6:2021. (2022). Basic requirements for buildings and structures. Mechanical resistance and stability. Kyiv: Ministry of Development of Communities and Territories of Ukraine.
22. DBN V.1.2-7:2021. (2022). Basic requirements for buildings and structures. Fire safety. Kyiv: Ministry of Development of Communities and Territories of Ukraine
23. DBN V.1.2-8:2021. (2022). Basic requirements for buildings and structures. Hygiene, health, and environmental protection. Kyiv: Ministry of Development of Communities and Territories of Ukraine.
24. DBN V.1.2-9:2021. (2022). Basic requirements for buildings and structures. Safety and accessibility during operation. Kyiv: Ministry of Development of Communities and Territories of Ukraine.
25. DBN V.1.2-10:2021. (2022). Basic requirements for buildings and structures. Protection from noise and vibration. Kyiv: Ministry of Development of Communities and Territories of Ukraine.
26. DBN V.1.2-11:2021. (2022). Basic requirements for buildings and structures. Energy conservation and efficiency. Kyiv: Ministry of Development of Communities and Territories of Ukraine.
27. On standardization. Law of Ukraine of June 5, 2014, No. 1315-VII. Ukraine. (2014).

Стаття надійшла до редакції 05.03.2024 року



Doi: <https://doi.org/10.33644/2313-6679-1-2024-2>

УДК 69.624,04



ГАХ Н.Д.

Канд. техн. наук, учений секретар ДП «Державний науково-дослідний інститут будівельних конструкцій», м. Київ, Україна, e-mail: gakh@ndibk.gov.ua, тел.: +38 (050) 222-22-54, ORCID: 0000-0003-1972-4853



ЛІСЕНИЙ О.М.

Канд. техн. наук, завідувач відділу ДП «Державний науково-дослідний інститут будівельних конструкцій», м. Київ, Україна, e-mail: lab343@ndibk.gov.ua, тел.: +38 (044) 249-37-66, ORCID: 0000-0003-0792-8082



ДУБОВИК С.О.

Провідний інженер ДП «Державний науково-дослідний інститут будівельних конструкцій», м. Київ, Україна, e-mail: dubovik@ndibk.gov.ua, тел.: +38 (044) 249-38-21, ORCID: 0000-0002-8564-0693



ПОДОЛЬЧУК Ю.

ВІМ експерт, співзасновник та голова ГО «Ukrainian BIM Community», м. Київ, Україна, e-mail: yu.podolchuk@bim.in.ua, тел.: +38 (063) 850-41-01



ХАРЧУН Ю.П.

Головний експерт проекту з будівельних конструкцій ТОВ «Українська будівельно-технічна експертиза», м. Київ, Україна, e-mail: hup@ubte.com.ua, тел.: +38 (067)-404-99-48

ОБНОВЛЕННЯ СТАНДАРТІВ ЩОДО ВИМОГ ДО ПРОЕКТНОЇ ДОКУМЕНТАЦІЇ

АНОТАЦІЯ

У статті розглядаються чотири національні стандарти з питань розроблення проектної документації для будівництва ДСТУ 9243.4:2023, ДСТУ 9243.5:2023, ДСТУ 9243.7:2023 та ДСТУ 9243.10:2023, на заміну застарілих стандартів ДСТУ Б А.2.4-4:2009, ДСТУ Б А.2.4-5:2009, ДСТУ Б А.2.4-7:2009 і ДСТУ Б А.2.4-10:2009 відповідно, що входять до складу комплексу «Система проектної документації для будівництва».

Стандарти розроблені у відповідності з планом заходів з реалізації Концепції впровадження ВІМ-технологій в Україні [1] і враховують положення Зміни № 2 ДБН А.2.2-3:2014 [2].

У розроблених стандартах повністю виключені нормативні посилання на стандарти ГОСТ, що втратили чинність, натомість наведені посилання на відповідні національні стандарти, що гармонізовані з міжнародними та європейськими



стандартами щодо оформлення креслеників з урахуванням особливостей процесів BIM моделювання.

ДСТУ 9243.5:2023 «Система проектної документації для будівництва. Загальні положення» установлює загальні положення щодо структури і призначення Системи проектної документації для будівництва (СПДБ) і правила оформлення позначок стандартів, що поширюються на всі види нормативних документів СПДБ.

ДСТУ 9243.4:2023 «Система проектної документації для будівництва. Основні вимоги до проектної документації» установлює основні вимоги до проектної документації на нове будівництво, реконструкцію та капітальний ремонт будівель і споруд різного функціонального призначення, зокрема з урахуванням застосування автоматизованих систем проектування та використання методів будівельного інформаційного моделювання (BIM).

ДСТУ 9243.7:2023 «Система проектної документації для будівництва. Правила виконання архітектурно-будівельних робочих креслень» установлює склад і правила оформлення архітектурно-будівельних робочих креслеників (архітектурних рішень і будівельних конструкцій, включаючи робочу документацію на будівельну продукцію) будівель і споруд різного функціонального призначення.

ДСТУ 9243.10:2023 «Система проектної документації для будівництва. Правила виконання специфікації обладнання і будівельної продукції» встановлює вимоги до виконання специфікації обладнання і будівельної продукції до основних комплектів робочих креслеників будівель і споруд різного призначення.

Стандарти ДСТУ 9243.4:2023, ДСТУ 9243.5:2023, ДСТУ 9243.7:2023 та ДСТУ 9243.10:2023 дозволяють споживачам розробляти проектну документацію з врахуванням використання відкритих форматів представлення даних та вільно обирати будь-яке програмне забезпечення без обмежень, сприяють гармонізації нормативної бази України із законодавством та стандартами ЄС, забезпеченню рівних умов для всіх суб'єктів ринку щодо застосування BIM-технологій, ухваленню оптимальних будівельних та інвестиційних рішень.

КЛЮЧОВІ СЛОВА: будівельне інформаційне моделювання (BIM), вимоги до складу документації, внесення змін, інформаційна модель проекту, основні написи, позначення, правила виконання, правила оформлення, приклади оформлення, проектна документація, робочі кресленики, специфікація.

UPDATING STANDARDS ON REQUIREMENTS FOR DESIGN DOCUMENTATION

ABSTRACT

This article examines four national standards for the development of project documentation for construction DSTU 9243.4:2023, DSTU 9243.5:2023, DSTU 9243.7:2023, and DSTU 9243.10:2023 as replacements for the outdated standards DSTU B A.2.4-4:2009, DSTU B A.2.4-5:2009, DSTU B A.2.4-7:2009, and DSTU B A.2.4-10:2009, which are part of the "Project Documentation System for Construction" complex. These standards were developed in accordance with the action plan for implementing BIM technologies in Ukraine [1] and take into account the provisions of Amendment No. 2 to DBN A.2.2-3:2014 [2]. The developed standards entirely exclude normative references to obsolete GOST standards, instead referring to the relevant national standards harmonized with international and European standards concerning the formatting of drawings and the requirements for BIM models with consideration for the specifics of BIM modeling processes.

DSTU 9243.5:2023 "Project Documentation System for Construction. General Provisions" establishes general provisions regarding the structure and purpose of the Project Documentation System for Construction (PDSC) and the rules for formatting standard markings applicable to all types of regulatory documents within the PDSC. DSTU 9243.4:2023 "Project Documentation System for Construction. Basic Requirements for Project Documentation" sets out the basic requirements for project documentation for new construction, reconstruction, and major repairs of buildings and structures of various functional purposes, particularly considering the use of automated design systems and building information modeling (BIM) methods. DSTU 9243.7:2023 "Project Documentation System for Construction. Rules for Performing Architectural and Construction Working Drawings" specifies the composition and formatting rules for architectural and construction working drawings (architectural solutions and building structures, including working documentation for construction products) for buildings and structures of various functional purposes. DSTU 9243.10:2023 "Project Documentation System for Construction. Rules for Performing Specifications of Equipment and Construction Products" establishes requirements for executing specifications of equipment and construction products for the main sets of working drawings of buildings and structures of various purposes.

The standards DSTU 9243.4:2023, DSTU 9243.5:2023, DSTU 9243.7:2023, and DSTU 9243.10:2023 enable consumers to develop project documentation considering the use of open data representation formats and to freely choose any software without restrictions, facilitate the harmonization of Ukraine's regulatory base with EU legislation and standards, ensure equal conditions



for all market participants regarding the application of BIM technologies, and make optimal construction and investment decisions.

KEYWORDS: Building Information Modeling (BIM), documentation composition requirements, amendments, project information model, main inscriptions, designations, execution rules, formatting rules, formatting examples, project documentation, working drawings, specification.

АКТУАЛЬНІСТЬ ПИТАННЯ

Будівельна галузь України потребує системного комплексного реформування, однією із важливих складових якого є цифрова трансформація.

Як показано у статті [3] на підставі аналізу останніх досліджень і публікацій, світовий та європейський досвід свідчить, що до найбільш прогресивних цифрових технологій у будівництві можна віднести технології будівельного інформаційного моделювання (BIM – Building Information Modeling), які передбачають використання спільного цифрового представлення об'єкта у процесах його проектування, будівництва та експлуатації.

Планом заходів з реалізації Концепції впровадження BIM-технологій в Україні [1] була передбачена, зокрема, актуалізація будівельних норм та прийняття національних стандартів, які визначають основні вимоги до проектної документації.

ПОСТАНОВКА ЗАВДАННЯ

Основною задачею даної розробки є аналіз змісту національних стандартів щодо основних вимог до проектної документації, осучаснення вимог, виявлення напрямків, за якими необхідно внести зміни в нормативні документи, приведення вимог щодо оформлення документації до сучасної нормативної та технологічної бази проектування.

АНАЛІЗ СТАНУ ПИТАННЯ

Важливе місце у національній стандартизації посідають стандарти комплексу «Система проектної документації для будівництва». Вони встановлюють загальнотехнічні вимоги, необхідні для розроблення, обліку, зберігання і застосування проектної документації для будівництва будівель і споруд різного функціонального призначення.

До складу комплексу входять 42 стандарти, які були прийняті упродовж 2008-2009 років і містять низку застарілих положень. Всі вони базуються на радянській системі стандартів (ГОСТ), які складають єдину систему конструкторської документації (ЄСКД).

У 2012 році була прийнята Зміна № 1 ДСТУ Б А.2.4-4:2009, в якій було деталізовано положення щодо оформлення томів проектної документації, внесення змін в проектну документацію, а також внесені певні редакційні

зміни без зміни загального підходу.

Разом з тим, починаючи з 2005 року були прийняті в якості гармонізованих національних стандартів ряд міжнародних (ДСТУ ISO) та європейських (ДСТУ EN ISO) стандартів, які функціонально замінюють ГОСТи системи ЄСКД. Відомо ряд об'єктів, які запроєктовані з використанням гармонізованих стандартів. Більше того, у 2019-2020 роках практично всі ГОСТи системи ЄСКД були анульовані без заміни. Таким чином, чинні стандарти комплексу Б А.2.4 залишилися без нормативної підтримки.

У 2021 році прийнята Зміна № 2 ДБН А.2.2-3:2014 «Склад та зміст проектної документації на будівництві» [2]. У Зміні № 2 долучені нові для проектування поняття (такі як актив, будівельне інформаційне моделювання, інформаційна модель активу, інформаційна модель проекту, інформаційний контейнер) та включені положення щодо можливості розроблення проектної документації із застосуванням будівельного інформаційного моделювання. Вимоги до складу, змісту та обміну інформацією при використанні процесів будівельного інформаційного моделювання у проектуванні визначаються у завданні на проектування.

Таким чином, стандарти ДСТУ Б А.2.4-4:2009, ДСТУ Б А.2.4-5:2009, ДСТУ Б А.2.4-7:2009 і ДСТУ Б А.2.4-10:2009 не переглядалися 15 років та містять низку застарілих положень і посилань.

При розробці проектів нових стандартів на заміну зазначеним стандартам враховано вимоги чинних національних стандартів, що є ідентичними відповідним європейським гармонізованим стандартам щодо вимог до проектної документації, правил виконання архітектурно-будівельних робочих креслень та специфікації обладнання і будівельної продукції. Крім того, враховані додаткові вимоги до проектної документації, які витікають з «Концепції впровадження технологій будівельного інформаційного моделювання (BIM-технологій) в Україні» [1] та ДБН А.2.2-3:2014 «Склад та зміст проектної документації на будівництві» (зі Змінами № 1 та № 2) [2].

Кабінет Міністрів України своїм розпорядженням від 17 лютого 2021 р. № 152-р схвалив Концепцію впровадження технологій будівельного інформаційного моделювання в Україні та затвердив відповідний План заходів з її реалізації. Суть BIM-технологій полягає у розробленні та спільному використанні будівельної інформаційної моделі об'єкта будівництва (BIM-моделі об'єкта), що представляє собою набір структурованих і неструктурованих інформаційних контейнерів (наборів даних) у рамках цілісної інформаційної системи, що містять необхідні геометричні, фізичні, функціональні та інші характеристики об'єкта, на основі яких розробляється документація, що



супроводжує життєвий цикл об'єкта (проектна та кошторисна документація, експлуатаційна документація тощо).

Планом заходів з реалізації Концепції впровадження BIM-технологій в Україні передбачалася, зокрема, актуалізація будівельних норм та прийняття національних стандартів, які визначають основні вимоги до проектною документації. В рамках реалізації Плану заходів було прийнято Зміну № 2 ДБН А.2.2-3:2014 [2] та чотири національні стандарти ДСТУ 9243.4:2023, ДСТУ 9243.5:2023, ДСТУ 9243.7:2023 та ДСТУ 9243.10:2023 з наданням чинності зазначеним НД з 1 квітня 2024 р.

ОСОБЛИВОСТІ ОНОВЛЕНИХ НАЦІОНАЛЬНИХ СТАНДАРТІВ

Впродовж 2021-2023 років Технічним комітетом зі стандартизації ТК 304 «Захист будівель і споруд» виконано розробку чотирьох національних стандартів з питань проектною документації для будівництва, а саме:

ДСТУ 9243.4:2023 «Система проектною документації для будівництва. Основні вимоги до проектною документації» на заміну ДСТУ Б А.2.4-4:2009;

ДСТУ 9243.5:2023 «Система проектною документації для будівництва. Загальні положення» на заміну ДСТУ Б А.2.4-5:2009;

ДСТУ 9243.7:2023 «Система проектною документації для будівництва. Правила виконання архітектурно-будівельних робочих креслень» на заміну ДСТУ Б А.2.4-7:2009;

ДСТУ 9243.10:2023 «Система проектною документації для будівництва. Правила виконання специфікації обладнання і будівельної продукції» на заміну ДСТУ Б А.2.4-10:2009.

Стандарти розроблені з врахуванням:

- Зміни № 1 ДСТУ Б А.2.4-4 від 2012 р.;
- плану заходів з реалізації Концепції впровадження технологій будівельного інформаційного моделювання (BIM-технологій) в Україні [1];
- ДБН А.2.2-3:2014 «Склад та зміст проектною документації на будівництво» (зі Змінами № 1 та № 2) [2];
- проекту Зміни до «Порядку розроблення проектною документації на будівництво об'єктів» [4].

Основні відмінності нових НД від попередніх редакцій ДСТУ Б А.2.4-4:2009, ДСТУ Б А.2.4-5:2009, ДСТУ Б А.2.4-7:2009 і ДСТУ Б А.2.4-10:2009:

- відредаговані застарілі положення;
- актуалізовані нормативні посилання, при цьому посилання на ГОСТи видалені та замінені посиланнями на ДСТУ ISO та ДСТУ EN ISO аналогічного змісту;
- змінені назви ДСТУ 9243.4 та ДСТУ 9243.10;
- зміст додатків ДСТУ 9243.4 приведений у відповідність з ДБН А.2.2-3:2014 [2];

- враховані положення ДБН А.2.2-3:2014 [2], у тому числі щодо проектування із застосуванням інформаційної моделі будівлі (BIM).

Розробка нормативних документів велася з широким залученням спеціалістів будівельної галузі та проектних організацій.

Звертає на себе увагу застосування термінів «проектна документація», «проект» «креслення» і похідних від нього у прийнятих стандартах, в той час як у попередніх редакціях НД застосовувалися терміни «проектна документація», «проект», «креслення». Така заміна здійснена ДП «Український науково-дослідний і навчальний центр проблем стандартизації, сертифікації та якості» при підготовці стандартів до друку з посиланням на норми нової редакції українського правопису. Правомірність такої заміни аргументована висновками Інституту української мови та профільного технічного комітету стандартизації «Науково-технічна термінологія».

В той же час, у чинному Законі України «Про регулювання містобудівної діяльності» [5], ДБН А.2.2-3:2014 «Склад та зміст проектною документації для будівництва» [2], «Порядку розроблення проектною документації на будівництво об'єктів» [4] та інших нормативних і нормативно-правових документах актуальним залишається термін «проектна документація».

ОСНОВНІ ОСОБЛИВОСТІ ЗМІСТУ РОЗРОБЛЕНИХ СТАНДАРТІВ

ДСТУ 9243.5:2023 «Система проектною документації для будівництва. Загальні положення»

Цей стандарт установлює загальні положення щодо структури і призначення Системи проектною документації для будівництва (СПДБ) і правила оформлення позначок стандартів, що поширюються на всі види нормативних документів СПДБ.

Стандарти СПДБ згідно з класифікацією нормативних документів (додаток 1 ДБН А.1.1-1 [6]) складають комплекс А.2.4 «Система проектною документації для будівництва». Комплекс відноситься до підкласу А.2 «Вишукування, проектування і територіальна діяльність», класу А «Організаційно-методичні нормативні документи». До складу комплексу А.2.4 входять 42 стандарти, які охоплюють питання проектування в частині основних вимог, умовних позначок, розробки архітектурно-будівельних робочих креслень, креслень дерев'яних і металевих конструкцій, специфікацій, особливості виконання генеральних планів, автомобільних доріг, залізничних колій, споруд транспорту, гідротехнічних і гідромеліоративних споруд, технологічних процесів, енергетичного устаткування та електрообладнання, систем автоматизації та телекомунікацій, санітарно-технічних систем, теплових мереж, газопостачання, водопостачання



і каналізації, антикорозійного захисту, нетипових виробів тощо.

Головне призначення нормативних документів СПДБ полягає в установленні єдиних правил виконання проектної документації для будівництва, які забезпечують:

- уніфікацію складу, правил оформлення і обігу проектної документації з урахуванням призначення проектних документів згідно з ДСТУ 9243.4;
- комплектність документації;
- необхідний обсяг документації для виконання будівельних робіт;
- загальні правила виконання креслеників, кошторисів і текстових документів;
- уніфікацію форм проектних документів, кошторисів і графічних зображень;
- уніфікацію термінів і понять, що застосовуються в СПДБ;
- уніфікацію вимог до проектної документації з огляду на її виконання із застосуванням будівельного інформаційного моделювання (BIM) згідно з ДСТУ ISO 19650-1 [7];
- розроблення проектної документації із застосуванням автоматизованих систем проектування.

Розробником було започатковано стандарти СПДБ позначати згідно з п.11 ДСТУ 1.5, а саме: реєстраційні номери, що надані НОС України при затвердженні стандартів СПДБ, складаються з номера комплексу та номера стандарту в комплексі, які сполучають крапкою. Розробленим стандартам надані реєстраційні номери 9243.4, 9243.5, 9243.7 і 9243.10. Пропонується зберегти такий підхід до позначень інших стандартів СПДБ, які будуть оновлюватися в подальшому.

ДСТУ 9243.4:2023 «Система проектної документації для будівництва. Основні вимоги до проектної документації»

Стандарт включає такі основні розділи:

- 1 Сфера застосування
- 2 Нормативні посилання
- 3 Терміни та визначення понять
- 4 Загальні вимоги до складу документації
- 5 Загальні вимоги до комплектування документації
- 6 Загальні правила виконання документації
- 7 Правила виконання специфікацій на кресленнях
- 8 Правила внесення змін в робочу документацію
- 9 Правила прив'язки робочої документації
- 10 Правила оформлення зброшурованої документації
- 11 Правила комплектування електронної документації

Додаток А (довідковий) Позначення складових матеріалів проектної документації

Додаток Б (довідковий) Приклади оформлення

аркушів проекту

Додаток В (довідковий) Відомості загальних даних за робочими кресленнями

Додаток Г (довідковий) Основні написи

Додаток Д (довідковий) Розташування основного напису, додаткових граф до нього та розмірних рамок на аркушах

Додаток Е (довідковий) Дозвіл на внесення змін

Додаток Ж (довідковий) Перелік дозволених скорочень слів

Додаток И (довідковий) Специфікації

Додаток К (довідковий) Реєстрація змін

Додаток Л (обов'язковий) Штамп анулювання (заміни) оригіналу документа

Додаток М (довідковий) Штамп прив'язки

Додаток Н (довідковий) Титульний аркуш

Додаток П (обов'язковий) Склад проекту

Додаток Р (обов'язковий) Відомість про учасників проектування по кожному розділу проекту

Додаток С (довідковий) Бібліографія

Цей стандарт установлює основні вимоги до проектної документації на нове будівництво, реконструкцію та капітальний ремонт будівель і споруд різного функціонального призначення, зокрема з урахуванням застосування автоматизованих систем проектування та використання методів будівельного інформаційного моделювання (BIM).

Концепції та принципи будівельного інформаційного моделювання приймають згідно з ДСТУ ISO 19650-1 [7]. Вимоги до процесу будівельного інформаційного моделювання, а саме до процедур та правил створення, перевірки та надання інформації, які використовують для спільного прийняття рішень на основі інформаційної моделі проекту, визначаються ДСТУ ISO 19650-1 [7] та ДСТУ ISO 19650-2 [8] включно з національним додатком. У даний час розробляється ще ряд стандартів щодо вимог до вмісту інформаційної моделі, управління даними тощо.

При формуванні позначень для ідентифікації будівельних елементів на кресленнях можливо застосовувати міжнародну систему кодування будівельних елементів і робіт згідно з чинними нормативними документами.

Склад і зміст проектної документації об'єктів будівництва на всіх стадіях проектування визначають згідно з ДБН А.2.2-3:2014 [2] і вони мають бути достатніми для оцінки проектних рішень та їх реалізації. Оригінали проектної документації можуть надаватися на паперовому та/або електронному носіїві.

До складу проектної документації на спорудження будівель або споруд у загальному випадку долучають:

- а) робочі кресленики, призначені для вико-



- вання будівельних і монтажних робіт;
- б) робочі кресленики на будівельні вироби;
- в) кресленики загальних видів нетипових виробів;
- г) специфікації обладнання і будівельної продукції;
- д) іншу документацію, яку долучають і що передбачена відповідними нормативними документами системи проектної документації для будівництва;
- е) кошторисну документацію;
- ж) файли наборів даних інформаційної моделі проекту будівлі, споруди, комплексу тощо.

Найменування розділів проектної документації та марок основних комплектів креслеників, а також їх умовні позначення наведені у додатку А ДСТУ 9243.4:2023. При застосуванні процесів будівельного інформаційного моделювання відповідні дані наведено у ДСТУ ISO 19650-2 [8] та національному додатку до нього.

Приклади оформлення аркушів проекту наведені у формах додатку Б та узгоджені з актуальними положеннями ДБН А.2.2-3:2014 [2].

У Додатку Г наведені форми основних написів на аркушах проектної документації. Крім традиційних форм у горизонтальній орієнтації, наведена форма основного напису у вертикальній орієнтації, що є більш зручною для застосування в системах автоматизованого проектування.

Актуалізовані положення щодо перевірки і підписання проектної документації. Підписи в проектній документації оформлюють згідно із системою якості проектної організації згідно з «Порядком розроблення проектної документації на будівництво об'єктів» [4].

Вимоги для перевірки розрахунків, креслеників і технічних специфікацій встановлюють залежно від класу наслідків (відповідальності) об'єктів з урахуванням ДСТУ-Н Б EN 1990 [9]:

- а) для об'єктів класу наслідків СС3 — перевірка третьою стороною (тобто іншою організацією, аніж тією, яка виконувала проектування);
- б) для об'єктів класу наслідків СС2 — перевірка іншою особою (на відміну від особи, яка виконувала проектування за процедурою проектної організації);
- в) для об'єктів класу наслідків СС1 — особиста перевірка виконавцем робіт.

ДСТУ 9243.7:2023 «Система проектної документації для будівництва. Правила виконання архітектурно-будівельних робочих креслень»

Структура стандарту

- 1 Сфера застосування
- 2 Нормативні посилання
- 3 Терміни та визначення понять
- 4 Загальні вимоги

- 5 Основний комплект робочих креслеників архітектурних рішень
- 6 Основний комплект робочих креслеників будівельних конструкцій

Додаток А (довідковий) Умовні графічні зображення будівельних конструкцій та їх елементів

Додаток Б (довідковий) Приклади виконання планів поверхів будівлі

Додаток В (довідковий) Приклади заповнення відомості перемичок, специфікації елементів заповнення перемичок та прорізів

Додаток Г (довідковий) Приклади виконання розрізів

Додаток Д (довідковий) Приклади виконання фасадів і їхніх фрагментів

Додаток Е (довідковий) Приклад виконання плану підлоги

Додаток Ж (довідковий) Приклад виконання плану покрівлі

Додаток И (довідковий) Приклад виконання схеми розміщення елементів заповнення віконного прорізу

Додаток К (довідковий) Приклад оформлення паспорту опорядження фасадів

Додаток Л (довідковий) Приклади виконання схем розміщення елементів збірних конструкцій

Додаток М (довідковий) Бібліографія

Стандарт установлює склад і правила оформлення архітектурно-будівельних робочих креслеників (архітектурних рішень і будівельних конструкцій, включаючи робочу документацію на будівельну продукцію) будівель і споруд різного функціонального призначення, зокрема з урахуванням застосування автоматизованих систем проектування та будівельного інформаційного моделювання (BIM).

Робочі кресленики архітектурних та конструктивних рішень повинні забезпечувати мінімально достатню кількість інформації для виконання будівельних робіт. У разі наявності додаткових вимог з оформлення документації, замовник зазначає їх у завданні на проектування.

У ДСТУ 9243.7:2023 повністю виключені нормативні посилання на стандарти ГОСТ, що втратили чинність, натомість наведені посилання на відповідні національні стандарти, що гармонізовані з міжнародними та європейськими стандартами як щодо оформлення робочих креслеників, так і щодо вимог до BIM-моделей.

ДСТУ 9243.10:2023 «Система проектної документації для будівництва. Правила виконання специфікації обладнання і будівельної продукції»

Цей стандарт установлює вимоги до виконання специфікації обладнання і будівельної продукції до основних комплектів робочих креслеників будівель і споруд різного призначення з урахуванням застосування автоматизованих систем проек-



тування та будівельного інформаційного моделювання (BIM).

Форма специфікації може бути автоматично згенерована із застосуванням програм будівельного інформаційного моделювання (BIM) із застосуванням електронного підпису. Така специфікація може мати особливості оформлення без втрати суті, змісту та наповнення.

Специфікації можуть виконуватися із застосуванням міжнародної системи кодування будівельних елементів згідно з чинним нормативним документом.

ВАЖЛИВІСТЬ РОЗРОБЛЕНИХ НАЦІОНАЛЬНИХ СТАНДАРТІВ ДЛЯ ВІТЧИЗНЯНОГО СПОЖИВАЧА (ВІТЧИЗНЯНОГО РОЗРОБНИКА)

Розроблені національні стандарти з питань проектної документації для будівництва ДСТУ 9243.4:2023, ДСТУ 9243.5:2023, ДСТУ 9243.7:2023 та ДСТУ 9243.10:2023 містять основні вимоги та необхідні рекомендації щодо розроблення проектної документації, робочих архітектурно-будівельних креслень, специфікації обладнання та будівельної продукції, а також щодо позначень стандартів комплексу «Система проектної документації для будівництва».

У стандартах відображені положення щодо застосування прогресивних цифрових технологій будівельного інформаційного моделювання (BIM-технології), які передбачають сучасний підхід до управління цифровою інформацією, що застосовується у галузі будівництва та містобудування і ґрунтується на використанні спільного цифрового представлення об'єкта, для сприяння процесам проектування, будівництва та експлуатації з метою створення надійної основи для прийняття рішень.

Споживачами розроблених національних стандартів є широке коло проектних, наукових, експертних та будівельних організацій, а також замовників будівельних об'єктів.

Розроблені національні стандарти дозволяють споживачам розробляти проектну документацію з врахуванням:

- використання відкритих форматів представлення даних та можливості для будівельних компаній вільно обирати будь-яке програмне забезпечення без обмежень;
- гармонізації нормативної бази України із законодавством та стандартами ЄС;
- забезпечення рівних умов для всіх суб'єктів ринку щодо застосування BIM-технологій;
- ухвалення оптимальних рішень на основі найкращих практик.

ПЕРСПЕКТИВИ

Відповідно до Концепції [1] та Плану заходів з її реалізації передбачається подальше впроваджен-

ня BIM-технологій в Україні під час будівництва окремих об'єктів, зокрема під час реалізації проектів будівництва, що здійснюється з використанням державного фінансування.

На даний час на розгляді у Верховній Раді України перебуває законопроект № 6383 від 03.12.2021 р. «Проект Закону про внесення змін до деяких законодавчих актів України щодо запровадження будівельного інформаційного моделювання (BIM-технології) на всіх етапах життєвого циклу об'єктів та науково-технічного супроводу об'єктів, удосконалення процедури обстеження об'єктів, прийнятих в експлуатацію в установленому законодавством порядку».

Відповідно, постає потреба у стандартизації BIM процесів задля формування єдиних підходів до реалізації будівельного активу, а також у адаптації існуючих стандартів та нормативів у відповідності до вимог сучасності, розробці методик застосування BIM та формування вимог до інформаційних моделей на національному рівні.

ВИСНОВКИ

1. Чотири національні стандарти з питань проектної документації для будівництва ДСТУ 9243.4:2023, ДСТУ 9243.5:2023, ДСТУ 9243.7:2023 та ДСТУ 9243.10:2023 розроблені згідно з Планом заходів з реалізації Концепції впровадження BIM-технологій в Україні [1].
2. Розробка стандартів з питань проектної документації для будівництва узгоджена з ДБН А.2.2-3:2014 «Склад та зміст проектної документації на будівництво» (зі Змінами № 1 та № 2) [2].
3. У розроблених стандартах повністю виключені нормативні посилання на стандарти ГОСТ, що втратили чинність, натомість наведені посилання на відповідні національні стандарти, що гармонізовані з міжнародними та європейськими стандартами як щодо оформлення робочих креслеників, так і щодо вимог до BIM-моделей.
4. Стандарти ДСТУ 9243.4:2023, ДСТУ 9243.5:2023, ДСТУ 9243.7:2023 та ДСТУ 9243.10:2023 дозволяють споживачам розробляти проектну документацію з врахуванням використання відкритих форматів представлення даних та вільно обирати будь-яке програмне забезпечення без обмежень, сприяють гармонізації нормативної бази України із законодавством та стандартами ЄС, забезпеченню рівних умов для всіх суб'єктів ринку щодо застосування BIM-технологій, ухваленню оптимальних будівельних та інвестиційних рішень.



БІБЛІОГРАФІЧНИЙ СПИСОК

1. Концепція впровадження технологій будівельного інформаційного моделювання (BIM-технологій) в Україні. Схвалено розпорядженням Кабінету Міністрів України від 17 лютого 2021 р. № 152-р.
2. ДБН А.2.2-3:2014 Склад та зміст проектної документації на будівництво (зі Змінами № 1 та № 2).
3. Фаренюк Г.Г., Гак Н.Д., Лісеній О.М., Слюсаренко Ю.С. Впровадження в Україні міжнародного стандарту ISO 16739-1 як термінологічної основи BIM-технологій. Наука та будівництво, № 4 (30), 2021, с.3-9.
4. Наказ Міністерства регіонального розвитку, будівництва та житлово-комунального господарства України від 16.05.2011 № 45 (у редакції наказу Міністерства регіонального розвитку, будівництва та житлово-комунального господарства України від 23 березня 2012 року № 122) «Порядок розроблення проектної документації на будівництво об'єктів», зареєстрований у Міністерстві юстиції України 1 червня 2011р. за № 651/19389.
5. Закон України «Про регулювання містобудівної діяльності».
6. ДБН А.1.1-1:2009 Система нормування та стандартизації у будівництві. Основні положення.
7. DSTU ISO 19650-1:2020 (ISO 19650-1:2018, IDT) Організація та оцифрування інформації щодо будівель та споруд включно з будівельним інформаційним моделюванням (BIM). Управління інформацією з використанням будівельного інформаційного моделювання. Частина 1. Концепції та принципи.
8. DSTU ISO 19650-2:2020 (ISO 19650-2:2018, IDT) Організація та оцифрування інформації щодо будівель та споруд включно з будівельним інформаційним моделюванням (BIM). Управління інформацією з використанням будівельного інформаційного моделювання. Частина 2. Етап будівництва.
9. DSTU-N B EN 1990:2008 (EN 1990:2002, IDT) Єврокод. Основи проектування конструкцій

REFERENCES

1. Cabinet of Ministers of Ukraine. (2021, February 17). Concept of Implementation of Building Information Modeling Technologies (BIM Technologies) in Ukraine. Resolution No. 152-r.
2. DBN A.2.2-3:2014 Composition and Content of Design Documentation for Construction (with Amendments No. 1 and No. 2).

3. Farenjuk, G.G., Gakh, N.D., Liseniy, O.M., & Slyusarenko, Yu.S. (2021). Implementation of the International Standard ISO 16739-1 as a Terminological Basis for BIM Technologies in Ukraine. Science and Construction, (4)30, 3-9.
4. Ministry of Regional Development, Construction, and Housing and Communal Services of Ukraine. (2011, May 16). Procedure for the Development of Design Documentation for Construction Objects, as amended by Order of the Ministry of Regional Development, Construction, and Housing and Communal Services of Ukraine dated March 23, 2012 No. 122. Registered in the Ministry of Justice of Ukraine on June 1, 2011, No. 651/19389.
5. Law of Ukraine on the Regulation of Urban Planning Activity.
6. DBN A.1.1-1:2009 System of Norms and Standardization in Construction. General Provisions.
7. DSTU ISO 19650-1:2020 (ISO 19650-1:2018, IDT) Organization and Digitization of Information about Buildings and Civil Engineering Works, Including Building Information Modelling (BIM). Information Management Using Building Information Modelling. Part 1. Concepts and Principles.
8. DSTU ISO 19650-2:2020 (ISO 19650-2:2018, IDT) Organization and Digitization of Information about Buildings and Civil Engineering Works, Including Building Information Modelling (BIM). Information Management Using Building Information Modelling. Part 2. Delivery Phase.
9. DSTU-N B EN 1990:2008 (EN 1990:2002, IDT) Eurocode. Basis of Structural Design.

Стаття надійшла до редакції 3.03.2024 року



Doi: <https://doi.org/10.33644/2313-6679-1-2024-3>

УДК 626.8 (075.8)



ОКСЕНЬ Є.І.

Доктор техн. наук, провідний науковий співробітник ДП «Державний науково-дослідний інститут будівельних конструкцій», м. Київ, Україна, e-mail: eioksen@gmail.com, тел.: +38 (050) 674-47-78, ORCID: 0000-0003-1075-6840



ТИТАРЕНКО В.А.

Канд. техн. наук, старший науковий співробітник, завідувач відділення ДП «Державний науково-дослідний інститут будівельних конструкцій», м. Київ, Україна, e-mail: 0679199507@ukr.net, тел.: +38 (067) 919-95-07, ORCID: 0000-0001-9746-2399



ДОМБРОВСЬКИЙ Я.І.

Завідувач відділу ДП «Державний науково-дослідний інститут будівельних конструкцій», м. Київ, Україна, e-mail: 355niisk356@gmail.com, тел.: +38 (067) 420-57-55, ORCID: 0000-0003-0687-1256



ШУМІНСЬКИЙ В.Д.

Канд. техн. наук, провідний науковий співробітник ДП «Державний науково-дослідний інститут будівельних конструкцій», м. Київ, Україна, e-mail: shumikvd@gmail.com, тел.: +38 (096) 617-55-70, ORCID: 0000-0002-8751-1983

ОСОБЛИВОСТІ ОЦІНКИ ТЕХНІЧНОГО СТАНУ ПІШОХІДНОГО МОСТУ, ПОШКОДЖЕНОГО В РЕЗУЛЬТАТІ ВІЙСЬКОВИХ ДІЙ

АНОТАЦІЯ

В статті наведені результати з оцінки технічного стану пішохідного мосту через р. Десна в м. Чернігів, який було пошкоджено внаслідок воєнних дій. Актуальність роботи обумовлена необхідністю застосування комплексного підходу до оцінки технічного стану конструкцій та елементів мосту, що зазнали пошкоджень внаслідок влучання різних боеприпасів, та обґрунтування рішень щодо його подальшої безпечної експлуатації. В роботі застосовані візуальні та інструментальні обстеження, а також динамічні випробування прогонових будов мосту. Під час обстеження визначені характерні конструкції та елементи, що були пошкоджені під час воєнних дій. За якісним і кількісним оцінюванням дефектів та пошкоджень конструктивних елементів, що отримані внаслідок

воєнних дій, з урахуванням найгірших показників стан мосту визначено як стан 5 – неприцездатний. Вимірювання значення фактичної міцності бетону залізобетонних елементів виконувалось неруйнівним методом за допомогою приладу ОНИКС 2.5. В результаті обстеження встановлено: міцність бетону балок прогонових будов знаходиться в межах $44,4 \div 47,4$ МПа, що відповідає класу бетону C25/30 ÷ C30/35; міцність бетону опор знаходиться в межах $40,1 \div 46,8$ МПа, що відповідає класу бетону C25/30 ÷ C30/35. Міцність бетону в конструктивних елементах мосту за час експлуатації не зменшилася і відповідає проектним вимогам. Динамічні випробування мосту включали визначення спектру частот власних коливань трьохпрогонової статично невизначеної металевої нерозрізної однокоробчастої балки на чотирьох опорах як суцільної конструкції.



Однак, пошкодження прогонової будови мосту, які отримані внаслідок воєнних дій, і встановлені за вимогами [1 ÷ 3], не дозволяють використовувати еквіваленти навантажень попередніх випробувань 1990 року і унеможливають їх повне зіставлення [4]. Порівняння частот коливання при збудженні прогонової будови вертикальними поштовхами з частотами вертикальних коливань, які отримані при проведенні випробувань в 1990 році, показало співпадіння їх значень з середнім відхиленням 4,1 %. Пошкодження, які отримали конструктивні елементи мосту внаслідок воєнних дій, не привели до суттєвих змін динамічних характеристик металевої прогонової будови.

КЛЮЧОВІ СЛОВА: візуальні обстеження, експлуатаційний стан, інструментальні обстеження, деформації, динамічні випробування, пішохідний міст, пошкодження, прогонова будова.

ASSESSMENT OF THE TECHNICAL CONDITION OF THE PEDESTRIAN BRIDGE DAMAGED AS A RESULT OF MILITARY ACTIONS

ABSTRACT

The article presents the results of the technical condition assessment of the pedestrian bridge over the Desna River in Chernihiv, which was damaged as a result of military actions. The relevance of the work is due to the need for a comprehensive approach to assessing the technical condition of the bridge's structures and elements that have been damaged due to the impact of various munitions, and to justify decisions regarding its further safe operation. The study utilized visual and instrumental inspections, as well as dynamic testing of the bridge's spans. During the inspection, characteristic structures and elements that were damaged during military actions were identified. Based on a qualitative and quantitative assessment of defects and damages to structural elements caused by military actions, considering the worst indicators, the bridge's condition was determined as state 5 – inoperative. Measurements of the actual strength of the concrete of reinforced concrete elements were performed non-destructively using the ONYX 2.5 device. The survey found: the strength of the concrete of the beams of the spans is within 44.4–47.4 MPa, which corresponds to the concrete class C25/30–C30/35; the strength of the concrete of the supports is within 40.1–46.8 MPa, which corresponds to the concrete class C25/30–C30/35. The strength of the concrete in the structural elements of the bridge has not decreased over time and meets the design requirements. Dynamic testing of the bridge included determining the frequency spectrum of natural oscillations of a three-span statically indeterminate metal continuous single-box girder on four supports as a monolithic structure.

However, the damages to the bridge's span structure resulting from military actions, established according to requirements [1 to 3], do not allow the use of load equivalents from previous tests in 1990 and prevent their full comparison [4]. The comparison of oscillation frequencies when exciting the span structure with vertical thrusts with the frequencies of vertical oscillations obtained during the tests in 1990 showed a coincidence of their values with an average deviation of 4.1%. The damages that the structural elements of the bridge received as a result of military actions did not lead to significant changes in the dynamic characteristics of the metal span structure.

KEYWORDS: visual inspections, operational condition, instrumental inspections, deformations, dynamic testing, pedestrian bridge, damage, span structure.

ВСТУП

В результаті воєнних дій у 2022 році в м. Чернігів був пошкоджений пішохідний міст через р. Десна (далі – міст). На час проведення робіт з оцінки технічного стану міст експлуатувався за призначенням з обмеженням за вантажопідйомністю. Зокрема, по мосту дозволявся рух пішоходів за умови огороження зруйнованих частин мостового полотна і перильного огороження, а також при обмеженні одночасного перебування на мосту не більше 50 осіб. Також було дозволено рух велосипедистів і мотоциклетного транспорту вздовж половини ширини мостового полотна та поодиноких технологічних транспортних засобів вагою до 5 тонн зі швидкістю не більше ніж 5 км/год.

В роботі використані дані попередніх обстежень мосту, що проводилися у 1990 році Дніпропетровським інститутом залізничного транспорту [4] та у 2015 році приватним підприємством «Науково-виробнича фірма «Мостопроект» [5].

Актуальність роботи обумовлена значними пошкодженнями конструкцій мосту внаслідок воєнних дій і необхідністю оцінки впливу отриманих пошкоджень на його працездатність.

МЕТА РОБОТИ – обґрунтування рішень щодо подальшої експлуатації пошкодженого мосту, а саме:

- встановлення (обґрунтування) можливості відновлення мосту та подальшої безпечної його експлуатації;
- планування робіт з відновлення мосту;
- планування невідкладних протиаварійних робіт, консервації мосту;
- обґрунтування рішень щодо припинення експлуатації мосту, виконання робіт з демонтажу (ліквідації).



МЕТОДИКА ДОСЛІДЖЕНЬ – візуальні та інструментальні обстеження, динамічні випробування мосту.

ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА МОСТУ

Пішохідний міст через р. Десна розташований в парковій зоні м. Чернігів на продовженні 1-ї Набережної вулиці правого берегу р. Десна з виходом на дорогу, що прокладена вздовж лівого берегу і в подальшому спрямована на перетин з автомобільною дорогою регіонального значення Р-67 Чернігів – Ніжин – Прилуки – Пирятин.

На рис. 1 наведений ситуаційний план розташування мосту.

Міст був побудований у 1991 році. Конструкція мосту комбінована, складається з двох нерозрізних систем: трьохпрогонової металеві нерозрізної однокоробчастої балки довжиною 242,1 м за схемою 52,8 м + 136,5 м + 52,8 м та однопрогонової залізобетонної довжиною 21,0 м, що в перетині складена трьома залізобетонними балками двотаврового перетину з попередньо напруженою арматурою. Проектні навантаження (за паспортом мосту в складі звіту [4]): натовп 400 кгс/м²; поодинокий автомобіль від технологічного транспорту вагою 13 тон. Довжина мосту – 270,59 м.

На рис. 2÷4 показаний загальний вигляд мосту.

Габарит мосту по ширині – Г-6. Прохід пішоходів і проїзд автомобільного транспорту по мосту організовано без виділення смуг руху, роздільні смуги і центральна роздільна смуга – відсутні. Покриття на мосту асфальтобетонне, товщиною 70÷130 мм.

Водовідвід організований за рахунок попереч-

ного і повздовжнього нахилу поверхні мостового полотна з періодичним розташуванням водоприймальних воронок і вертикальних випускних труб по обидві сторони мостового полотна. Відведення дощових вод – скидання в підмостовий простір.

Деформаційні шви та з'єднання з насипом виконано у вигляді деформаційних швів: на металевій частині мосту – металеві, ковзні, напівзакритого типу; на залізобетонній частині мосту – закритого типу.

Опорні частини різних конструкцій: на опорах №№ 1, 4 (металева прогонова будова) – рухливі, сергьові; на опорах №№ 2, 3 (металева прогонова будова) – стаканно-лінійні; на опорах №№ 4, 5 (залізобетонна прогонова будова) – гумово-металеві.

ВІЗУАЛЬНІ ОБСТЕЖЕННЯ

Під час візуального обстеження мосту визначались ділянки, які були пошкоджені під час воєнних дій, та здійснювалась фіксація дефектів та пошкоджень конструкцій мосту. При обстеженні конструкцій зверталась увага на наявність таких факторів:

- механічні пошкодження та руйнування несучих конструкцій внаслідок обстрілу;
- наявність тріщин та деформацій конструкцій, місця розташування пошкоджень і тріщин, ширина розкриття, довжина;
- локальне руйнування ділянок конструкцій механічним шляхом;
- наявність місць протікання, висолів, ураження грибком;
- наявність слідів корозії елементів;



Рисунок 1 – Ситуаційний план розташування пішохідного мосту через р. Десна в м. Чернігів



Рисунки 2 ÷ 4 – Загальні види на пішохідний міст через р. Десна в м. Чернігів.
 Вид на пошкодження мосту з лівого берега в бік центру міста



Рисунки 5 ÷ 6 – Пробиття бокового вертикального листа та поперечних ребер металевої балки мосту та бокового вертикального листа та ребер жорсткості металевої балки мосту



Рисунки 7 ÷ 8 – Пошкодження (пробиття) бокового вертикального листа та елементів поперечної рами жорсткості металевої балки мосту, а також бокового вертикального листа металевої балки мосту



- дефекти, що знижують несучу здатність конструкцій та довговічність експлуатації мосту;
- деформації від силових впливів та перевантаження конструкцій;
- технічний стан системи водовідведення;
- стан захисного покриття металевих конструкцій;
- стан захисного шару в залізобетонних конструкціях;
- ступінь пошкодження арматури і закладних деталей корозією;
- стан покриття мостового полотна та покриття на підходах до мосту.

Внаслідок влучання різних боєприпасів несучі конструкції та елементи мосту зазнали пошкоджень, що призвели до:

- руйнування мостового полотна прогонових будов та асфальтобетонного покриття проїзної частини від вибухів;
- наскрізного пробиття листів коробчастої металевої балки снарядами та вигинів і деформування її бокових листів;
- руйнування снарядами ортотропної плити та внутрішніх поперечних і повздовжніх

ребер жорсткості;

- руйнування поверхні оголовка опор уламками снарядів;
- руйнування вибухами снарядів бетонного покриття поверхні конусу.

Характерні пошкодження конструкцій наведені на рис. 5÷13.

За якісним і кількісним оцінюванням дефектів



Рисунок 9 – Деформація елементів металевої балки мосту внаслідок вибуху



Рисунки 10÷11 – Пробиття і деформування горизонтального та вертикального листів балки прогонової будови № 3-4



Рисунки 12÷13 – Пошкодження металевого перильного огородження, пробиття мостового полотна на прогонової будови № 3-4 та залізобетонного лицевального блоку опори № 2



та пошкоджень конструктивних елементів, що отримані внаслідок воєнних дій, з урахуванням найгірших показників, стан мосту визначено як стан 5 – непрацездатний.

За результатами виконаних відповідно до вимог [2] розрахунків вантажопідйомності прогонових будов встановлено, що прогонова будова № 3-4 внаслідок отриманих пошкоджень зазнала втрати вантажопідйомності за згинальним моментом, яка склала 27,0 %. За зниженням вантажопідйомності прогонових будов міст знаходиться в стані 4 – обмежено працездатний.

За якісним і кількісним оцінюванням дефектів та пошкоджень стан опор і опорних частин мосту відповідно до вимог [2] визначається як стан 4 – обмежено працездатний.

ІНСТРУМЕНТАЛЬНІ ОБСТЕЖЕННЯ

Вимірювання значення фактичної міцності бетону залізобетонних елементів виконувалось неруйнівним методом за допомогою приладу ОНИКС 2.5. В результаті обстежень встановлено: міцність бетону балок прогонових будов знаходиться в межах $44,4 \div 47,4$ МПа, що відповідає класу бетону C25/30 ÷ C30/35 (B30 ÷ B35); міцність бетону опор знаходиться в межах $40,1 \div 46,8$ МПа, що відповідає класу бетону C25/30 ÷ C30/35 (B30 ÷ B35). Міцність бетону в конструктивних елементах мосту за час експлуатації не зменшилася і відповідає проектним вимогам.

ОЦІНКА ЕКСПЛУАТАЦІЙНОГО СТАНУ МОСТУ

Оцінювання експлуатаційного стану мосту за результатами обстеження виконано відповідно до вимог [1, 2].

Вихідними даними для розрахунку є номери експлуатаційного стану груп конструктивних елементів мосту: проїзна частина – стан 5; прогонова будова – стан 5; опори та опорні частини – стан 4; фундаменти – стан 2; підмостове русло – стан 3; підходи – стан 3. Експлуатаційний стан мосту в цілому оцінено за формалізованою експертною оцінкою. Відповідно до результатів обстеження рейтинг мосту складає 38,4 бали. Згідно з [2], якщо отримане значення рейтингу менш ніж 39 балів, то міст знаходиться в стані 5 – непрацездатний.

ДИНАМІЧНІ ВИПРОБУВАННЯ МОСТУ

Динамічні випробування мосту є обов'язковою процедурою під час визначення технічного стану прогонових будов з розрахунковою довжиною прольоту 35 м і більше, а також для всіх мостів, які розташовані в районах із сейсмічністю 7 балів і більше та мають прогонові будови довжиною понад 18 м. Для інших конструкцій динамічні випробування проводять за потреби визначення впливу на них динамічного навантаження

чи визначення впливу коливань конструкції на комфортність руху (наприклад, пішоходів).

Динамічні випробування прогонів мосту виконувалось відповідно до [3]. За методами проведення випробувань та аналізування їхніх результатів розрізняють такі види експлуатаційних динамічних випробувань: модальне контролювання (аналізування вільних коливань); випробування рухомим навантаженням (аналізування вимушених коливань). Динамічні випробування прогонів мосту здійснювались методом модального контролювання (оскільки рух транспортних засобів, окрім технологічного з обмеженням швидкості, по мосту було заборонено) та включали такі етапи: підготовка до натурних випробувань; проведення натурних випробувань; порівняння результатів випробувань з розрахунками та складання висновку.

На етапі підготування динамічних випробувань мосту відповідно до вимог [3] було виявлено особливості його конструкції як динамічної системи. Конструкція мосту складається з двох нерозрізних систем, які можна виділити в окремі динамічні моделі: трьохпрогонова статично невизначена металева нерозрізна однокоробчата балка на чотирьох опорах довжиною 242,1 м ($52,8 \text{ м} + 136,5 \text{ м} + 52,8 \text{ м}$) (прогони №№ 1-2, 2-3 та 3-4) та однопрогонова залізобетонна частина на двох опорах довжиною 21,0 м (прогін № 4-5).

Динамічні випробування мосту включали визначення спектру частот (модальне контролювання) власних коливань трьохпрогової статично невизначеної металевої нерозрізної однокоробчатої балки на чотирьох опорах (прогони №№ 1-2, 2-3 та 3-4) як суцільної конструкції з урахуванням внесків кожного з прогонів в загальні коливання. Визначення внеску окремих прогонів в загальні коливання прогонової будови оцінювалось зіставленням спектрів коливань в кожному з вказаних прогонів при ініціюванні коливань імпульсним навантаженням. Пошкодження, які отримали конструктивні елементи мосту, призвели до суттєвого зниження вантажопідйомності прогонових будов і не дозволяють відтворити умови динамічного навантаження, які було застосовано під час попередніх динамічних випробувань 1990 року [4].

За методикою [3] при динамічних випробуваннях мосту виконувались такі роботи:

- 1) визначення центральних точок поверхні мостового полотна кожного з прогонів (прогони № 1-2, № 2-3 та № 3-4) з похибкою 0,1 м;
- 2) закріплення в цих точках поверхні мостового полотна одновісного перетворювача прискорення з орієнтацією осі вимірювання з максимальним відхиленням від вертикальної осі 3° та підготовка обладнання фіксації сигналів коливання поверхні



мостового полотна прогону до запису;

- 3) розташування відносно перетворювача прискорення спеціальної групи з чотирьох пішоходів (фрагмент імітації натовпу), що створює навантаження, близьке до проектного 400 кгс/м^2 ;
- 4) фіксація сигналів коливання поверхні мостового полотна прогону;
- 5) ініціювання коливального імпульсу в прогоновій будові шляхом підстрибування з жорстким приземленням групи з чотирьох пішоходів (п. 3);
- 6) витримка часу для згасання коливань в прогоновій будові;
- 7) виконання п.п. 6, 7 для накопичення статистичних даних;
- 8) послідовне виконання п.п. 2-8 для прогонів № 2-3 та № 3-4;
- 9) обробка результатів вимірювань з визначенням частот власних коливань прогонових будов мосту.

За результатами динамічних випробувань отримані значення частот власних коливань прогонових будов металевої частини мосту, які складають для прогонів: № 1-2 – $42,33 \pm 0,868 \text{ Гц}$; № 2-3 – $26,682 \pm 0,37 \text{ Гц}$; № 3-4 – $41,448 \pm 0,267 \text{ Гц}$.

Пошкодження прогонової будови мосту, які отримані внаслідок воєнних дій, і встановлені за вимогами $[1 \div 3]$ відповідні обмеження з вантажопідйомності прогонових будов не дозволяють використовувати еквіваленти навантажень попередніх випробувань 1990 року [4] та унеможливають їх повне зіставлення. Зіставлення частот коливання за виконаними випробуваннями, що встановлені при збудженні прогонової будови вертикальними поштовхами, з частотами вертикальних коливань, які отримані при проведенні випробувань в 1990 році, показало співпадіння їх значень з середнім відхиленням $4,088 \%$. Найбільша розбіжність має місце для третьої моди коливань і складає $28,57 \%$.

Найменше значення частоти власних коливань, яке має прогонова будова, притаманне прогону № 2-3 і складає $26,682 \pm 0,37 \text{ Гц}$, що значно вище межі утворення резонансних явищ для пішохідних мостів. Пошкодження, які отримали конструктивні елементи мосту внаслідок воєнних дій, не призвели до суттєвих змін динамічних характеристик металевої прогонової будови.

ВИСНОВКИ

1. За результатами обстеження встановлено, що пішохідний міст через р. Десна в м. Чернігів отримав дефекти та пошкодження від воєнних дій. За якісним і кількісним оцінюванням дефектів та пошкоджень конструктивних елементів, що отримані внаслідок влучання різних боєприпасів, та з урахуванням найгірших

показників стан мосту визначається як стан 5 – непрацездатний.

2. За результатами виконаних відповідно до вимог [2] розрахунків вантажопідйомності прогонових будов встановлено, що прогонова будова № 3-4 внаслідок пошкоджень, що отримані внаслідок бойових дій, зазнала втрати вантажопідйомності за згинальним моментом, яка складає $27,0 \%$. За зниженням вантажопідйомності прогонових будов міст знаходиться в стані 4 – обмежено працездатний.
3. За результатами обстеження рейтинг мосту складає $38,4$ балів, що менше ніж 39 балів. Відповідно рейтингу згідно до вимог [2], міст знаходиться в стані 5 – непрацездатний.
4. За узагальненням експлуатаційних показників експлуатаційний стан мосту, який отримав пошкодження внаслідок воєнних дій, визначається як стан 5 – непрацездатний.
5. Пошкодження прогонової будови мосту, які отримані внаслідок воєнних дій і встановлені за вимогами $[1 \div 3]$, не дозволяють використовувати еквіваленти навантажень попередніх випробувань 1990 року і унеможливають їх повне зіставлення з даними попередніх випробувань [4]. Порівняння частот коливання при збудженні прогонової будови вертикальними поштовхами з частотами вертикальних коливань, які отримані при проведенні випробувань у 1990 році, показало співпадіння їх значень з середнім відхиленням $4,1 \%$. Найбільша розбіжність має місце для третьої моди коливань і складає $28,6 \%$. Найменше значення частоти власних коливань притаманне прогону № 2-3 і складає $26,682 \pm 0,37 \text{ Гц}$, що значно вище межі утворення резонансних явищ для пішохідних мостів. Пошкодження, які отримали конструктивні елементи мосту внаслідок воєнних дій, не призвели до суттєвих змін динамічних характеристик металевої прогонової будови.
6. До виконання робіт з відновлення мосту рекомендується вести спостереження за станом пошкоджених елементів конструкції мосту з інтервалом 10 діб, встановити тимчасові огороження для заборони доступу до зруйнованих поверхонь мостового полотна і зруйнованих ділянок перильного огороження. Особливу увагу слід приділити постійному контролю за неприпустимістю накопичення зливових і талих вод у внутрішніх об'ємах металевої мостової балки та улаштуванню додаткових дренажних отворів.



БІБЛІОГРАФІЧНИЙ СПИСОК

1. ДБН В.2.3-6:2009 Мости та труби. Обстеження і випробування. Київ: Мінрегіонбуд України, 2009.
2. ДСТУ 9181:2022 Настанова з оцінювання і прогнозування технічного стану автодорожніх мостів. Київ: ДП «УкрНДНЦ», 2023.
3. ДСТУ 8748:2017 Настанова щодо проведення динамічних випробувань автодорожніх мостів. Київ: ДП «УкрНДНЦ», 2017.
4. Исследование статической и динамической работы пешеходного моста через реку Десна в г. Чернигов / Отчёт № 635 по теме № 11.15.89.90 / – Днепропетровск: ДИИТ, 1990. – 58 с.
5. Спеціальне обстеження пішохідного мосту через р. Десна в м. Чернігові / Звіт / – К.: ПП «Науково-виробнича фірма «Мостопроект», 2015. – 41 с. (Паспорт мосту у складі звіту).

REFERENCES

1. DBN V.2.3-6:2009 «Bridges and pipes. Examination and testing».
2. DSTU 9181:2022 «Instructions for evaluating and predicting the technical condition of road bridges».
3. DSTU 8748:2017 «Instructions for conducting dynamic tests of highway bridges».
4. Investigation of the static and dynamic work of the pedestrian bridge over the Desna River in Chernigov / Report No. 635 on topic No. 11.15.89.90 / — Dnipropetrovsk: DYYT, 1990.
5. Special survey of the pedestrian bridge across the Desna River in Chernihiv / Report / – K.: PP "Science and Production Firma «Mostoproekt», 2015. – 41 p. (Passport of the bridge is part of the report).

Стаття надійшла до редакції 15.01.2024 року



Doi: <https://doi.org/10.33644/2313-6679-1-2024-4>

УДК 69.059.2:624.159.2



БАЙДА Д.М.

Канд. техн. наук, доцент кафедри гірничих технологій та будівництва ім. проф. Бакка М.Т. Державного університету «Житомирська політехніка», м. Житомир, Україна, e-mail: denisbayda@gmail.com, тел.: +38 (097) 041-38-12, ORCID: 0009-0004-0004-377X



МАЄВСЬКА І.В.

Канд. техн. наук, доцент кафедри будівництва, міського господарства та архітектури Вінницького національного технічного університету, м. Вінниця, Україна, e-mail: irina.mayevskaja@gmail.com, тел.: +38 (096) 543-09-12, ORCID: 0000-0001-5999-6824



ПОПОВ В.О.

Канд. техн. наук, доцент кафедри будівництва, міського господарства та архітектури Вінницького національного технічного університету, м. Вінниця, Україна, e-mail: v.a.popov.vntu@gmail.com, тел.: +38 (093) 757-22-69, ORCID: 0000-0003-2379-7764



БАШИНСЬКИЙ С.І.

Канд. техн. наук, завідувач кафедри гірничих технологій та будівництва ім. проф. Бакка М.Т. Державного університету «Житомирська політехніка», м. Житомир, Україна, e-mail: kgt.bsi@ztnu.edu.ua, тел.: +38 (096) 758-75-18, ORCID: 0000-0002-2945-7683

ПРИЧИНИ НЕРІВНОМІРНИХ ДЕФОРМАЦІЙ БУДІВЛІ ШКОЛИ, ЯКА ЗАЗНАЛА ПОШКОДЖЕНЬ ВНАСЛІДОК ПІДТОПЛЕННЯ

АНОТАЦІЯ

У статті розглянуто вирішення науково-практичної задачі із визначення причин нерівномірних деформацій будівлі школи в умовах підтоплення. Ця будівля побудована в складних інженерно-геологічних умовах і під час повені зазнала пошкоджень у вигляді тріщин. Під час вирішення задачі були застосовані такі методи: візуальне обстеження, обміри конструкцій, інженерно-геологічні дослідження геологічної будови ділянки, дослідження фундаментів і ґрунтів в шурфах, перевірочні розрахунки фундаментів та основи будівлі. За результатами досліджень ґрунтів в свердловинах та шурфах була встановлена суттєва чутливість характеристик ґрунтів основи фундаментів будівлі під час замочування. Подальші розрахунки показали, що несуча здатність ґрунтів основи фундаментів забезпечена, але значення осідання між фундаментами відрізняються в 2,6...3,4 рази. Різні осідання фундаментів призведе-

ли до розвитку тріщин в цегляних стінах будівлі шириною розкриття 10...45 мм. Аналіз отриманих даних дозволив встановити такі причини нерівномірних деформацій фундаментів будівлі: 1) геотехнічну, яка полягає у суттєвому погіршенні деформаційних характеристик слабких ґрунтів внаслідок підтоплення; 2) конструктивну, яка обумовлена помилковим конструктивним рішенням підземної частини будівлі. У цьому рішенні було прийнято відокремлене розташування огорожуючих стін підвалу від основних несучих стін будівлі та збільшені розміри фундаментів стін підвалу із розрахунку на зсув. Це призвело до нерівномірного навантаження фундаментів середніх та крайніх стін з різницею тиску в 2...2,5 рази.

На підставі аналізу властивостей ґрунтів основи фундаментів було встановлено, що на момент обстеження більша частина їх потенційно можливих деформацій вже вичерпана. Це дозволило



відмовитися від заходів з підсилення фундаментів і обмежитися тільки необхідними ремонтними роботами із усунення виявлених пошкоджень конструкцій будівлі. Аналіз чинних нормативних документів в сфері проектування фундаментів в складних ґрунтових умовах дозволив виявити невідповідності та проблемні питання положень чинних норм, які для покращення практики проектування потребують подальшого вирішення.

КЛЮЧОВІ СЛОВА: Нерівномірні деформації, складні ґрунтові умови, підтоплення ґрунтів основи, обстеження фундаментів, технічний стан.

CAUSES OF DIFFERENTIAL SETTLEMENT OF THE DAMAGED SCHOOL BUILDING AS A RESULT OF SOIL FLOODING

ABSTRACT

The article deals with the scientific and practical problem of determining the causes of differential settlement of school building that were flooded. This building was built in difficult soil conditions and suffered damage in the form of cracks during the flood. To solve the problem, the following methods were used: visual inspection, measurements of structures, engineering geology studies of the geological structure of the site, studies of foundations and soils in test pits, verification calculations of the building foundations. Soils investigation in boreholes and test pits allowed to establish a significant deterioration of the soil parameters during flooding. The results of the calculations showed that the bearing capacity of the underlying soils of the foundations is ensured, but the settlement values between the foundations differ by 2,6...3,4 times. The different settlements of the foundations led to the formation of cracks in the brick walls of the building with a width of 10...45 mm. The detailed analysis of the obtained data makes it possible to establish the following causes of differential settlements of building foundations: geotechnical, which consists in a significant deterioration of soil deformation parameters due to flooding; 2) structural, which is caused by an incorrect structural solution of the underground part of the building. In this decision, a separate location of the enclosing walls of the basement from the main load-bearing walls of the building was adopted and the dimensions of the foundations of the basement walls were increased based on the results of the stability calculation. This led to uneven loading of the foundations of the middle and outer walls with a pressure difference of 2...2,5 times.

The analysis of the obtained data made it possible to establish that the cause for the crack damages in the load-bearing walls of the school building is the differential settlement of the foundations. It was also established that at the time of the inspection, most of the potentially possible deformations of the base

had already been exhausted. This made it possible to exclude work on strengthening the foundations of the building from the repair work volume of the building damages. During the research, inconsistencies in regulatory documents and problematic issues that require further resolution to improve design practice were identified.

KEYWORDS: Differential settlement, difficult soil conditions, soil flooding, inspecting foundation, assessment, condition level.

ВСТУП

Однією із найбільш розповсюджених причин відмов будівель та споруд є нерівномірні деформації ґрунтів основи фундаментів, що зумовлюють виникнення недопустимих напружень в конструкціях надземної частини. Переважно такі відмови виникають, коли будівлі та споруди побудовані в складних інженерно-геологічних умовах. Найбільш розповсюджений та небезпечний механізм такої відмови реалізується через локальне замочування, що обумовлює виникнення додаткових деформацій або просідань ґрунтів. Також розповсюджений механізм відмови, коли внаслідок геотехнічних дій природного або техногенного характеру відбувається погіршення характеристик ґрунтів, що призводить до подальшого збільшення нерівномірних деформацій вище граничних значень. Запобігти проявам небезпечних геологічних процесів протягом експлуатації будівель та споруд майже не можливо. Тому під час проектування будівель та споруд необхідно усунути можливість виникнення нерівномірних деформацій або знизити їх до допустимих значень.

У зв'язку з техногенним впливом діяльності людини, проблемою зміни клімату інженерно-геологічні умови існуючих будівель та споруд змінюються, як правило, в сторону їх погіршення. Ці зміни виходять за межі їх початкових проектних вимог. Таким чином, окрім задачі правильного проектування виникає потреба у прийнятті заходів із мінімізації негативного впливу процесів погіршення інженерно-геологічних умов на існуючі будівлі та споруди.

Для удосконалення нормативних вимог, покращення практики проектування та виконання заходів із підтримування нормального технічного стану існуючих будівель та споруд важливе значення має вивчення позитивного та негативно-го досвіду будівництва в складних інженерно-геологічних умовах.

В цій статті на прикладі обстеження будівлі школи в с. Велика Кісниця Ямпільського району Вінницької області [1, 2] розглянуті причини розвитку нерівномірних деформацій в одному із блоків школи та зроблені висновки відносно запобігання таких ситуацій на практиці.



АНАЛІЗ ДОСЛІДЖЕНЬ ТА ПУБЛІКАЦІЙ

Складні ґрунтові умови, які характеризуються розповсюдженням просідаючих та слабких нестійких ґрунтів, розповсюджені майже по всій території України. Наприклад, просідаючі ґрунти залягають на площі близько 70 % території країни. Окрім цього, на більшій частині території України розповсюджені складні ґрунтові умови, які обумовлені потенційними проявами небезпечних геологічних процесів (карстами, зсувами, підтопленням, затопленням, землетрусами тощо) [3].

Однією із складних проблем для України є проблема підтоплення та затоплення територій через весняні повені. Так, за даними Державного агентства водних ресурсів України на 2017 рік [4] негативні наслідки від повеней і паводків проявляються на 27 % території України (165 тис. км²), де проживає майже третина населення країни. Ця проблема також є гострою для сусідніх країн та загалом Європейського Союзу. З метою зниження ризиків для населення та ведення господарської діяльності Європейським парламентом була прийнята відповідна Директива № 2007/60/ЄС [5], яка поступово імплементується в Україні.

Окреслені проблеми обумовлюють необхідність проведення подальших досліджень небезпечних геологічних процесів в Україні і необхідність виконання системного удосконалення нормативної бази в сфері проектування та будівництва будівель та споруд в складних інженерно-геологічних умовах, а також захисту територій від проявів небезпечних геологічних процесів [6]. Зокрема, для вирішення питань захисту територій, будівель та споруд від негативних дій процесів підтоплення та затоплення було розроблено та впроваджено нові нормативні акти і документи:

- ДБН В.1.1-25-2009 [7];
- ДСТУ-Н Б В.1.1-38:2016 [8].

Питанням проектування, будівництва та забезпечення технічного стану будівель і споруд при небезпечних геологічних процесах в Україні і за кордоном приділяється значна увага. Огляд напрямків досліджень, які виконуються в Україні, розглянуті в роботі [9]. Більшість публікацій у

вітчизняних та закордонних виданнях присвячено дослідженням нерівномірних деформацій існуючих будівель внаслідок будівництва в умовах щільної забудови, розповсюдження просідаючих ґрунтів та карстів.

Досліджень технічного стану будівель, які зазнали нерівномірних деформацій через підтоплення або затоплення під час паводків, недостатньо. В публікації [10] розглянутий випадок історичної будівлі, яка через затоплення зазнала нерівномірних деформацій. Понадграниці нерівномірні деформації сталися внаслідок помилок під час попередніх реконструкцій будівлі, а також неврахування небезпечних геологічних процесів підтоплення і затоплення.

Науково-практичне дослідження, результати якого наведені в даній статті, є узагальненням багаторічного інженерного досвіду науковців та фахівців Вінницького національного технічного університету, Державного університету «Житомирська політехніка» з вирішення питань оцінки технічного стану та відновлення експлуатованих конструкцій будівель. Окремі результати авторів з виконання досліджень технічного стану будівель, які побудовані в складних інженерно-геологічних умовах, представлені в публікаціях [11-13].

ІСТОРІЯ ПИТАННЯ ТА РЕЗУЛЬТАТИ ВІЗУАЛЬНОГО ОБСТЕЖЕННЯ

Будівля загальноосвітньої школи І-ІІІ ступенів збудована в 1986 р., знаходиться в с. Велика Кісниця Ямпільського району Вінницької області і розташована в заплаві р. Марківка на її лівому березі в 70 м від русла. Абсолютна відмітка поверхні землі біля будівлі школи складає 49,9...50,0 м. В конструктивному відношенні школа є безкаркасною цегляною будівлею з поздовжніми несучими стінами (рис. 1, 2).

В процесі обстеження основні пошкодження були виявлені в стінах західного блоку (ліва частина будівлі школи на рис. 1, 2), що свідчить про те, що цей блок найбільше постраждав від нерівномірних деформацій основ. За свідченнями працівників школи, найбільших нерівномірних



Рисунок 1 – Загальний вигляд школи. Частина головного фасаду в осях «1-14» з центральним входом. Зліва розташований 2-поверховий західний блок школи



Схема школи

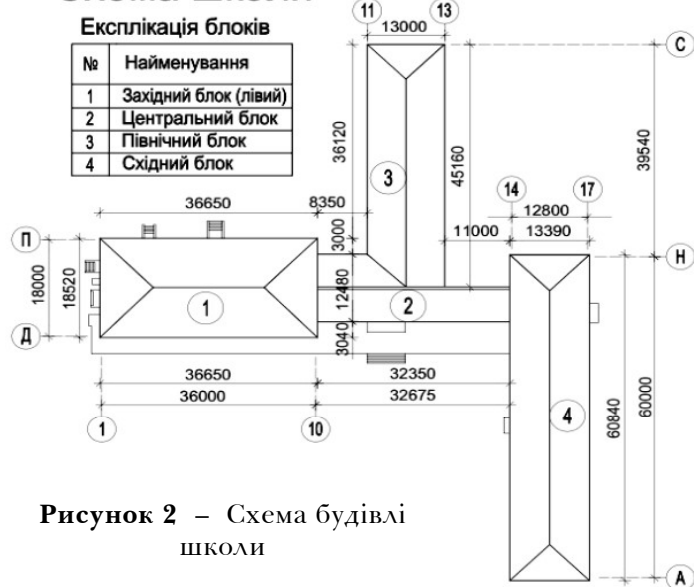


Рисунок 2 – Схема будівлі школи

деформацій цей блок зазнав через зміни гідрогеологічних умов ділянки в районі школи під час підтоплення внаслідок стихійної липневої повені 2008 року.

23-28 липня 2008 року сталося часткове затоплення с. Велика Кісниця водними потоками р. Дністер. Рівень поверхневих вод піднявся до абсолютної відмітки 49,8 м. В цей період через зміни гідрогеологічних умов ділянки в районі школи її будівля зазнала нерівномірних деформацій. Внаслідок цих деформацій в стінах будівлі виникли тріщини (рис. 3, 4), суттєво (до 5 см) просіли внутрішні перегородки з утворенням горизонтальних та вертикальних тріщин (рис. 5).

Внаслідок цих деформацій найбільших видимих пошкоджень зазнала зовнішня торцева стіна по осі «1», в якій під час огляду були виявлені по висоті тріщини шириною розкриття до 45 мм (рис. 3). В інших несучих стінах виявлені тріщини шириною розкриття до 10 мм. При цьому просідання перегородок виявлено в безпідвальних частинах будівлі школи (рис. 5).

За результатами візуального обстеження технічного стану основних несучих та огорожувальних конструкцій будівлі школи були зроблені такі висновки:

- частина зовнішньої стіни по осі «1» в осях «П-Д» через можливість обрушення ділянок стіни в місцях опирання перемичок знаходиться в аварійному стані;
- приміщення першого поверху західного блоку в осях «Д-П/1-4» через наявність значних деформаційних тріщин в стінах та перегородках знаходяться у непридатному до нормальної експлуатації технічному стані;
- інші частини будівлі школи знаходяться у задовільному стані.

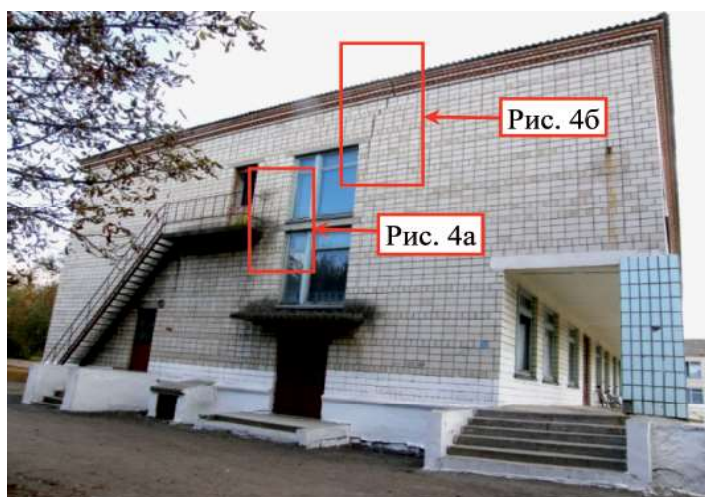


Рисунок 3 – Загальний вигляд торцевої стіни західного блоку по осі «1» (фасад в осях «П-Д»)



Рисунок 4 – Тріщини в зовнішній стіні західного блоку по осі «1» (фрагменти фасаду в осях «П-Д», які виділені на рис. 3)



Рисунок 5 – Характерний вигляд тріщин в перегородках безпідвальних приміщень західного блоку через просідання ґрунтів основи



Характер виявлених пошкоджень в стінах у вигляді вертикальних тріщин на всю висоту будівлі свідчить, що їх причиною є нерівномірні деформації основи фундаментів школи. В різних частинах школи, виходячи з ширини розкриття цих тріщин, ступінь розвитку нерівномірних деформацій основ фундаментів є різним.

Для запобігання можливій аварійній ситуації за результатами візуального обстеження був встановлений геодезичний контроль за деформаціями фундаментів та нагляд за динамікою тріщин по встановлених на стінах та перегородках маяках.

ДЕТАЛЬНЕ ОБСТЕЖЕННЯ ҐРУНТІВ ОСНОВИ ТА ФУНДАМЕНТІВ

З метою з'ясування причин нерівномірних деформацій і розробки першочергових протиаварійних заходів було виконане детальне інструментальне обстеження, яке включало:

- детальні обміри із складанням креслень західного блоку школи (рис. 6 ÷ 8);
- інженерно-геологічні дослідження геологічної будови ділянки в межах західного блоку школи з визначенням фізико-механічних характеристик ґрунтів;
- відкопування шурфів з метою безпосереднього обстеження стану фундаментів та ґрунтів під ними;

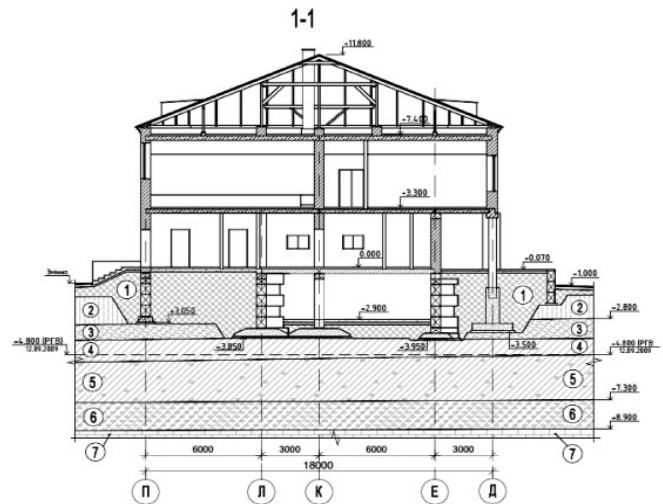


Рисунок 7 – Розріз 1-1 західного блоку школи (див. разом з рис. 6)

- перевірочні розрахунки основ та фундаментів західного блоку школи.

ІНЖЕНЕРНО-ГЕОЛОГІЧНІ ДОСЛІДЖЕННЯ ГЕОЛОГІЧНОЇ БУДОВИ ДІЛЯНКИ

В ході вишукувань згідно з завданням були пробурені 3 розвідувальні свердловини глибиною по 7,7÷8,0 м за межами будівлі (рис. 6, 7).

Під час буріння були відібрані ґрунти для лабораторних досліджень. За результатами досліджень було встановлено (див. рис. 7):

- з поверхні ділянки до глибини 0,5-1,2 м залягають різноманітні насипні ґрунти (ІГЕ-1 на рис. 7);
 - далі до глибини 6,0-6,5 м приймають участь відклади еолово-делювіального, алювіального, озерно-алювіального генезису, котрі представлені заплавними відкладеннями – туго-м'якопластичними суглинками з домішками галечнику (ІГЕ-2-5 на рис. 7). Заплавні відкладення ІГЕ 2-5 є слабкими сильностисливими замуленими суглинками, що характеризуються нерівномірною щільністю, нерівномірним розподіленням гумусу, розуцільненістю, анізотропією, мінливістю фізико-механічних показників по товщі;
 - заплавні відкладення на глибині 6,0-6,5 м підстилаються галечниковим ґрунтом з суглинним заповнювачем, які на глибині 7,7-8,0 м переходять у скельний ґрунт – вапняк тріщинуватий, маломіцний (ІГЕ-6 та ІГЕ-7 на рис. 7);
 - глибина залягання ґрунтових вод 3,8-4,0 м. Сезонні коливання рівня ґрунтових вод можуть сягати $\pm 1,0$ м.
- На досліджуваній ділянці місцевості присутні несприятливі фізико-геологічні

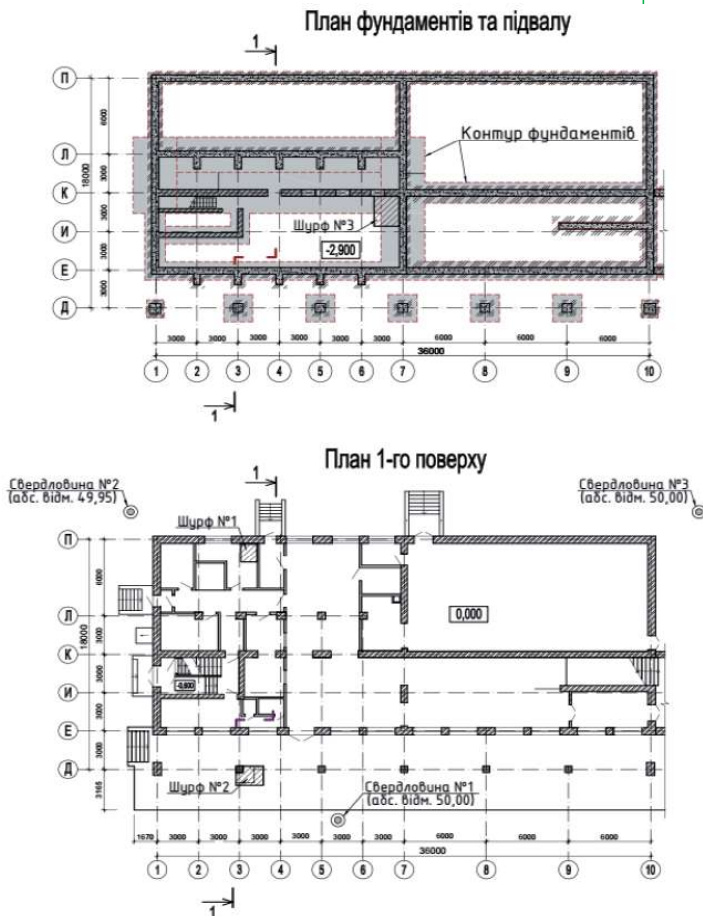


Рисунок 6 – Плани західного блоку школи



процеси і явища:

- наявність в верхній частині товщі просідаючих ґрунтів І типу (ІГЕ-2 на рис. 7). Як видно з рис. 7, просідаючі ґрунти залягають вище підшви фундаментів;
- територія піддається підтопленню та затопленню.

ДОСЛІДЖЕННЯ ҐРУНТІВ В ШУРФАХ

Було виконано 3 шурфа, розташування яких показано на рис. 6, 7. У шурфах досліджували ґрунт ІГЕ-4 з-під підшви фундаментів по осі «К» і ґрунт зворотної засипки під плитами покриття тераси по осі «Д» – суглинок чорний гумусований. Моноліти ІГЕ-4 відбирали нижче підшви фундаментів. Характеристики міцності ґрунтів визначали у двох станах: у стані повного водонасичення і у стані природної вологості. Це дозволило встановити чутливість характеристик міцності ґрунтів до замочування.

Вибіркові результати лабораторних досліджень властивостей ґрунтів у свердловинах (за межами будівлі) і дослідних шурфах наведені у табл. 1. Аналіз цих результатів показує, що:

- механічні характеристики ґрунтів майданчику погіршуються під час замочання;
- ґрунт ІГЕ-4 під підшвою фундаментів має меншу вологість, більшу щільність і кращі механічні характеристики, ніж за межами будівлі (див. табл. 1), що є наслідком його ущільнення під навантаженням;
- ґрунт зворотної засипки під плитами покриття тераси залишається недоущільненим ($g_d = 13,3 \text{ кН/м}^3$) і має потенційну можливість

додаткових деформацій. Через це під час затоплення деформації ґрунту зворотної засипки призвели до просідання перегоронок першого поверху в осях «Л-П/1-7» і «Д-Е/3-4» (див. рис. 6, 7).

ПЕРЕВІРОЧНІ РОЗРАХУНКИ ОСНОВ ТА ФУНДАМЕНТІВ

Перевірочні розрахунки основ і фундаментів виконували відповідно до [14, 15] на експлуатаційні сполучення навантажень з врахуванням погіршених характеристик ґрунтів у випадку їх замочання. Розрахунки показали, що тиск по підшві фундаментів основних несучих стін західного блоку не перевищує розрахункового опору ґрунтів основи (табл. 2). Для більшості фундаментів умова міцності ґрунту виконується навіть без урахування тривалої експлуатації будівлі, яка призводить до ущільнення ґрунтів під фундаментами і збільшення розрахункового опору. Виключення складають фундаменти під зовнішньою стіною по осі «П» та стіною по осі «Е» в осях «3-7» (див. рис. 6, 7), де умова міцності після погіршення властивостей ґрунтів внаслідок замочування виконується тільки з урахуванням тривалого обтиснення. З даних підсумкової табл. 2 видно, що фундаменти середніх стін в підвальній частині будівлі суттєво недовантажені, що говорить про суттєве завищення їх площі.

Нерівномірне завантаження ґрунтів основи призвело і до значної нерівномірності максимальних значень осідань під різними фундаментами. Абсолютне значення максимальних осідань

не перевищує допустимого за нормами для безкаркасних будівель значення $S_{ис} = 8 \text{ см}$ (п. 5 табл. В.1 [15]), але відносна нерівномірність осідань між середніми і крайніми фундаментами західного блоку в підвальній частині перевищує допустиме значення, як видно з рис. 8, де показана епіюра максимальних деформацій ґрунтів під фундаментами несучих стін.

Рис. 8 пояснює причини виникнення тріщин у поперечній стіні по осі «І». Суттєво більші осідання крайніх фундаментів у порівнянні з середніми призвели до вигину будівлі у поперечному напрямку з виникненням тріщин в верхній зоні.

Таблиця 1 – Властивості ґрунтів, зразки яких були відібрані із шурфів (для порівняння наведені характеристики цих ґрунтів за межами будівлі за даними свердловин)

№ ІГЕ	Найменування ґрунтів	Тип виробок для відбору зразків	Питома вага	Питома вага сухого ґрунту	Показник текучості	Питоме зчеплення	Кут внутрішнього тертя	Модуль деформації
			γ , кН/м^3	γ_d , кН/м^3				
Зворотна засипка	Суглинок напівтвердий, гумусований, чорний	Шурфи	17,6	13,3	$\frac{0,19}{0,50}$	$\frac{25}{10}$	$\frac{17}{17}$	$\frac{6}{6}$
		Свердловини	17,0	–	–	–	–	–
4	Суглинок тугопластичний, темно-сірий	Шурфи	19,7	16,1	$\frac{0,25}{0,50}$	$\frac{35}{25}$	$\frac{13}{13}$	$\frac{19}{19}$
		Свердловини	17,4	13,5	$\frac{0,69}{0,95}$	$\frac{1}{12}$	$\frac{1}{10}$	$\frac{5,0}{3,5}$

Примітка. В чарунках над рисою наведені показники зразків у природному стані, під рисою – у водонасиченому стані.



Таблиця 2 – Перевірка виконання розрахункових умов ДБН В.1.1-45:2017 для фундаментів основних несучих стін західного блоку

Фундамент	σ , кПа	σ_R , кПа	Перевірка умови $\sigma \leq \sigma_R$ (умова)	S , см	Перевірка умови $S \leq S_{us}$, ($S_{us} = 8$ см)
Стіна зовнішня по осі «П» (в осях 1-7»)	200,3	$\frac{148}{203,1}$	+	3,63	+
Стіна внутрішня по осі «Л» (в осях 1-7»)	86,7	134,5	+	1,65	+
Стіна внутрішня по осі «К» (в осях «1-3»)	78,8	136,1	+	1,36	+
Стіна внутрішня по осі «К» (в осях «3-7»)	88,6	136,1	+	1,98	+
Стіна внутрішня по осі «И» (в осях «1-3»)	107,9	122,9	+	2,04	+
Стіна внутрішня по осі «Е» (в осях «1-3»)	133,6	133,9	+	3,13	+
Стіна внутрішня по осі «Е» (в осях «3-7»)	153,0	$\frac{133,9}{187,0}$	+	3,58	+
Під колону по осі «Д»	178,3	168,0	+	4,68	+

Примітка. Умовні позначення до таблиці:

σ – розрахункове напруження під підшвою фундаментів;

σ_R – напруження, що відповідає розрахунковому опору основи R (в знаменнику наведене значення з врахуванням тривалого навантаження основи згідно з [16]);

S – розрахункове значення спільної деформації будівлі і основи (осідання);

$S_{us} = 8$ см – граничне значення деформації основи (осідання) відповідно до п. 5 табл. В.1 [15].

За результатами розрахунків ширина розкриття тріщин в верхній зоні стіни по осі «І» показує, що деформації основи близькі до своїх максимальних значень. Отже, якщо виникне додаткове підняття рівня підземних вод, які на момент обстеження знаходились на глибині 0,8...1,7 м від підшви фундаментів, і реалізуються додаткові нерівномірні деформації основи, це не призведе до виникнення аварійної ситуації. Для

запобігання виникнення нових тріщин у стінах при капітальному ремонті слід передбачити збільшення просторової жорсткості будівлі.

КОНСТРУКТИВНІ ПРИЧИНИ НЕРІВНОМІРНИХ ДЕФОРМАЦІЙ

Західний блок характеризується складними архітектурними рішеннями з нерегулярним розташуванням вертикальних несучих конструкцій (див. рис. 6, 7). Поздовжні стіни підвалу вздовж осей «Л» і «Е» не співпадають з основними несучими стінами західного блоку вздовж осей «П», «К», «Д». Поперечні огорожувальні стіни є самонесучими. Можливо через складність архітектурних рішень та нерегулярність вертикальних конструкцій при проектуванні були прийняті нераціональні рішення із завищення площі фундаментів вздовж осей «К» і «Л». Зокрема можна припустити, що під час проектування було прийняте необґрунтоване завищення площі фундаментів вздовж осі «К» через помилкове завищення розрахункових навантажень. А

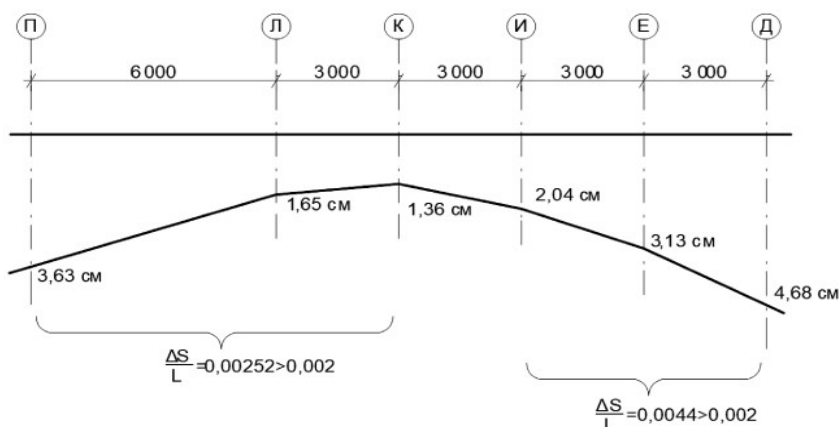


Рисунок 8 – Максимальні значення і нерівномірність осідань під фундаментами основних несучих стін західного блоку



завищення площі фундаментів по осях «А», «І» та «7» було обґрунтоване розрахунком стін підвалу на дію бокового тиску ґрунту (див. рис. 6, 7).

Для зменшення впливу можливих нерівномірних деформацій системи «основа-фундаменти» на конструкції будівлі в початкових проектних рішеннях були реалізовані конструктивні заходи з активного захисту: по верху фундаментних стрічок (збірних подушок) по низу стін влаштований арматурний пояс; по верху фундаментних бетонних блоків типу ФБС був влаштований залізобетонний пояс (див. рис. 6, 7). Ці заходи виявилися недостатніми. Найбільше пошкодження у вигляді тріщин утворилося в зовнішній стіні сходишкової клітини, де найменша поперечна жорсткість будівлі.

Оскільки проектна документація в повному вигляді не збереглася, ми не знаємо, які гідрологічні умови були враховані під час проектування будівлі школи. Тому не можна однозначно зробити висновок, що розглянуті вище нераціональні рішення фундаментів, які призвели до понадграницьких нерівномірних деформацій будівлі, є однозначною помилкою проектувальників. Але можна зробити висновок, що під час проектування будівель в складних геологічних умовах слід намагатися застосовувати конструктивні схеми будівель з регулярним розташуванням вертикальних конструкцій і забезпечувати рівномірне по площі фундаментів розподілення тиску на основу. У випадку складних архітектурних рішень необхідно виконувати проектування фундаментів на основі викори-

стання розрахункової просторової схеми «основа-будівля» без виключень. Це дозволить забезпечити раціональне проектування фундаментів.

РЕКОМЕНДАЦІЇ З ВІДНОВЛЕННЯ БУДІВАЛІ

Проведені дослідження дозволили зробити рекомендації із відновлення пошкоджених конструкцій будівлі школи та розробити проектні рішення з їх капітального ремонту. Ці рішення включали:

- підсилення частини зовнішньої стіни по осі «І» в осях «І-К» способом улаштування металевої обійми з метою усунення можливості обрушення ділянок стіни в місцях обпирання перемичок;
- збільшення просторової жорсткості частини будівлі західного блоку в осях «І-7» способом улаштування металевих поясів та напружених тяжів для мінімізації негативного впливу можливих подальших нерівномірних деформацій основи на технічний стан несучих конструкцій;
- шпарування існуючих тріщин в стінах, цоколі та ганках;
- відновлення на першому поверсі західного та північного блоків перегородок та підлог, які зазнали значних пошкоджень під час підтоплення та затоплення школи способом їх заміни;
- влаштування організованого водовідведення з покриття школи з встановленням водовідвідних жолобів та труб, а також влаштування огороження по контуру даху;

Таблиця 3 – Вибірка можливих деформаційних критеріїв для будівлі школи згідно з рекомендаціями чинних нормативних критеріїв

Посилання на рекомендації норм	Види будівель	Граничні деформації основи	
		$(\Delta S/L)_{us}$	S_{us} , см
п. 3 таблиці А.1 ДБН В.2.1-10:2018	Багатоповерхові безкаркасні будівлі з несучими стінами з цегляної кладки без армування	0,002	12
п. 5 таблиці В.1 ДБН В.1.1-45:2017	Промислові і цивільні багатоповерхові безкаркасні будівлі і споруди при $H/L \leq 0,75$	0,002	(8)
п. 10 таблиці В.1 ДБН В.1.1-45:2017	Дитячі дошкільні будівлі і споруди, лікарні, поліклініки, школи, театри, клуби тощо заввишки (1 – 3) поверхи	0,004	8

Примітка. Умовні позначення до таблиці:

S_{us} – середнє значення граничної деформації осідання. В дужках наведене максимальне граничне значення осідання основи S_{max} ;
 $(\Delta S/L)_{us}$ – граничне значення відносної різниці осідань основи.



- відновлення вимощення по контуру школи;
- ремонт бетонного покриття та організація нормального водовідведення з тераси.

ПРОТИРІЧЧЯ НОРМАТИВНИХ ВИМОГ

В процесі виконання розрахунків та аналізу будівельних норм виявлені такі протиріччя в їх положеннях:

- в таблиці А.1 ДБН В.2.1-10:2018 та таблиці В.1 ДБН В.1.1-45:2017 для будівлі школи можна прийняти різні значення деформаційних критеріїв S_{us} , $(\Delta S/L)_{us}$, які суперечать один одному (табл. 3);
- огляд досліджень критеріїв допустимих відносних деформацій будівель, який був проведений в роботі [17], показує, що граничні значення відносних деформацій залежать від конструктивної схеми будівлі, просторової форми нерівномірних деформацій, конструкції стін, їх армування тощо. Для прикладу, за даними цього огляду для неармованих цегляних стін допустимі значення відносних деформацій можуть бути в декілька раз меншими. Для цегляних конструкцій граничні значення відносних деформацій також мають бути пов'язані з допустимими значеннями розкриття тріщин в цегляних стінах. Тому параметри граничних деформацій, які рекомендовані нормами, потребують подальшого уточнення;
- згідно з положеннями п. 8.2.2 ДБН В.2.1-10:2018 допускається виконувати розрахунки навантажень на фундаменти без врахування жорсткості надфундаментної конструкції для будівель класів СС1 та СС2. На практиці це допущення може призвести до помилкового рішення, приклад якого розглянутий у цій статті. На нашу думку, перш за все, складність прийнятої розрахункової моделі для розрахунків фундаментів має бути пов'язана із складністю конструктивної схеми будівлі. У випадку складних архітектурних рішень із застосуванням нерегулярних несучих конструкцій необхідно виконувати проектування на основі використання розрахункової просторової схеми «основа-будівля» без виключень;
- заданими проведених вишукувань для будівлі школи прогнозований рівень підняття ґрунтових вод складає 1,0 м, хоча під час повені у 2008 році від піднявся на 4,0 м. Це максимальне підняття рівня води під час повені відбулося 1 раз за 35 років експлуатації, що чітко вказує на його епізодичний характер. Згідно з п. 7.15 ДБН В.1.1-45:2017 в розрахунках будівель рекомендується враховувати тільки епізодичні навантаження, які пов'язані з корінними змінами структури ґрунтів. Детальні рекомендації з врахування

епізодичних геотехнічних дій на будівлі, що можуть траплятися під час повені, в нормативних вимогах відсутні.

ВИСНОВКИ

На прикладі досліджень технічного стану будівлі школи в с. Велика Кісниця Ямпільського району Вінницької області та аналізу її пошкоджень були виявлені геотехнічно-конструктивні причини нерівномірних деформацій будівлі, яка побудована в складних інженерно-геологічних умовах і під час експлуатації зазнала впливу підтоплення та часткового затоплення. За результатами цих досліджень було встановлено:

- підтоплення паводковими водами ґрунтів основи фундаментів несучих цегляних стін призвело до суттєвого погіршення деформаційних характеристик слабких ґрунтів основи, що стало геотехнічною причиною збільшення деформацій фундаментів;
- конструктивна схема західного блоку будівлі школи прийнята з нерегулярним розташуванням вертикальних стінових конструкцій з підвалом, огорожувальні стіни якого не співпадають з основними несучими стінами будівлі. Внаслідок цієї нерегулярності помилково під частиною стін будівлі були прийняті завищені розміри фундаментів. Це призвело до нерівномірного навантаження фундаментів і розподілу тиску між ними. Зокрема, тиск під підшвою середніх та крайніх фундаментів відрізняється в 2...2,5 рази, різниця осідань відповідно в 2,6...3,4 разів;
- нерівномірне навантаження фундаментів стало визначальною конструктивною причиною понадграничних нерівномірних деформацій будівлі і призвело до утворення тріщин в цегляних стінах шириною розкриття 10...45 мм. Найбільше розкриття тріщин виявилось в поперечній зовнішній стіні будівлі в місці розташування сходишкової клітини і в місці найменшої поперечної жорсткості будівлі;
- масові горизонтальні тріщини шириною розкриття до 50 мм в перегородках безпідвальної частини будівлі спричинені самоущільненням насипного ґрунту внаслідок замочування.

Перевірочні розрахунки фундаментів західного блоку будівлі школи показали, що на момент обстеження будівлі більша частина потенційно можливих деформацій основи вже вичерпана і у випадку повторення паводків очікувані додаткові деформації є несуттєвими та несуча здатність ґрунтів основи буде забезпечена. Це дало можливість відмовитися від заходів з підсилення фундаментів і обмежитися тільки необхідними ремонтними роботами із усунення виявлених



пошкоджень конструкцій будівлі з відновленням просторової жорсткості конструкцій будівлі.

В процесі досліджень був виконаний аналіз чинних нормативних документів, який дозволив виявити невідповідності та недоліки окремих їх положень. На нашу думку, з метою покращення нормативних вимог та практики проектування питань, які були поставлені в частині статті «Протиріччя нормативних вимог», потребують подальшого вивчення.

БІБЛІОГРАФІЧНИЙ СПИСОК

1. Звіт № В.06/10 «Інструментальне обстеження будівлі загальноосвітньої школи І-ІІІ ступенів в с. Велика Кісниця Ямпільського району Вінницької області. В 2 т. Т. 1. Візуальне та інструментальне обстеження / ТОВ «Гервін». 2009. – 63 с.
2. Звіт № В.06/10 «Інструментальне обстеження будівлі загальноосвітньої школи І-ІІІ ступенів в с. Велика Кісниця Ямпільського району Вінницької області. В 2 т. Т. 2. Виконання інженерно-геологічних вишукувань розрахунків фундаментів будівлі / ТОВ «Гервін». 2009. – 59 с.
3. ДСТУ-Н Б В.1.1-27:2010. Захист від небезпечних геологічних процесів, шкідливих експлуатаційних впливів, від пожежі. Будівельна кліматологія. [чинний від 2011-11-01]. Київ: Мінрегіонбуд України. 2011. 123 с.
4. Білецький А.А., Клімов С.В. Тенденції розвитку інженерних заходів захисту територій та населених пунктів від затоплення. Проблеми водопостачання, водовідведення та гідраліки: наук.-техн. зб. Київ. КНУБА. 2017. Вип. 28. С. 30-36.
5. Директива 2007/60/ЄС Європейського Парламенту та Ради від 23 жовтня 2007 року про оцінку і управління ризиками затоплення. – Режим доступу: <https://dsns.gov.ua/upload/1/2/8/8/prognosz-weekly-directivazatopenya-npa-direktiva-es-2007-60-ua.pdf>
6. Слюсаренко Ю.С., Мелашенко Ю.Б., Титаренко В.А., Шумінський В.Д. Нормативна база України з проектування основ і фундаментів будівель та споруд. Сучасний стан і перспективи розвитку. Вісник Одеської державної академії будівництва та архітектури. 2018. Вип. 72. С. 162-170.
7. ДБН В.1.1-25-2009. Інженерний захист територій та споруд від підтоплення і затоплення: [Чинний від 1997-01-07]. Київ: Мінрегіонбуд України, 2010. 30 с.
8. ДСТУ-Н Б В.1.1-38:2016. Настанова щодо інженерного захисту територій, будівель і споруд від підтоплення та затоплення: [Чинний від 2017-04-01]. Київ: ДП «УкрНДЦ», 2017. 135 с.
9. Червінський Я.Й. Дослідження технічного стану будівель та споруд при небезпечних геологічних процесах / Я.Й. Червінський, О.О. Петраков, М.А. Зоценко, Ю.А. Винников, В.А. Титаренко, В.Д. Шумінський, С.В. Степанчук, А.М. Дворник, Я.І. Домбровський. Журнал «Наука та будівництво». 2014. № 2. С. 17-24.
10. Ukleja J. Renovation of the historic building after damage connected with foundations subsidence – case study. MATEC Web of Conferences. – 2018. – Vol. 174, 03006. –p. 1-11. URL: <https://doi.org/10.1051/mateconf/201817403006>.
11. Попов В.О., Байда Д.М., Чорноскутова К.О., Маєвська М.В. Моделювання напружено-деформованого стану балкової клітини, що зазнала ушкоджень внаслідок нерівномірних просідань фундаментів, для розроблення раціональних заходів з підсилення. Сучасні технології, матеріали і конструкції в будівництві: Науково-технічний збірник. Вінниця: УНІВЕРСУМ. Вінниця. 2010. №1. С. 6-15.
12. Войцехівський О.В., Байда Д.М., Маєвська І.В., Попов В.О. Паспортизація корпусу грануляційної башти цеху виробництва карбаміду на ВАТ «Одеський припортовий завод». Будівництво в сейсмічних районах України. Будівельні конструкції: Міжвідомчий науково-технічний збірник наукових праць (будівництво). ДП «ДНДІБК», Київ. 2012. Випуск 76. С. 478-483.
13. Попов В.О., Войцехівський О.В., Маєвська І.В., Байда Д.М., Романова К.О. Методи підсилення фундаментів печі первинного риформінгу амміаку в умовах збільшення навантаження. Містобудування та територіальне планування. Науково-технічний збірник. Будівлі та споруди спеціального призначення: сучасні матеріали та конструкції. Київ, КНУБА. 2016. Випуск 61. С. 328-334.
14. ДБН В.2.1-10:2018. Основи і фундаменти будівель та споруд основні положення: [Чинний від 2019-01-01]. Київ: Мінрегіон України, 2018. 36 с.
15. ДБН В.1.1-45:2017. Будівлі і споруди в складних інженерно-геологічних умовах. Загальні положення: [Чинний від 2017-10-01]. Київ: Мінрегіон України, 2017. 29 с.
16. ДСТУ Б В.3.1-2:2016. Ремонт і підсилення несучих і огорожувальних будівельних конструкцій та основ будівель і споруд: [Чинний від 2017-04-01]. Київ: ДП «УкрНДЦ», 2017. 68 с.
17. Korff M. Deformations and damage to buildings



adjacent to deep excavations in soft soils. Delft Cluster, 2009. 143 p. URL: https://publications.deltares.nl/1001307_004.pdf.

REFERENCES

1. Gervin, LLC. (2009). Report No. V.06/10 "Instrumental survey of the building of the general secondary school of I-III degrees in the village of Velyka Kisnytsia, Yampil district, Vinnytsia region. In 2 vols. Vol. 1. Visual and instrumental survey.
2. Gervin, LLC. (2009). Report No. V.06/10 "Instrumental survey of the building of the general secondary school of I-III degrees in the village of Velyka Kisnytsia, Yampil district, Vinnytsia region. In 2 vols. Vol. 2. Execution of engineering-geological surveys calculations of the building's foundations.
3. Ministry of Regional Development, Construction, and Housing and Communal Services of Ukraine. (2011). DSTU-N B V.1.1-27:2010. Protection against dangerous geological processes, harmful operational impacts, from fire. Building climatology. [Effective from 2011-11-01].
4. Biletskyi, A. A., & Klimov, S. V. (2017). Trends in the development of engineering measures to protect territories and settlements from flooding. Problems of water supply, water disposal, and hydraulics: Scientific-technical collection, (28), 30-36. Kyiv: KNUCA.
5. European Parliament and Council. (2007). Directive 2007/60/EC on the assessment and management of flood risks. Retrieved from <https://dsns.gov.ua/upload/1/2/8/8/8/prognoz-weekly-directivazatopenya-npa-direktiva-es-2007-60-ua.pdf>
6. Slyusarenko, Y. S., Melashenko, Y. B., Tytarenko, V. A., & Shumynskyi, V. D. (2018). Normative base of Ukraine on the design of foundations and foundations of buildings and structures. Current state and development prospects. Bulletin of Odessa State Academy of Construction and Architecture, (72), 162-170.
7. Ministry of Regional Development, Construction, and Housing and Communal Services of Ukraine. (2010). DBN V.1.1-25-2009. Engineering protection of territories and structures from flooding and flooding: [Effective from 1997-01-07].
8. State Enterprise "UkrNDI". (2017). DSTU-N B V.1.1-38:2016. Guidelines for the engineering protection of territories, buildings, and structures from flooding and flooding: [Effective from 2017-04-01].
9. Chervinskyi, Y. I., Petrakov, O. O., Zotsenko, M. L., Vynnykov, Y. L., Tytarenko, V. A., Shumynskyi, V. D., Stepanchuk, S. V., Dvornik, A. M., & Dombrovskyi, Y. I. (2014). Investigation of the technical condition of buildings and structures in dangerous geological processes. Science and Construction, (2), 17-24.
10. Ukleja, J. (2018). Renovation of the historic building after damage connected with foundations subsidence – case study. MATEC Web of Conferences, 174(03006), 1-11. <https://doi.org/10.1051/mateconf/201817403006>
11. Popov, V. O., Baida, D. M., Chornoskutova, K. O., & Maievskaya, M. V. (2010). Modeling of the stress-strain state of a beam cell that has suffered damage due to uneven foundation settlements, for the development of rational reinforcement measures. Modern technologies, materials, and structures in construction: Scientific-technical collection, (1), 6-15. Vinnytsia: UNIVERSUM.
12. Voitsekhivskyi, O. V., Baida, D. M., Maievskaya, I. V., & Popov, V. O. (2012). Passportization of the corpus of the granulation tower of the urea production workshop at JSC "Odessa Port Plant". Construction in seismic areas of Ukraine. Building structures: Interdepartmental scientific-technical collection of scientific works (construction). SE "DNDIBK", (76), 478-483.
13. Popov, V. O., Voitsekhivskyi, O. V., Maievskaya, I. V., Baida, D. M., & Romanova, K. O. (2016). Methods of strengthening the foundations of the primary reforming furnace of ammonia under increased load. Urban planning and territorial planning. Scientific-technical collection. Special purpose buildings and structures: modern materials and structures, (61), 328-334. Kyiv, KNUBA.
14. Ministry of Regional Development of Ukraine. (2018). DBN V.2.1-10:2018. Basics and foundations of buildings and structures main provisions: [Effective from 2019-01-01].
15. Ministry of Regional Development of Ukraine. (2017). DBN V.1.1-45:2017. Buildings and structures in complex engineering-geological conditions. General provisions: [Effective from 2017-10-01].
16. State Enterprise "UkrNDI". (2017). DSTU B V.3.1-2:2016. Repair and reinforcement of load-bearing and enclosing building structures and foundations of buildings and structures: [Effective from 2017-04-01].
17. Korff, M. (2009). Deformations and damage to buildings adjacent to deep excavations in soft soils. Delft Cluster. Retrieved from https://publications.deltares.nl/1001307_004.pdf

Стаття надійшла до редакції 01.03.2024 року



Doi: <https://doi.org/10.33644/2313-6679-1-2024-5>

УДК 627.421:627.142



ТИТАРЕНКО В.А.

Канд. техн. наук, старший науковий співробітник, завідувач відділення ДП «Державний науково-дослідний інститут будівельних конструкцій», м. Київ, Україна, e-mail: 0679199507@ukr.net, тел.: +38 (067) 919-95-07, ORCID: 0000-0001-9746-2399



ДОМБРОВСЬКИЙ Я.І.

Завідувач відділу ДП «Державний науково-дослідний інститут будівельних конструкцій», м. Київ, Україна, e-mail: 355niisk356@gmail.com, тел.: +38 (067) 420-57-55, ORCID: 0000-0003-0687-1256



ШУМІНСЬКИЙ В.Д.

Канд. техн. наук, провідний науковий співробітник ДП «Державний науково-дослідний інститут будівельних конструкцій», м. Київ, Україна, e-mail: shumikvd@gmail.com, тел.: +38 (096) 617-55-70, ORCID: 0000-0002-8751-1983

ЗАСТОСУВАННЯ ГЕОСИНТЕТИЧНИХ МАТЕРІАЛІВ В ГІДРОТЕХНІЧНОМУ БУДІВНИЦТВІ

АНОТАЦІЯ

Стаття присвячена застосуванню геосинтетичних матеріалів та містить вимоги до проектування і влаштування геосинтетичних гнучких габіонів (матраців), геотуб у гідротехнічному будівництві для захисту укосів гребель з ґрунтових матеріалів, дамб, до охорони навколишнього середовища при новому будівництві та їх реконструкції. Мета роботи – аналіз використання геосинтетичних матеріалів в гідротехнічному будівництві України з врахуванням світового досвіду. В статті розглянуті пропозиції щодо умов застосування геосинтетичних гнучких габіонів, класифікацію, вихідні дані, необхідні для їх проектування, визначення основних розмірів габіонів, а також схеми захисту берегів водних об'єктів від розмивів геосинтетичними гнучкими габіонами.

Застосування георешіток та геотекстиля в габіонних конструкціях є одним з найефективніших і універсальних способів не тільки захисту укосів земляних гребель та

дамб від розмиву та їх зміцнення, але і посилення, стабілізації і захисту земляного полотна, підмостових конусів, опор мостів, регуляційних дамб, дамб обвалування тощо. Також сучасні геосинтетичні матеріали зазвичай застосовують для вирішення багатьох проблем у галузі гідротехніки при будівництві, реконструкції та в період експлуатації гребель з ґрунтових матеріалів та дамб, при влаштуванні дренажних пристроїв, для армування споруд з ґрунтових матеріалів, для гідроізоляції конструкцій та споруд, протиерозійного захисту. Широке застосування геосинтетиків у будівництві обумовлено їх високими фізико-механічними властивостями: міцністю, стійкістю до впливу кліматичних і гідрогеологічних факторів, довговічністю і, головним чином, екологічною безпекою.

КЛЮЧОВІ СЛОВА: габіон, геотуба, геосинтетичні матеріали, довговічність, кріплення укосів, матрац, надійність, розмив.



APPLICATION OF GEOSYNTHETIC MATERIALS IN HYDROTECHNICAL CONSTRUCTION

ABSTRACT

This article is dedicated to the application of geosynthetic materials and includes requirements for the design and arrangement of geosynthetic flexible gabions (mattresses), geotubes in hydrotechnical construction for the protection of slopes of earthen dams, embankments, in environmental protection during new construction and their reconstruction. The aim of the work is to analyze the use of geosynthetic materials in hydrotechnical construction in Ukraine considering the global experience. The article discusses proposals on the conditions for the application of geosynthetic flexible gabions, their classification, initial data required for their design, determination of the main dimensions of gabions, as well as schemes for the protection of water bodies' banks from erosion by geosynthetic flexible gabions.

The use of geogrids and geotextiles in gabion constructions is one of the most effective and universal methods not only for the protection of slopes of earth dams and embankments from erosion and their reinforcement but also for the reinforcement, stabilization, and protection of the earth canvas, bridge abutment cones, bridge supports, regulatory dams, enclosing dams, etc. Modern geosynthetic materials are typically used to solve many problems in the field of hydraulics during the construction, reconstruction, and operation period of earthen dams and embankments, in the arrangement of drainage devices, for reinforcing structures made of earthen materials, for waterproofing of structures and facilities, anti-erosion protection. The wide application of geosynthetics in construction is due to their high physical and mechanical properties: strength, resistance to climatic and hydrogeological factors, durability, and, most importantly, environmental safety.

KEYWORDS: gabion, geotube, geosynthetic materials, durability, bracing, mattress, reliability, softening.

ВСТУП

У гідротехнічному будівництві при влаштуванні берегозахисних та утримуючих споруд, при захисті берегів водних об'єктів, підсиленні гребель з ґрунтових матеріалів, при сейсмічних впливах широко застосовуються геосинтетичні матеріали (геотекстилі, геосітки, геомембрани, геокомпозити, георешітки, габіони, тюфяки (матраци) тощо).

Геосинтетичні матеріали – це загальна термінологія для усіх видів синтетичних матеріалів, які застосовуються в різних типах гідротехнічних споруд. Характеристики геосинтетичних матеріалів визначаються їх компонентами, призначенням, сировиною, типом,

кріпленням або з'єднанням волокон, а також розташуванням вузлових точок перетину георешіток. Сучасні геосинтетичні матеріали також мають великі можливості для вирішення багатьох проблем при новому будівництві, реконструкції та в період експлуатації об'єктів у галузі гідротехніки. Основні сфери застосування геосинтетиків [1-5]: в греблях з ґрунтових матеріалів, в дренажних конструкціях, для армування ґрунту при зведенні гребель з ґрунтових матеріалів, берегозахисних споруд, кріпленні укосів, для гідроізоляції конструкцій гідротехнічних споруд, протиерозійного захисту. Світовий досвід доводить ефективність застосування сучасних синтетичних матеріалів. У світі випускається близько 380-400 різних видів геосинтетичних матеріалів. Широке застосування геосинтетиків у гідротехнічному будівництві обумовлено їх високими фізико-механічними властивостями: міцністю, стійкістю до впливу кліматичних і гідрогеологічних факторів, довговічністю і, головним чином, екологічною безпекою.

Мета роботи – аналіз використання геосинтетичних матеріалів в гідротехнічному будівництві України з врахуванням досвіду в США та країнах ЄС.

ВИКЛАД ОСНОВНОГО МАТЕРІАЛУ ДОСЛІДЖЕНЬ

Георешітки є одним з довговічних армуючих синтетичних елементів, що застосовуються у гідротехнічному будівництві. Мета їх застосування – підвищення міцності і надійності конструкції, її експлуатаційних показників, особливо в умовах сейсмічних впливів. При зведенні гідротехнічних споруд різного призначення застосовуються, в основному, одновісні георешітки, які широко використовуються в габіонах для захисту укосів гребель з ґрунтових матеріалів та дамб, для армування ґрунту земляних гребель та підпірних стін, а також при підсиленні споруд з ґрунтових матеріалів. Технологія влаштування таких споруд не потребує додаткових механізмів та спеціальних навичок. Завдяки пошаровому ущільненню ґрунту засипки або тіла ґрунтової споруди забезпечується утворення масиву ґрунту, який завдяки спільній роботі з георешіткою прискорює процес консолідації ґрунту.

Одновісні георешітки використовуються при влаштуванні габіонів (матраців) для укріплення берегів водних об'єктів. При ущільненні ґрунту засипки його частинки проникають крізь отвори георешітки та взаємодіють з нею (розклинаються і передають зусилля на всі сторони рівномірно) та між собою і утворюють армований напружений шар ґрунту (з решітки і ґрунту) з покращеними характеристиками міцності.

При динамічному (сейсмічному) впливі армований напружений шар ґрунту не перешкоджає



вертикальному переміщенню дрібних частинок ґрунту, що підвищує зсувостійкість споруди. Опір армоґрунтових споруд при землетрусі є результатом взаємодії георешітки та ґрунту, що призводить до створення пружного композитного матеріалу, який поглинає енергію землетрусу, залишаючись неушкодженим.

Габіони складаються з георешіток і геотекстильних матеріалів, заповнених мінеральними матеріалами, і можуть виконувати різні функції: захисні, укріплюючі, утримуючі [6]. Завдяки їх особливостям габіонні конструкції здатні виконувати також роль зворотного фільтра або дренажу.

Габіони перевершують традиційні матеріали високим рівнем адаптації до деформацій ґрунту основи і довгостроковим терміном служби. Проектні рішення з використанням габіонів характеризуються економічністю і простою технологією виготовлення і влаштування, забезпечують ефективний захист об'єкта від ерозії. Екологічно чисті інертні матеріали габіонів стійкі до іржавіння, гниття і корозії навіть в агресивних хімічних середовищах.

Габіони з геосинтетичних матеріалів за конструктивними особливостями та за геометричною формою поділяються на два основні типи:

- 1) габіони (прямокутної або визначеної проектом форми) з такими різновидами:
 - а) тюфяки (матраци) (товщина до 0,6 м);
 - б) габіони (товщина понад 0,6 м);
 - в) мати (збірна конструкція з матраців товщиною до 0,6 м);
 - г) фільтраційні тюфяки (матраци) з геотекстильними прошарками (товщина 0,15 м);
- 2) геосинтетичні туби (далі – геотуби) (габіони циліндричної форми).

Габіони можуть мати різні форми і розміри, що дозволяє виготовити конструкцію з габіонів, яка відповідатиме поставленим задачам та вимогам конкретних інженерно-геологічних та інших умов. Для виготовлення габіонів, конструкції яких передбачають укладання на внутрішні стінки конструкцій геотекстилю (для запобігання висипання дрібного матеріалу-заповнювача), застосовують геотекстиль, що відповідає вимогам і Технічним умовам заводу-виробника.

Геотуби циліндричної форми з георешіток використовуються для укріплення основ дамб, насипів, зведення захисних гребель, підпірних стінок, аварійного ремонту споруд.

До переваг геотуб та матраців відноситься можливість їх застосування у підводних частинах кріплення берегів водних об'єктів. Використання геотуб особливо ефективно для ремонтних робіт, а також для робіт, що вимагають невідкладного втручання при ліквідації аварій.

Під час спорудження насипів на слабких основах необхідно враховувати, що стійкість слабких ґрунтів багато в чому залежить від швидкості

їхнього завантаження. На такі ґрунти не можна в короткі проміжки часу прикладати великі навантаження, оскільки може виникнути лавинне руйнування водно-колоїдних зв'язків. Опір руйнуванню в слабких глинистих і мулових ґрунтах головним чином залежить від порового тиску води. Цей тиск змінюється під час будівництва, і точне передбачення його величини практично неможливе. У разі підвищення порового тиску і відсутності достатнього дренажу в зоні розташування геоматраца виникає загроза руйнування споруди.

Застосування георешіток та геотекстиля в габіонних конструкціях є одним з найефективніших і універсальних способів не тільки посилення, стабілізації і захисту укосів гребель з ґрунтових матеріалів, берегів водних об'єктів від розмиву, а також укріплення підмостових конусів, опор мостів, регуляційних дамб, дамб обвалування, берегових та інших споруд. Конструкції з габіонів можуть бути використані в різних умовах будівництва берегозахисних кріплень при зведенні як підводних, так і надводних укосів та дна від розмивів та ерозії. Різні типи габіонів (табл. 1) застосовуються при кріпленні укосів гребель з ґрунтових матеріалів [7], дамб на водосховищах та річках, прибережних ділянок морів залежно від енергетичних характеристик об'єктів (висоти хвиль, напрямку вітру, довжини розгону хвиль та характеристик ґрунту берегів), а також можуть застосовуватися у складних інженерно-геологічних умовах [8].

Ефективність роботи габіонів обумовлена їх еластичністю (гнучкістю) і водостійкістю, зносостійкістю і довговічністю. Найбільш ефективно застосовувати габіони для кріплення берегів водних об'єктів, оскільки завдяки їх підвищеній гнучкості берегозахисні конструкції мають можливість повторювати контури прогнозованого розмиву, що виникає з боку моря або іншої водойми, рельєф і конфігурацію місцевості, що дозволяє габіонам щільно прилягати до ґрунту та захищати основу від розмиву.

Наскрізність конструкцій, значна їх маса та гнучкість дозволяють, з одного боку, ефективно гасити кінетичну енергію хвиль, а з іншого – забезпечувати відкочування хвиль без виникнення механічної суфозії та розмиву ґрунту основи під габіонами завдяки використанню геосинтетичних матеріалів.

Вони особливо підходять для протидії посиленій ерозії в середовищах з підвищеною агресивністю (солоня вода, зона викидів стічних вод тощо), а також на слабких ґрунтах [9], на крутих схилах [10] та в зонах дії хвиль. Конструктивні особливості габіонів дозволяють застосовувати їх у різноманітних комбінаціях і поєднаннях та у різноманітних кліматичних умовах.

Будівництво в умовах наявності водного сере-



Таблиця 1 – Основні типи габіонів та напрямки їх використання

Типи габіонів	Основні напрямки використання
Матраси	кріплення укосів гребель з ґрунтових матеріалів; підпірні стінки в межах берегової лінії або берега річки; захист берегової лінії від розмивів; облицювання каналів; зменшення розмивів опор мостів
Габіони і мати	кріплення укосів гребель з ґрунтових матеріалів, захисних дамб, насипів; кріплення укосів каналів, каналів, водоскидів; захисні покриття від розмивів; зведення підпірних стінок; захист берегової лінії від розмивів; укріплення укосів
Туби	основа (каркас) хвилеломів; основи захисних дамб, гребель, насипів
Фільтраційні матраци (матраци малої товщини, як правило, до 15 см, доповнені прошарками геотекстиля)	захист від розмивів берегів водних об'єктів; застосування фільтраційних матраців та геотекстильних матеріалів на глибоководних ділянках; підстилаючий шар для кріплення укосів з кам'яного накиду
Комбіновані конструкції (системи, зібрані з матрасів, габіонів, матів, геотубів)	утримуючі і берегозахисні конструкції; облицювання і укріплення укосів каналів, берегів; при зведенні фундаментів хвилеломів, молів, напівзагат; влаштування підсиленних основ під насипи, греблі, дамби, підпірні стінки тощо

- екологічність і здатність відновлювати або покращувати природний ландшафт.

Завдяки гнучкості габіонів вони повторюють контури і конфігурацію поверхні ґрунту, захищаючи тим самим від розмиву значно краще, ніж жорсткі кріплення з монолітного бетону, збірного залізобетону або кам'яного накиду. Завдяки високій хімічній та біологічній стійкості геосинтетичні гнучкі габіони найбільш придатні для використання у спорудах, які постійно контактують з солоною (морською) водою, де конструкції з інших матеріалів швидко псується і виходять з ладу.

Основні переваги габіонів (матраців) при використанні їх для кріплення укосів гребель з ґрунтових матеріалів та берегів водних об'єктів:

довища та перезволожених ґрунтів завжди пов'язане з великими складнощами. На даний час існує безліч класичних рішень щодо підсилення основ споруд, берегоукріплення та захисту укосів гідротехнічних споруд. Конструкції з габіонів є альтернативою традиційним методам і дозволяють значно прискорити будівельний процес, полегшити технологію проведення робіт і скоротити витрати, а відсутність металевих елементів значно підвищує корозійну стійкість конструкції, збільшує її термін служби і дозволяє застосовувати габіони в агресивних середовищах (морська вода, стічні води, рідкі відходи промисловості тощо).

До основних критеріїв, яким задовольняють габіони для захисту берегів водних об'єктів, слід віднести:

- надійність та безпека споруди на всіх етапах її будівництва (у відповідності до конкретних інженерно-геологічних і гідрологічних умов їх функціонування, навантажень, впливів та класу наслідків (відповідальності) об'єкта, що захищається);
- мінімальні витрати на будівництво та експлуатацію;
- можливість введення в експлуатацію берегозахисної споруди в найбільш стислі строки;

- підвищена гнучкість, яка дозволяє слідувати за місцевими деформаціями дна, схилів (укосів), що викликані розмивом основи, нерівномірними осіданнями, і тим самим призупинити їх;
- можливість змінювати коефіцієнт фільтрації конструкції матеріалом-заповнювачем (при необхідності);
- значна шорсткість поверхні;
- висока міцність на розтяг;
- зносостійкість;
- хімічна стійкість до дії річкової та морської води на матеріали берегозахисної споруди;
- можливість використання місцевих матеріалів для будівництва.

Конструкції з габіонів повинні спільно з іншими заходами забезпечувати місцеву стійкість укосів гребель з ґрунтових матеріалів, берегових схилів тощо. При цьому слід враховувати раціональне поєднання конструктивних параметрів габіонів: тип і власну вагу, тип георешітки, матеріал заповнення, планове розміщення (суцільне або переривчасте) на об'єкті укріплення, тип кріплення (анкерне, з упором із габіонів тощо).

Ефективність матраців, у порівнянні з кам'яним накидом для кріплення укосів берегів водних об'єктів отримана на основі тривалого досвіду їх



експлуатації в залежності від гідрологічних умов (табл. 2).

Довжина випуску протирозмивного матрацу в бік водного об'єкту визначається за умови покриття укосу місцевого розмиву, що виникне під час експлуатації об'єкта берегоукріплення, за формулою:

$$L \geq \Delta Z \cdot \sqrt{1 + m_h^2}, \quad (1)$$

де ΔZ – прогнозна глибина місцевого розмиву, м; m_h – коефіцієнт закладання укосу місцевого розмиву, що утворюється (приймається в межах 1,5÷2,0).

Глибина місцевого розмиву ΔZ визначається в залежності від виду водного об'єкту, швидкостей водного потоку, параметрів хвиль для обґрунтованого призначення довжини випуску гнучкої кінцевої ділянки кріплення верхового укосу дамби або берега за формулою:

$$\Delta Z = \frac{23 \cdot V^2 \cdot \operatorname{tg} \frac{\beta}{2}}{g \cdot \sqrt{1 + m_h^2}} - 6 \frac{V_p^2}{g}, \quad (2)$$

де V – середня швидкість потоку на підході до греблі або дамби, м/с; g – прискорення вільного падіння, м/с²; β – кут між напрямком швидкості потоку і лицьовою гранню греблі або дамби (кут атаки), град; V_p – допустима швидкість для ґрунту основи, в якому відбувається розмив, м/с.

При кріпленні укосів кам'яним накидом чи бетонними (залізобетонними) блоками масу окремого елемента m , (m_z), т, визначають згідно з [11]:

– при розташуванні каменю або блоку на

ділянці укосу від верху споруди до глибини $z=0,7 \cdot h_{i\%}$ за формулою:

$$m = \frac{3,16 \cdot k_{fr} \cdot \rho_m \cdot h_{i\%}^3}{\left(\frac{\rho_m}{\rho} - 1\right)^3 \cdot \sqrt{1 + \operatorname{ctg}^3 \varphi}} \cdot \sqrt{\frac{\lambda}{h_{i\%}}}, \quad (3)$$

– при розташуванні каменю або блоку у нижній частині укосу, а саме, на ділянці від $z \geq 0,7 \cdot h_{i\%}$ і до дна за залежністю:

$$m_z = m \cdot e^{\frac{-7,5 \cdot z^2}{h_{i\%} \cdot \lambda}}, \quad (4)$$

де k_{fr} – коефіцієнт, який приймається за табл. 3; ρ_m – густина каменю, т/м³; ρ – густина води, т/м³; $h_{i\%}$ – розрахункова висота хвилі, м; λ – середня довжина хвилі біля укосу, м; φ – кут нахилу укосу до горизонту, град.

Діаметр каменю кам'яного накиду, приведений до кулі, визначається з формули:

$$D = \sqrt[3]{\frac{\pi \cdot m}{6 \cdot \rho_m}}. \quad (5)$$

Товщина кам'яного накиду при кріпленні укосів приймається рівною $t=3 \cdot D$.

Товщина монолітних та залізобетонних плит кріплення укосів h_{nt} визначається за формулою:

$$h_{nt} = \frac{0,07 \cdot \eta \cdot h_{i\%}}{(\rho_m - \rho) \cdot \cos \varphi} \cdot \sqrt[3]{\frac{\lambda}{b_{sl}}}, \quad (6)$$

Таблиця 2 – Рекомендовані товщини матраців і кам'яного накиду для кріплення укосів берегів водних об'єктів в залежності від гідрологічних умов

Гідрологічні умови		Товщина матраців, м	Параметри кам'яного накиду	
швидкість течії V , м/с	висота хвилі h , м		діаметр каменю, приведений до кулі D , м	товщина кам'яного накиду t , м
до 1,0	до 0,5	0,15	0,12	0,36
до 2,0	до 1,0	0,30	0,25	0,75
до 3,0	до 1,5	0,60	0,35	1,10

Примітка 1. Параметри кам'яного накиду визначено за формулою (5) з врахуванням формули (3).

При розрахунку прийнято: $k_{fr}=0,025$ (табл. 3), $\rho_m=2,6$ т/м³, $\operatorname{ctg} \varphi=2,0$.

Примітка 2. При однаковій ефективності берегоукріплення товщина кам'яного накиду у 1,8...2,5 рази більша, ніж товщина геоматраців.



Таблиця 3 – Значення коефіцієнта k_{fr} залежно від елементів кріплення

Елементи кріплення	Коефіцієнт k_{fr}	
	при накиду	при укладанні
Камінь	0,025	-
Звичайні бетонні блоки	0,021	-
Тетраподи та інші фігурні блоки	0,008	0,006

де b_{sl} – довжина ребра плити або секції в напрямку, нормальному до урізу води, м; λ – довжина хвилі, м; $h_{1\%}$ – висота хвилі забезпеченістю 1 %, м, η – коефіцієнт запасу, що приймається для збірних плит рівним 1,1, а для монолітних – 1,0.

Після введення в експлуатацію берегоукріплень з габіонів вони потребують постійного догляду (контроль відсутності розмивів, зсувів, випадіння матеріалу заповнення, наявності пошкоджень конструкції або георешітки тощо) і своєчасного ремонту чи заміни пошкоджених габіонів.

Підвищення гребня греблі з ґрунтових матеріалів та напірних дамб слід визначати для двох розрахункових ситуацій розташування рівня води у верхньому б'єфі:

- при нормальному підпірному рівні (далі – НПР) або при більш високому рівні, що відповідає пропуску максимального паводку при усталеній розрахунковій ситуації постійних дій (навантажень);
- при форсованому підпірному рівні (далі – ФПР), при пропуску максимального паводку при випадковій (аварійній) розрахунковій ситуації змінних (тимчасових) дій (навантажень).

Підвищення гребня греблі h_s , м, в обох випадках визначають за формулою [7]:

$$h_s = \Delta h_{set} + h_{rum1\%} + a, \quad (7)$$

де $h_{rum1\%}$ – висота накату вітрових хвиль на укїс ймовірністю перевищення 1 %; a – запас у підвищенні гребня греблі, м; Δh_{set} – висота вітрового нагону хвиль на укїс, м.

При визначенні перших двох доданків формули (7) забезпеченості швидкості вітру для розрахунку елементів хвиль, накату і вітровому нагону при усталеній та випадковій (аварійній) розрахункових ситуа-

цій постійних та змінних (тимчасових) дій (навантажень) (відповідно при НПР та ФПР) слід приймати згідно з [7]. Гарантійний технічний запас перевищення верху греблі з ґрунтових матеріалів або огорожувальної дамби над розрахунковим рівнем води a приймають рівним $(0,1 \cdot h_{1\%})$, але не менше 0,5 м, де $h_{1\%}$ – висота хвилі 1% забезпеченості.

Висоту накату хвилі на укїс для глибоководної зони $h_{rum1\%}$ і висоту вітрового нагону хвилі на укїс дамби Δh_{set} визначають згідно з [11].

Для визначення параметрів вітрових хвиль у розрахунковому штормі (середньої висоти хвилі $\bar{h}$, м і середнього періоду хвилі $\bar{T}$, с) у залежності від довжини розгону, топографії і глибини води необхідно обчислити вхідні безрозмірні параметри $\frac{g \cdot L}{V^2}$ і $\frac{g \cdot t}{V}$.

Далі, за допомогою сімейства кривих, наведених на рис. 2, визначаються наступні параметри $\frac{g \cdot h}{V^2}$ і $\frac{g \cdot T}{V}$ та по більшому з них визначають параметри вітрових хвиль $\bar{h}$ та $\bar{T}$.

Середня довжина хвилі $\bar{\lambda}$ на глибокій воді ($\frac{d}{\bar{\lambda}} \geq 0,5$) визначається за наступною залежністю:

$$\bar{\lambda} = \frac{g \cdot \bar{T}^2}{2 \cdot \pi}, \text{ м} \quad (8)$$

де g – прискорення вільного падіння, м/с²; $\bar{T}$ – середній період хвилі, с; d – глибина води перед греблею або дамбою, м.

Знаючи середні параметри хвиль, можна визначити розрахункову висоту хвилі необхідної розрахункової забезпеченості за формулою:

$$h_{i\%} = \bar{h} \cdot k_{i\%}, \text{ м}, \quad (9)$$

де $k_{i\%}$ – коефіцієнт, який залежить від безрозмірних параметрів $\frac{g \cdot L}{V^2}$ і $\frac{g \cdot d}{V^2}$ та приймається за графіками на рис. 3. Даний коефіцієнт $k_{i\%}$



Рисунок 1 – Розрахункова схема для визначення відмітки верху греблі з ґрунтових матеріалів, дамби обвалування або насипу.

h – висота хвилі, м; λ – довжина хвилі, м

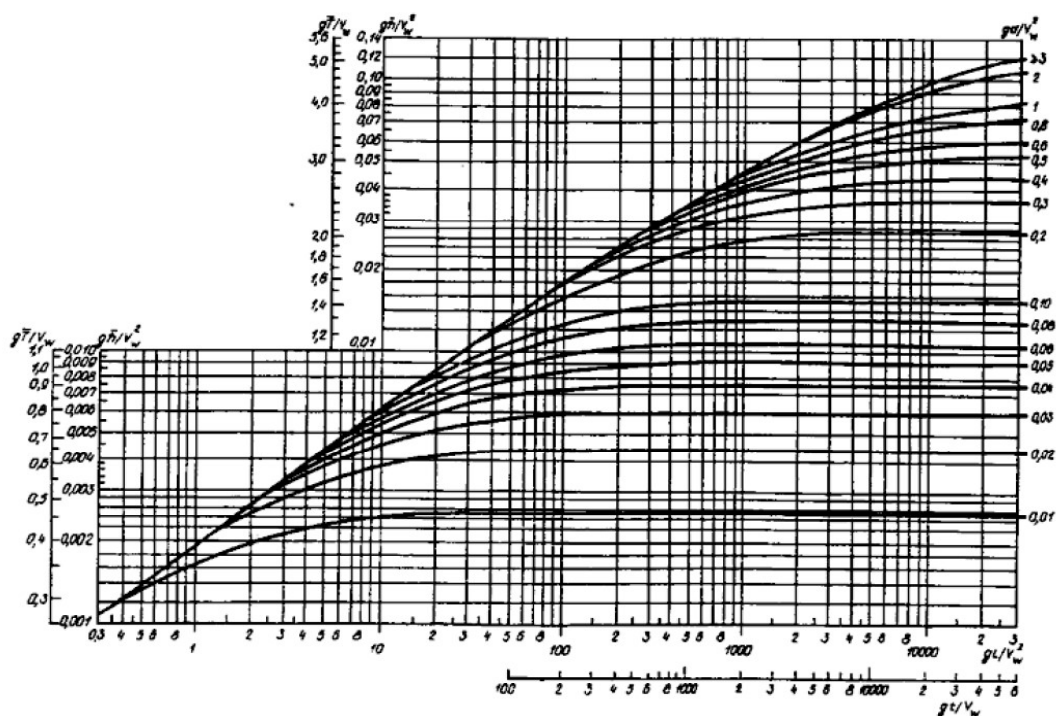


Рисунок 2 – Сімейство кривих для визначення параметрів нерегулярних хвиль

приймається окремо для кожного безрозмірного параметра $\frac{g \cdot L}{V_w^2}$ і $\frac{g \cdot d}{V_w^2}$. У подальших розрахунках використовується менший з двох коефіцієнтів $k_{i\%}$.

Висоту нахату на укис хвиль забезпеченістю 1 % за накатом $h_{run1\%}$, м для хвиль, що підходять до укосу фронтально при глибині перед спорудою $d \geq 2 \cdot h_{1\%}$ слід визначати за формулою:

$$h_{run1\%} = k_r \cdot k_p \cdot k_{sp} \cdot k_{run} \cdot h_{1\%} \quad (10)$$

де k_r і k_p – коефіцієнти шорсткості та водопроникності укосу, що приймаються за табл. 4;

k_{sp} – коефіцієнт, що приймається за табл. 5;

k_{run} – коефіцієнт, що приймається за графіками на рис. 4 в залежності від пологості хвилі $\frac{\lambda}{h_{1\%}}$, а також від коефіцієнта $h_{1\%}$

закладання укосу $ctg\varphi$, де φ – кут нахилу укосу до горизонту, град. При глибині перед спорудою $d \leq 2 \cdot h_{1\%}$ коефіцієнт k_{run} слід приймати для значень пологості хвилі $\frac{\lambda}{h_{1\%}}$, наведених на рис. 2 у дужках при глибині $d = 2 \cdot h_{1\%}$.

Висоту нахату хвиль на укис забезпеченістю i , % по накату слід

визначати множенням значення $h_{run1\%}$, отриманого за формулою (9), на коефіцієнт k_i , що приймається за табл. 6.

Висоту вітрового нагону Δh_{set} , м у формулі (6) слід приймати за даними натурних спостережень, а при їх відсутності допускається визначати за формулою методом послідовних наближень:

$$\Delta h_{set} = k_w \cdot \frac{V_w^2 \cdot L}{g \cdot (d + 0.5 \cdot \Delta h_{set})} \cdot \cos \alpha_w \quad (11)$$

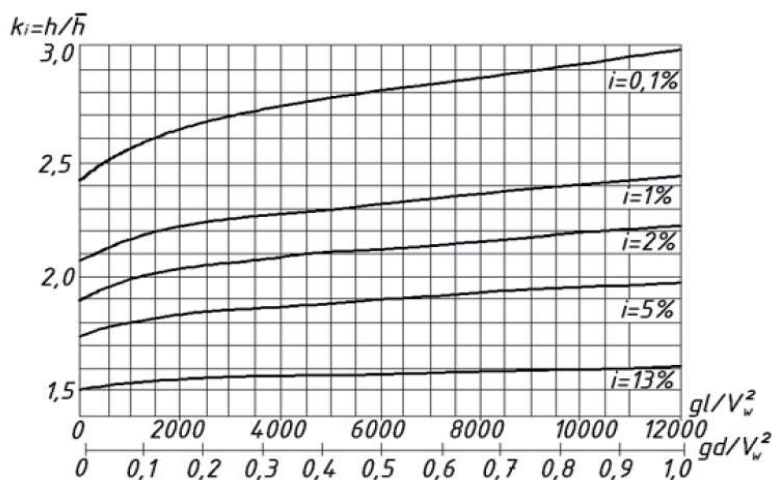


Рисунок 3 – Графіки визначення значень коефіцієнта k_i



Таблиця 4 – Значення коефіцієнтів k_r і k_p

Конструкції кріплення укосу	Відносна шорсткість укосу $\frac{r}{1\%}$	Коефіцієнт k_r	Коефіцієнт k_p
Бетонні (залізобетонні) плити	–	1	0,9
Гравійно-галечникове, кам'яне або кріплення бетонними (залізобетонними) блоками	менш ніж 0,002 0,005-0,01 0,02 0,05 0,1 більш ніж 0,2	1 0,95 0,9 0,8 0,75 0,7	0,9 0,85 0,8 0,7 0,6 0,5

Примітка. Характерний розмір r , м слід приймати рівним середньому діаметру зерен матеріалу кріплення укосу або середньому розміру бетонних або (залізобетонних) блоків

Таблиця 5 – Значення коефіцієнта k_{sp}

Значення	1-2	3-5	Більше 5
Коефіцієнт при k_{sp} швидкості вітру V_w , м/с:			
20 та більше	1,4	1,5	1,6
10	1,1	1,1	1,2
5 та менше	1,0	0,8	0,6

Примітка. φ – кут нахилу укосу земляної греблі або дамби до горизонту, град.

де α_w – кут між поздовжньою віссю водойми та напрямком вітру, град; V_w – розрахункова швидкість вітру, м/с; L – довжина розгону хвилі, км; k_w – коефіцієнт, що приймається за табл. 7.

Оскільки усі берегозахисні споруди та дамби знаходяться у мілководній зоні, то при розрахунках на них хвильових навантажень необхідно зробити уточнення розрахункових параметрів хвиль із урахуванням трансформації і рефракції паводку.

При проектуванні габионів для захисту укосів земляних гребель та дамб, а також берегів водних об'єктів при роботі частин габионних конструкцій під водою і змінного рівня не повинні виникати такі негативні процеси:

- для водойм (озер, ставків, обводнених кар'єрів, водосховищ, морського узбережжя тощо) – розмив дна біля осно-

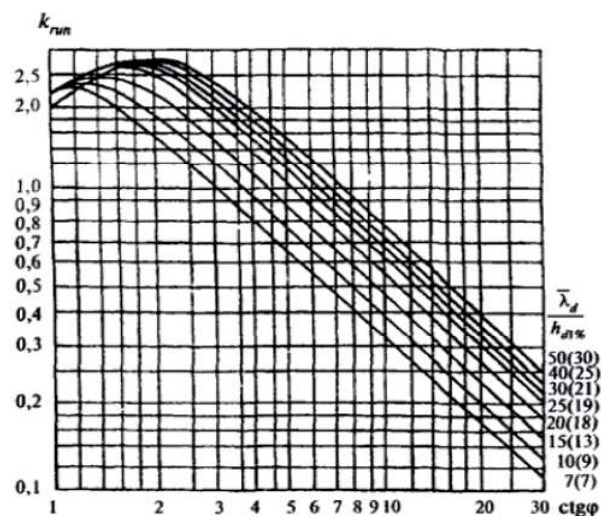


Рисунок 4 – Графіки значень коефіцієнтів k_{run}



Таблиця 6 – Значення коефіцієнта k_i

Забезпеченість по нахату i , %	0,1	1,0	2	5	10	30	50
Коефіцієнт k_i	1,1	1,0	0,96	0,91	0,86	0,76	0,68

Таблиця 7 – Значення коефіцієнта k_w

V_w , м/с	20	30	40	50
k_w , 10^6	2,1	3,0	3,9	4,8

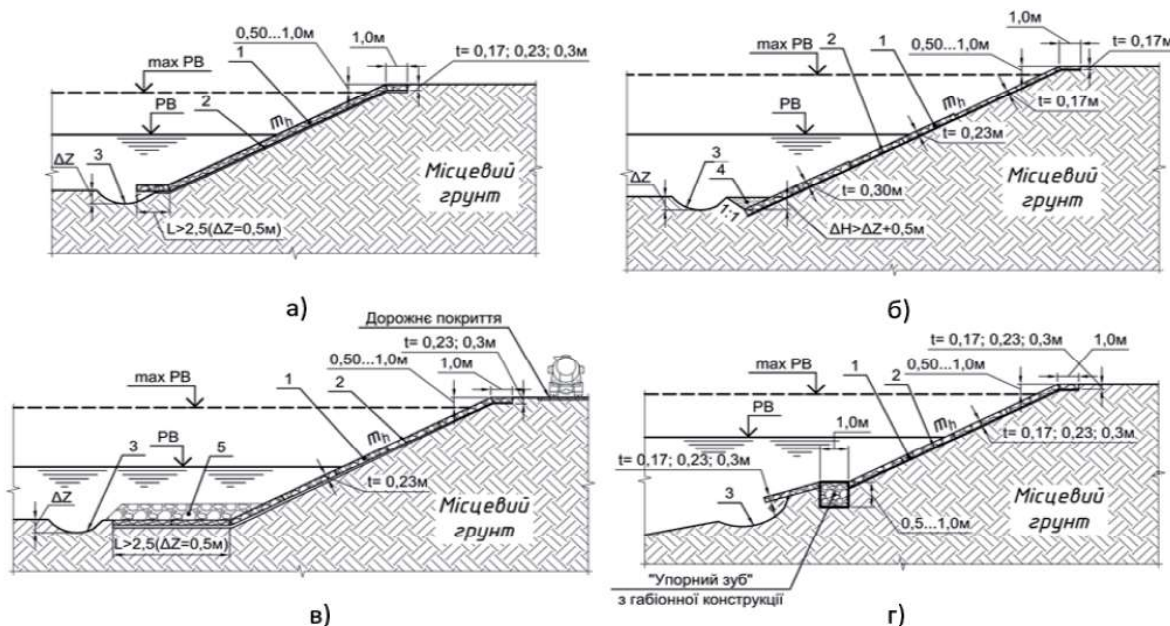


Рисунок 5 – Схеми захисту укосів від розмивів матрацами із геосинтетичних матеріалів:

а – при коефіцієнті закладання укосу $m_h > 2$ та значній ширині русла і заплави; б – при різній товщині матраців із заглибленням у ґрунт (з метою захисту від підмиву можливе застосування «упорного зуба» з габйонів або геотубів); в – з привантаженням матраців кам'яним накидом (геотубами); г – з матраців та упором із габйонних конструкцій. 1 – конструкція з матраців; 2 – зворотний фільтр з геотекстиля; 3 – очікувана воронка розмиву; 4 – зворотна засипка; 5 – кам'яний накид або геотуби



Рисунки 6 ÷ 7 – Кріплення берега акваторії Одеського порту



ви споруди за рахунок дії хвиль;

- б) для водотоків (річки, струмки, канали) – переформування русла через зміну напрямку руху водного потоку.

При будівництві берегозахисних споруд повинні передбачатися спеціальні заходи по попередженню забруднення атмосфери, ґрунтів, води, а також по запобіганню виникнення небажаних розмивів берегів та схилів. Рекомендовані схеми застосування матраців із геосинтетичних матеріалів для захисту укосів земляних гребель та дамб, а також берегів водних об'єктів від розмивів наведені на рис. 5.

Застосування комбінованого кріплення із матраців із геосинтетичних матеріалів та тетраподів для захисту берега акваторії Одеського порту наведено на рис. 6, 7.

ВИСНОВКИ

Аналіз використання геосинтетичних матеріалів в гідротехнічному будівництві України показав їх ефективність, економічність, довговічність та великі можливості для вирішення багатьох проблем при будівництві, реконструкції та в період експлуатації для захисту укосів земляних гребель та дамб, а також берегів водних об'єктів від розмивів, збільшення несучої здатності слабких ґрунтів. Вони також застосовуються при влаштуванні дренажних конструкцій земляних гребель та дамб, для армування споруд з ґрунтових матеріалів, захисних споруд, для гідроізоляції конструкцій та споруд, протиерозійного захисту.

Ефективність габіонів обумовлена їх еластичністю (гнучкістю) і водостійкістю, зносостійкістю і довговічністю. Найбільш ефективно застосовувати габіони для укріплення укосів земляних гребель та дамб, оскільки завдяки їх підвищеній гнучкості берегозахисні конструкції мають можливість повторювати контури прогнозованого розмиву, що виникає з боку водосховища або іншої водойми, що дозволяє габіонам щільно прилягати до ґрунту ями розмиву.

БІБЛІОГРАФІЧНИЙ СПИСОК

1. ДСТУ 7372:2013 Геотекстиль та віднесені до геотекстилю вироби. Необхідні характеристики для використання у дренажних системах (EN 13252:2000, MOD).
2. ДСТУ EN 13249:2005 Геотекстиль та віднесені до геотекстилю вироби. Необхідні характеристики для застосування в дорожньому будівництві (за винятком залізничних колій та асфальтових покриттів) (EN 13249:2000, IDT).
3. ДСТУ EN 13253:2017 (EN 13253:2016, IDT) Геотекстиль та вироби, що належать

до геотекстилю. Характеристики, потрібні для використання під час виконання робіт з ерозійного контролювання (зміцнення берегів, зміцнення берегових укосів).

4. ДСТУ EN 15382:2017 (EN 15382:2013, IDT) Геосинтетичні бар'єри. Характеристики, потрібні для використання в транспортній інфраструктурі.
5. ДСТУ EN 13251:2017 (EN 13251:2016, IDT) Геотекстиль та вироби, що належать до геотекстилю. Характеристики, потрібні для використання під час виконання земляних робіт, будівництва фундаментів та підпірних конструкцій.
6. ГБН В.2.3-37641918-558:2016 Габіонні конструкції. Проектування та будівництво.
7. Греблі з ґрунтових матеріалів. Загальні вимоги. ДСТУ XXXX:202X. [Чинні від 202X-0X-0X]. - К.: Мінінфраструктури України, 202X. XX с. (Національний стандарт України).
8. Будівлі і споруди в складних інженерно-геологічних умовах. Загальні положення. ДБН В.1.1-45:2017. [Чинні від 2017-11-01]. - К.: Мінрегіон, 2017. - 43 с. (Державні будівельні норми України).
9. Настанова щодо проектування будівель і споруд на слабких ґрунтах. ДСТУ-Н Б В.1.1-40:2016. [Чинні від 2017-04-01]. К.: Мінрегіон, 2016. - 66 с. (Національний стандарт України).
10. Настанова щодо інженерного захисту територій, будівель і споруд від зсувів та обвалів. ДСТУ-Н Б В.1.1-37:2016. [Чинні від 2017-04-01]. - К.: Мінрегіон, 2016. - 89 с. (Національний стандарт України).
11. Нагрузки и воздействия на гидротехнические сооружения (волновые, ледовые и от судов) (Навантаження та впливи на гідротехнічні споруди (хвильові, льодові та від суден)) СНиП 2.06.04-82*, 1983. – 46 с.

REFERENCES

1. DSTU 7372:2013. (2013). Geotextiles and related products. Essential characteristics for use in drainage systems (EN 13252:2000, MOD).
2. DSTU EN 13249:2005. (2005). Geotextiles and related products. Essential characteristics for use in road construction (excluding railway tracks and asphalt layers) (EN 13249:2000, IDT).
3. DSTU EN 13253:2017. (2017). Geotextiles and products related to geotextiles. Characteristics required for use in erosion control works (shore reinforcement, slope stabilization) (EN 13253:2016, IDT).
4. DSTU EN 15382:2017. (2017). Geosynthetic



- barriers. Characteristics required for use in transportation infrastructure (EN 15382:2013, IDT).
5. DSTU EN 13251:2017. (2017). Geotextiles and products related to geotextiles. Characteristics required for use during earthworks, foundation construction, and supporting structures (EN 13251:2016, IDT).
 6. GBN V.2.3-37641918-558:2016. (2016). Gabion structures. Design and construction.
 7. DSTU XXXX:202X. Earth dams. General requirements. Ministry of Infrastructure of Ukraine. (202X). Earth dams. General requirements.
 8. DBN V.1.1-45:20. (2017). Buildings and structures in complex engineering-geological conditions. General provisions.
 9. DSTU-N B V.1.1-40:2016 (2016) Guidelines for designing buildings and structures on weak soils. DSTU-N B V.1.1-40:2016. Ministry of Regional Development, Building, and Housing and Communal Services of Ukraine.
 10. DSTU-N B V.1.1-37:201(2016). Guidelines for the engineering protection of territories, buildings, and structures from landslides and collapses. Ministry of Regional Development, Building, and Housing and Communal Services of Ukraine. (2016).
 11. SNiP 2.06.04-82*. (1983). Loads and impacts on hydraulic structures (wave, ice, and from ships).

Стаття надійшла до редакції 01.03.2024 року



Doi: <https://doi.org/10.33644/2313-6679-1-2024-6>

УДК 691.3



ШЕЙНІЧ Л.О.

Доктор техн. наук, професор, завідувач відділу, ДП «Державний науково-дослідний інститут будівельних конструкцій», м. Київ, Україна, e-mail: schein@ndibk.gov.ua тел.: +38 (044) 248-88-73 ORCID ID: 0000-0002-7684-9495



ПУШКАРЬОВА К.К.

Доктор техн. наук, професор, завідувач кафедри будівельних матеріалів, Київський національний університет будівництва і архітектури, м. Київ, Україна e-mail: pushkarova.kk@knuba.edu.ua тел.: +38 (067) 174-68-06 ORCID ID: 0000-0001-7640-8625



ПРИЙМАЧЕНКО А.С.

канд. техн. наук, директор ТОВ «МЦ Баухемі» e-mail: Artem.Pryumachenko@mc-bauchemie.ua тел.: +38 (067) 406-07-94



ЧАЙКОВСЬКИЙ В.В.

технолог ТОВ «МЦ Баухемі» e-mail: Vitaliy.Chaikovskiy@mc-bauchemie.ua тел.: +38 (067) 363-34-64

ОЦІНКА ВІДПОВІДНОСТІ МІЦНОСТІ БЕТОНУ НА СТИСК ЗА УКРАЇНСЬКИМИ ТА ЄВРОПЕЙСЬКИМИ СТАНДАРТАМИ

АНОТАЦІЯ

Розглянуто питання оцінки відповідності міцності бетону на стиск за національними та європейськими стандартами. Показано, що марка бетону за міцністю, яка використовувалась на теренах колишнього СРСР, не гарантувала відповідної міцності бетону у виробках, що виготовляються на підприємстві, оскільки не враховувала фактичну однорідність властивостей, і тому перехід від марок до класів за міцністю на стиск слід розглядати як прогресивний крок, що дозволяє підвищити однорідність бетону та стабільність його показників.

За EN 206-1, ДСТУ EN 206:2018 та ДБН В.2.6-98 клас бетону за міцністю при стиску визначається за показником характеристичної міцності, яка гарантується із забезпеченістю 95%. Таким чином, зі 100 випробувань показники 95 випробувань перевищують значення характеристичної міцності бетону, а від цього відштовхуються подальші розрахунки як при проектуванні будівельних об'єктів,

так і при їх технологічному виконанні, а саме: необхідної міцності бетону, середньої міцності, визначення відповідності міцності бетону критеріям відповідності.

Наведені основні методики оцінки відповідності міцності бетону на стиск заданому класу за національними та європейськими стандартами. Проведено аналіз статистичних вимог до показників міцності бетонів згідно з національними і європейськими нормативними документами та встановлено, що їх виконання забезпечує отримання продукції необхідної якості.

Показано, що значення середньоквадратичного відхилення характеризує абсолютну мінливість параметра, що вивчається, а коефіцієнт варіації, який дорівнює відношенню середньоквадратичного відхилення до середнього арифметичного значення параметра (наприклад, міцності), характеризує відносну мінливість. Тобто, використання коефіцієнта



варіації дозволяє оцінити стабільність роботи (якість організації виробництва) на різних технологічних лініях виробництва бетонних сумішей, порівнюючи між собою однорідність міцності бетонів різних класів.

Згідно з європейськими вимогами визначення мінімальної міцності бетону при безперервному виробництві для отримання необхідного його класу виконується за двома критеріями: критерій 1: $f_{cm} \geq f_{ck} + 1,48\sigma$, та критерій 2: $f_{cm} \geq f_{ck} - 4$.

Найбільше значення для отримання бетону необхідної міцності має перший критерій, оскільки останній ґрунтується на статистичних залежностях, які формують визначення класу міцності бетону при стиску.

Проведено розрахунки визначення відповідності бетону заданому класу за європейськими та українськими стандартами при різних значеннях середньоквадратичного відхилення, а відповідно різних коефіцієнтах варіації. Отримані результати подібні, мають незначні розбіжності, а отже перехід на європейські норми оцінки якості бетону не повинен викликати жодних проблем.

Таким чином, враховуючи поступовий перехід нормативної бази України до європейської, доцільно переглянути ДСТУ Б В.2.7-224 з введенням в нього вимог EN 206-1.

КЛЮЧОВІ СЛОВА: клас бетону, характеристична міцність, середня міцність за стиском, бетон, ДСТУ EN 206:2018

CONFORMITY ASSESSMENT OF CONCRETE COMPRESSIVE STRENGTH ACCORDING TO UKRAINIAN AND EUROPEAN STANDARDS

ABSTRACT

The issues of assessing the compliance of concrete compressive strength according to national and European standards are considered. It is shown that the concrete strength grade, which was used in the territory of the former USSR, did not guarantee the corresponding strength of concrete in products produced at the enterprise, since it did not take into account the actual uniformity of properties and therefore the transition from grades to classes of compressive strength should be considered as a progressive step that allows you to increase the homogeneity of concrete and the stability of its performance.

According to EN 206-1, DSTU EN 206:2018 and DBN V.2.6-98, the class of concrete in terms of compressive strength is determined by the characteristic strength indicator, which is guaranteed with a 95 % probability, thus, out of 100 tests, the indicators of 95 tests exceed the value of the characteristic strength of concrete. From this further calculations are based both in the design of construction projects and in their technological implementation, namely: the required strength of concrete, average strength, determining whether the strength of concrete meets the compliance

criterion.

The main methods for assessing the compliance of the strength of concrete at a joint with a given class according to national and European standards are presented. An analysis of statistical requirements for the strength properties of concrete was carried out in accordance with national and European regulatory documents. It was found that their implementation ensures the production of the required quality.

It is shown that the value of the standard deviation characterizes the absolute variability of the parameter being studied, and the coefficient of variation, equal to the ratio of the standard deviation to the arithmetic mean value of the parameter (for example, strength), characterizes the relative variability. That is, the use of the coefficient of variation makes it possible to evaluate the stability of work (the quality of production organization) on different technological lines for the production of concrete mixtures, comparing the uniformity of strength of concrete of different classes.

According to European requirements, the determination of the minimum strength of concrete during continuous production to obtain the required class is carried out according to two criteria: criterion 1: $f_{cm} \geq f_{ck} + 1,48\sigma$, and criterion 2: $f_{cm} \geq f_{ck} - 4$.

Calculations were carried out to determine the compliance of concrete with a given class according to European and Ukrainian standards at different values of the standard deviation, and, accordingly, different coefficients of variation. The results obtained are similar and have minor differences, which means that the transition to European standards for assessing the quality of concrete should not cause any problems.

Thus, taking into account the gradual transition of the regulatory framework of Ukraine to the European one, it is advisable to revise DSTU B V.2.7-224 with the introduction of the requirements of EN 206-1.

KEYWORDS: class of concrete, characteristic strength, average compressive strength, concrete, DSTU EN 206:2018

ВСТУП

Основою вимогою до будівельних об'єктів є їх безпечна експлуатація. Для цього при їх проектуванні закладають відповідні вимоги, тобто забезпечують запаси значень певних властивостей. Це стосується також і міцності бетону. Основний параметр бетону – міцність при стиску, пов'язаний кореляційними залежностями з міцністю при розтягу, зрізі, сколюванні. Основний стандартний показник міцності бетону при стиску – так звана кубікова міцність, що враховується при проектуванні складів бетонних сумішей і при проведенні потокового виробничого контролю при виробництві бетонних сумішей та виробів на їх основі.

Певний час міцність бетону оцінювали марками. Марку бетону визначали випробуванням еталонних трьох зразків-кубів з ребром 150 мм після 28 діб



твердіння за нормальних умов (відносна вологість не менше 95 %, температура – $20 \pm 2^\circ\text{C}$). Отримане середнє арифметичне за результатами 3-х випробувань приймає як значення межі міцності при стиску, якщо кожен з цих результатів відрізнявся від середнього не більше ніж на 15 %; в іншому випадку кінцевим результатом було середнє арифметичне з двох найбільших результатів. При цьому в жодній з випробуваних серій зразків середнє значення межі міцності при стиску не повинно бути нижче марки, що запроектована.

Марка за міцністю не гарантувала відповідної міцності бетону у виробках, що виготовляються на підприємстві, оскільки не враховувала фактичну однорідність міцності; запроектована міцність досягалась у 50 випадках із 100 (значення міцності бетону досягалось із забезпеченістю 50 %) [1].

Перехід від марок до класів за міцністю на стиск є прогресивним кроком в системі нормування та реалізації фактичних показників бетону і дозволяє підвищити однорідність бетону та стабільність його показників. Для цього використовують контроль виробництва бетону з використанням методів статистики.

Для визначення міцності бетону на стиск у віці 28 діб можна використовувати циліндричні зразки діаметром 150 мм, заввишки 300 мм ($f_{ck,cyl}$) або зразки-куби з довжиною ребра 150 мм ($f_{ck,cube}$) [2].

У Великобританії, США та деяких інших країнах визначають міцність бетону при випробуванні зразків-циліндрів, а в Європейському союзі [3] та в Україні [4, 5] – при випробуванні зразків-кубів.

ВИКЛАДЕННЯ ОСНОВНОГО МАТЕРІАЛУ ДОСЛІДЖЕННЯ

При визначенні класу бетону при стиску найчастіше застосовують такі статистичні характеристики як середнє арифметичне, середнє квадратичне відхилення та коефіцієнт варіації.

Середнє арифметичне характеризує відношення суми всіх зафіксованих значень параметра, що входить у дану сукупність, до кількості його значень.

Середнє квадратичне відхилення означає середнє квадратичне різниця між отриманими даними та середнім значенням для однієї вибірки, що розглядається. Цей показник вказує границі мінливості параметра, що визначається (міцності), тобто ступінь відхилення його значень щодо середнього [6].

Середнє квадратичне визначається за формулою:

$$S^2 = \frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2, \quad (1)$$

де x_i – одиничні результати випробування, наприклад, показники міцності при стиску бетону; $\bar{x}$ – середнє значення показників для однієї вибірки.

Якщо підставити показники міцності, то формула виглядає наступним чином:

$$S_m = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (f_{ci} - f_{c,cube})^2}{n-1}} \quad (2)$$

де f_{ci} – одиничні результати випробування зразків бетону на міцність при стиску; $f_{c,cube}$ – середнє значення міцності бетону при стиску для однієї вибірки.

$f_{c,cube} = f_{cm}$ (це позначення середньої міцності бетону за EN 206-1).

Для невеликих вибірок середнє квадратичне може визначатися за спрощеною залежністю:

$$S = \frac{(x_{\max} - x_{\min})}{K}, \quad (3)$$

де $x_{\max}$ – максимальне значення показника, наприклад міцності при стиску; $x_{\min}$ – мінімальне значення того ж показника.

Якщо підставити вищенаведені показники міцності, то рівняння буде виглядати наступним чином:

$$S = \frac{(f_{ci\max} - f_{ci\min})}{K}, \quad (4)$$

де K – коефіцієнт, що залежить від об'єму вибірки (табл. 1)

Таблиця 1 – Залежність коефіцієнта K від об'єму вибірки

n	2	3	4	5	6
K	1,13	1,69	2,06	2,33	2,50

Коефіцієнт варіації (V) – відносна величина, яка не залежить від абсолютних значень вибірки. Цей показник служить для характеристики розсіювання (мінливості) ознаки. Являє собою відношення середнього квадратичного відхилення s до середнього арифметичного і виражається у відсотках:

$$V = \frac{S}{\bar{x}}. \quad (5)$$

Підставляючи вищенаведені показники середньої міцності бетону коефіцієнт варіації розраховується як відношення:

$$V = \frac{S}{f_{c,cube}}. \quad (6)$$

Якщо середнє квадратичне відхилення характеризує абсолютну мінливість параметра, що вивчається, то коефіцієнт варіації, який дорівнює відношенню середнього квадратичного відхилення до середнього арифметичного значення параметра, характеризує відносну мінливість.

Коефіцієнт варіації застосовується тоді, коли необхідно порівняти мінливість ознак об'єкта, які виражені в різних одиницях вимірювання, тобто його можна застосовувати для порівняння різних вибірок. В технології бетону він використовується



для характеристики однорідності міцності бетону, якості роботи технологічної лінії тощо.

В Україні, як і в країнах Європи, використовують клас міцності бетону при стиску, що оцінюється показником характеристичної міцності бетону $f_{ck, cube}$, яка гарантується із забезпеченістю 95 %. Таким чином, зі 100 випробувань – показники 95 випробувань перевищують значення характеристичної міцності бетону, а від цього відштовхуються подальші розрахунки як при проектуванні будівельних об'єктів, так і при їх технологічному виконанні, а саме: необхідної міцності бетону, середньої міцності, визначення відповідності міцності бетону критеріям відповідності.

У 90-х роках в українських стандартах клас міцності бетону при стиску позначався латинською літерою «В», наприклад В25. Згідно сучасної класифікації класи бетону позначаються латинською літерою «С», наприклад С 20/25, де через косу риску спочатку наводиться характеристична міцність бетону, що визначена на зразках-циліндрах, а потім – характеристична міцність, що визначена на зразках-кубах.

Відповідно до цього існують різні методики розрахунку конструкцій та різні методики оцінки відповідності міцності бетону заданому класу. Слід зазначити, що показник характеристичної міцності бетону завжди менше показника реальної міцності.

Для визначення співвідношення між характеристичною міцністю та реальною міцністю в Україні використовують коефіцієнт варіації, а в Європі – два критерії, причому найбільш консервативним критерієм є критерій, що передбачає використання середньо квадратичного відхилення для розрахунку середнього значення міцності f_{cm} .

Так, в країнах Європи визначають клас бетону за допомогою наступної залежності [7]:

$$f_{cm} - 1,64S \geq f_{ck, cube} \quad (7)$$

де $f_{ck, cube}$ – показник характеристичної міцності бетону; f_{cm} – середня міцність бетону; S – середньо квадратичний відхил.

Якщо f_{cm} винести за дужки, то після простих перетворень отримуємо відому залежність, що широко застосовується в українській нормативній базі [7, 9, 10]:

$$C(f_{ck, cube}) = f_{cm} (1 - 1,64V_c) \quad (8)$$

де V_c – коефіцієнт варіації, який дорівнює відношенню середнього квадратичного відхилення S до середнього арифметичного значення міцності, S/f_{cm} і виражається у відсотках. Часто коефіцієнт варіації позначають ще як C_v .

Вважається, що значення коефіцієнта варіації менше 6 % свідчить про відмінну однорідність бетону, а значення вище 13,5 % – недопустимі.

Таким чином, як в європейській спеціальній

літературі, так і в українській, використовують для визначення класу міцності бетону за стиском одну й ту саму статистичну залежність, але яка представлена по-різному.

Перевіряння відповідності – це поєднання рішень і дій, що виконуються згідно з прийнятими заздалегідь правилами визначення відповідності бетонної суміші і бетону певним вимогам. Перевіряння відповідності є невід'ємною частиною виробничого контролю. Методики перевіряння відповідності згідно з національними і європейськими вимогами відрізняються.

Згідно національними вимогами [10] перевіряння відповідності здійснюється із застосуванням такого поняття як партії бетону та наступного планування їх якості на майбутній період виробництва, спираючись на дані, отримані за попередній період.

При здійсненні перевіряння широко застосовуються методи статистики, що дозволяє проводити достатньо ефективно перевірку відповідності та керувати процесом отримання якісної продукції. Згідно з цією методологією сьогодні здійснюється виробництво бетонної суміші, що забезпечує отримання бетону необхідної міцності відповідно до вимог, і в основі цього процесу закладено перевіряння відповідності.

ДСТУ Б В.2.7-224 [10] при плануванні виробництва партії бетону для виготовлення залізобетонних конструкцій передбачено два періоди їх виробництва:

- аналізований період – період часу, за який обчислюють середній за партіями коефіцієнт варіації міцності;
- контрольований період – період часу, протягом якого необхідну міцність бетону приймають постійною відповідно до коефіцієнта варіації за попередній аналізований період.

Тобто, аналізований період – це період визначення коефіцієнта варіації за якийсь час, а контрольований – це час майбутнього виробництва, на який планують використовувати отриманий фактичний коефіцієнт варіації за аналізований період.

Партія бетонної суміші – це об'єм бетонної суміші, що виготовлена на одному технологічному комплексі за регламентований час.

При контролі за зразками до складу партії бетону може включатися бетон однієї або декількох партій конструкцій, що утворені згідно з чинними стандартами або технічними умовами на ці конструкції.

Враховуючи поступовий перехід України на європейські норми, є доцільним дати більш конкретне визначення партії бетону, вказавши її об'єм та час відбору у відповідності до європейських норм, наприклад, для початкового виробництва з перших 50 м³ необхідно відібрати не менше 3 проб. Наприклад, для несертифікованого виробництва відбирають не менше однієї проби в день або, якщо об'єм виготовленої бетонної суміші перевищує



150 м³ – по одній пробі на кожні 150 м³. Відбирання проб необхідно рівномірно розподіляти по всьому об'єму бетонної суміші, при цьому відбирають не більше однієї проби з 25 м³ (табл. 2).

Об'єм однієї проби бетонної суміші за EN 12350 повинен у 1,5...2 рази перевищувати об'єм зразків, які будуть виготовлені. Із проби виготовляють задану кількість серій зразків. Одна серія, як правило, складається з 3-х зразків [11].

Тривалість аналізованого періоду для визначення характеристик однорідності бетону установлюють від одного тижня до 2 місяців.

Число одиничних значень міцності бетону протягом цього періоду повинно складати не менше 30 (п. 6.1, ДСТУ Б В.2.7-224 [9]).

Протягом аналізованого періоду обчислюють середнє квадратичне відхилення s_m і коефіцієнт варіації V_c міцності. Вказані характеристики обчислюються для всіх видів нормованої міцності, що підлягають контролю.

Коефіцієнт варіації міцності бетону в партії V_c , у відсотках, обчислюють за формулою [п. 6.5 ДСТУ Б В.2.7-224]:

$$V_c = \frac{S_m}{f_{c,cube}} \cdot 100\% , \quad (9)$$

де $f_{c,cube} = f_{cm}$ – це середнє значення міцності бетону.

Необхідна міцність бетону – мінімально допустиме значення фактичної міцності бетону в партії, що встановлюється лабораторіями підприємств відповідно до досягнутої її однорідності

Необхідну міцність бетону для наступного контролюваного періоду розраховують за формулою:

$$f_c = k_t \cdot C_n , \quad (10)$$

де $C_n (f_{ck, cyl/cube})$ – характеристична міцність бетону, яка залежить від класу бетону; k_t – коефіцієнт необхідної міцності бетону, приймається згідно з табл. 2

Таблиця 2 – Мінімальна частота проведення випробувань для оцінювання відповідності (згідно ДСТУ Б В.2.7-176:2008)

Виробництво	Мінімальна частота відбирання проб		
	Перші 50 м ³ бетонної суміші	Після перших 50 м ³ бетонної суміші ¹⁾	
		Виробництво з сертифікованою системою якості продукції	Виробництво без сертифікованої системи якості продукції
Початкове (до отримання, принаймні, 35 результатів випробувань)	3 проби	1/200 м ³ або 2 за робочий тиждень	1/150 м ³ або 1 за робочу добу
Безперервне ²⁾ (після отримання, принаймні, 35 результатів випробувань)	-	1/400 м ³ або 1 за робочий тиждень	

¹⁾ Відбирання проб необхідно розподіляти рівномірно по всьому обсягу виробництва і відбирати не більше однієї проби на 25 м³ бетонної суміші.

²⁾ Якщо стандартний відхил останніх 15 результатів випробувань перевищує 1.37σ, де σ є стандартний відхил, отриманий на початковій стадії, частоту випробувань необхідно збільшити до частоти, передбаченої для початкової стадії виробництва, до отримання наступних 35 результатів випробувань.



ДСТУ Б В.2.7-224 залежно від середнього значення групового коефіцієнта варіації міцності бетону V_c .

Згідно з EN 206-1 після початку виробництва розрізняють початкову стадію виробництва та безперервне виробництво [3].

Початкова стадія виробництва триває доти, поки не буде отримано, принаймні, 35 результатів випробувань.

Під час безперервного виробництва виробник може використовувати план вибіркового випробування і критерії як для початкового виробництва. Мінімальна частота відбирання проб і випробувань бетону повинна відповідати EN 206-1 з відбиранням

найбільшої кількості проб як для початкової стадії, так і для безперервного виробництва (табл. 3).

Якщо два або більше зразків виготовлені з однієї проби бетону і якщо результати їх випробування відрізняються більше ніж на 15 % від середнього значення, то такий результат не повинен враховуватися і повинна бути встановлена причина цього відхилення.

Оцінка відповідності міцності бетону заданим вимогам виконується за період, що не перевищує останні 12 місяців.

Відповідність міцності бетону на стиск оцінюється на зразках, що випробувані після 28 діб твердіння

Таблиця 3 – Значення коефіцієнта необхідної міцності k_t для бетонів усіх видів (згідно з ДСТУ Б В.2.7-224)

Коефіцієнт варіації міцності бетону, V_{cm} , %	Значення коефіцієнта необхідної міцності k_t для бетонів			
	для усіх видів (крім щільних силікатних, ніздрюватих) і конструкцій, окрім масивних гідротехнічних	для щільного силікатного бетону	для автоклавного ніздрюватого бетону	для масивних гідротехнічних конструкцій
6 і менше	1,07	1,06	1,08	1,09
7	1,08	1,07	1,09	1,10
8	1,09	1,08	1,10	1,11
9	1,11	1,09	1,12	1,13
10	1,14	1,12	1,13	1,14
11	1,18	1,14	1,14	1,16
12	1,23	1,18	1,17	1,18
13	1,28	1,22	1,22	1,20
13,5	1,31	1,25	1,24	1,21
14	1,33	1,27	1,26	1,22
15	1,38	1,33	1,32	1,23
16	1,43	1,39	1,37	1,25
17	Область недопустимих значень k_t	1,46	1,43	1,28
18			1,50	1,32
19			1,57	1,36
20				1,39
21 і більше				

Таблиця 4 – Кількість результатів випробування та критерії підтвердження відповідності міцності бетону на стиск

Виробництво	Кількість результатів випробувань міцності на стиск у групі, n	Критерій 1	Критерій 2
		Середнє значення за n результатами f_{cm} , МПа	Будь-який окремих результат випробувань f_{ci} , МПа
Початкове	3	$\geq f_{ck} + 4$	$\geq f_{ck} - 4$
Безперервне	≥ 15	$\geq f_{ck} + 1,48\sigma$	$\geq f_{ck} - 4$

Примітка. f_{ck} – характеристична міцність бетону, що дорівнює його класу із забезпеченістю 95 %; σ – стандартне відхилення.



для:

- групи з « n » зразків за середнім значенням результатів випробувань f_{cm} (критерій 1);
- кожного окремого результату випробувань f_{ci} (критерій 2).

Відповідність міцності бетону заданій міцності підтверджується, якщо результати випробувань відповідають обом критеріям, наведеним у

табл. 4, як для початкової стадії виробництва бетону даного складу, так і для подальшого виробництва (п.п. 8.2.1.3 EN 206-1 [3]). Критерії відповідності базуються на припущенні, що результати випробувань мають між собою деякі відхилення.

Результати розрахунку відповідності міцності бетону заданому класу за українськими та європейськими стандартами при різних стандартних відхиленнях та

Таблиця 5 – Визначення відповідності бетону заданому класу за європейськими та українськими стандартами при різних значеннях стандартного відхилу

Клас бетону	Характеристична міцність бетону, f_{ck} (МПа)	Середньо квадратичне відхилення, S або σ	Коефіцієнт варіації міцності бетону, V_c	Середня міцність бетону f_{cm} , МПа, згідно з			
				ДБН В.2.6-98 $f_{cm} = f_{ck}/(1-1,64V)$	ДСТУ EN 206:2018		ДСТУ Б В.2.7-224 $f_{cm} \geq f_c$ ($f_c = k_t C_n$)
					Критерій 1 $f_{cm} \geq f_{ck} + 1,48\sigma$	Критерій 2 $f_{ci} \geq f_{ck} - 4$	
C8/10	10	0,67	0,06	11,1	11	+	10,7
		0,92	0,08	11,5	11,4	+	10,9
		1,73	0,135	12,8	12,6	+	13,1
C12/15	15	1	0,06	16,6	16,5	+	16,1
		1,38	0,08	17,3	17	+	16,4
		2,61	0,135	19,3	18,9	+	19,7
C16/20	20	1,33	0,06	22,2	22	+	21,4
		1,84	0,08	23	22,7	+	21,8
		3,47	0,135	25,7	25,1	+	26,2
C20/25	25	1,66	0,06	27,7	27,5	+	26,8
		2,3	0,08	28,8	28,4	+	27,3
		4,33	0,135	32,1	31,4	+	32,8
C30/35	35	2,33	0,06	38,8	38,4	+	37,5
		3,22	0,08	40,3	39,8	+	38,2
		6,08	0,135	45	44	+	45,9
C32/40	40	2,66	0,06	44,4	43,9	+	42,8
		3,68	0,08	46	45,4	+	43,6
		6,94	0,135	51,4	50,3	+	52,4
C35/45	45	2,99	0,06	49,9	49,4	+	48,2
		4,14	0,08	51,8	51,1	+	49,1
		7,8	0,135	57,8	56,5	+	59
C40/50	50	3,33	0,06	55,5	54,9	+	53,5
		4,61	0,08	57,6	56,8	+	54,5
		8,67	0,135	64,2	62,8	+	65,5
C50/60	60	3,99	0,06	66,5	65,9	+	64,2
		5,53	0,08	69,1	68,2	+	65,4
		10,41	0,135	77,1	75,4	+	78,6

Примітка 1: Вважається, що окремі результати випробувань відповідають вимогам критерію 2, хоча на значних об'ємах вибірки теоретично можливе випадкове зниження окремого результату випробувань.

Примітка 2: Середньоквадратичний відхилення (S) розраховано для вказаного класу бетону при заданому коефіцієнті варіації міцності бетону (V_c) з припущенням, що середня міцність бетону мінімальна і дорівнює f_{cm} , розрахованому за формулою згідно з ДБН В.2.6-98:2009. Такий підхід дозволяє оцінити вимоги різних стандартів при однакових параметрах статистичного ряду випробувань, тобто показники V_c , f_{cm} , S (σ), використані в розрахунках за українськими та європейськими методиками, – однакові.



коефіцієнтах варіації наведені у табл. 5.

Аналіз наведених результатів розрахунків для класів бетону від C8/10 до C50/60 (табл. 5) дозволяє зазначити, що при відносно низьких показниках коефіцієнта варіації розраховане значення середньої міцності бетону при стиску за українськими стандартами трохи менше ніж за європейськими (на 2...4 %), а при коефіцієнті варіації – 13,5 % – навпаки, показники середньої міцності за українським стандартом перевищують показники міцності, визначені за європейськими вимогами (різниця так само не перевищує 4 %).

Таким чином, отримані результати розрахунків середньої міцності бетону при стиску за вищезазначеними методиками подібні, мають незначні розбіжності, а отже перехід будівельної галузі України на європейські норми оцінки якості бетону не повинен викликати жодних проблем.

В той же час, при організації виробництва бетонних сумішей не слід змішувати різні методи оцінки якості, а доцільно дотримуватися однієї нормативної бази – або української, або європейської.

ВИСНОВКИ

1. Проведений аналіз статистичних вимог до показників міцності бетонів згідно з національними і європейськими нормативними документами показав, що їх виконання забезпечує отримання продукції необхідної якості.
2. Показано, що значення середньо квадратичного відхилення характеризує абсолютну мінливість параметра, що вивчається, а коефіцієнт варіації, який дорівнює відношенню середньоквадратичного відхилення до середнього арифметичного значення параметра (наприклад, міцності), характеризує відносну мінливість. Тобто, використання коефіцієнта варіації дозволяє оцінити стабільність роботи (якість організації виробництва) на різних технологічних лініях виробництва бетонних сумішей, порівнюючи між собою однорідність міцності бетонів різних класів.
3. Згідно європейських вимог визначення мінімальної міцності бетону при безперервному виробництві для отримання необхідного його класу виконується за двома критеріями: критерій 1: $f_{cm} \geq f_{ck} + 1,48\sigma$, та критерій 2: $f_{cm} \geq f_{ck} - 4$. Найбільше значення для отримання бетону необхідної міцності має перший критерій, оскільки останній ґрунтується на статистичних залежностях, які формують визначення класу міцності бетону за стиском.
4. З урахуванням відсутності в європейській нормативній документації поняття «партія

бетонної суміші», а присутнє «замовлення», доцільно переглянути поняття «партія» з наближенням його змісту до європейського.

5. Враховуючи поступовий перехід нормативної бази України до європейської, доцільно переглянути ДСТУ Б В.2.7-224 з введенням в нього вимог EN 206-1 [3].

БІБЛІОГРАФІЧНИЙ СПИСОК

1. Дворкін О.Й., Дворкін О.Л. Основи бетонознавства. Київ: Основа, 2007. 661 с.
2. ДСТУ Б В.2.7-176:2008. Суміші бетонні та бетон. Загальні технічні умови. Київ: Мінрегіонбуд України, 2010. 109 с.
3. EN 206-1. Бетон. Вимоги, характеристики, виробництво та критерії відповідності. Брюссель: Європейський комітет стандартизації, 2000. 69 с.
4. ДСТУ EN 206:2018. Бетон. Технічні вимоги, експлуатаційні характеристики, виробництво та критерії відповідності (EN 206:2013 + A1:2016, IDT). Київ: ДП «УкрНДНЦ», 2018.
5. ДСТУ Б В.2.7-214:2009. Будівельні матеріали. Бетони. Методи визначення міцності за контрольними зразками. Київ: Мінрегіонбуд України, 2010. 43 с.
6. Дворкін Л.Й., Гоц В.І., Дворкін О.Л. Випробування бетонів і будівельних розчинів. Проектування їх складів. Київ: «Основа» 2014. 304 с.
7. ДБН В.2.6-98:2009. Конструкції будинків і споруд. Бетонні та залізобетонні конструкції. Основні положення. Київ: Міністерство регіонального розвитку та будівництва України, 2011. 75 с.
8. Szymanski E. Materiałoznawstwo budowlane. Wydanie trzecie poprawione. Warszawa: Wydawnictwa Szkolne i Pedagogiczne, 1999. 425 р.
9. ДСТУ-Н Б В.2.7-299:2013. Настанова щодо визначення складу важкого бетону. Київ: ДП «УкрНДНЦ», 2014.
10. ДСТУ Б В.2.7-224:2009. Будівельні матеріали. Бетони. Правила контролю міцності. Київ: Мінрегіонбуд України, 2010. 27 с.
11. EN 12350 – 1:2019. Testing fresh concrete. Part 1. European committee for standardization, 2019. 9 р.

REFERENCES

1. Dvorkin, O. Y., & Dvorkin, O. L. (2007). Fundamentals of Concrete Science. Kyiv: Osnova.



2. DSTU B V.2.7-176:2008. (2010). Concrete Mixes and Concrete. General Technical Conditions. Kyiv: Ministry of Regional Development, Construction, Housing and Communal Services of Ukraine.
3. EN 206-1. (2000). Concrete. Requirements, Characteristics, Production, and Conformity Criteria. Brussels: European Committee for Standardization.
4. DSTU EN 206:2018. (2018). Concrete. Technical Requirements, Operational Characteristics, Production, and Conformity Criteria. Kyiv: State Enterprise "UkrNDNC".
5. DSTU B V.2.7-214:2009. (2010). Building materials. Concretes. Methods for determining strength with control samples. Kyiv: Ministry of Regional Development, Construction, Housing and Communal Services of Ukraine.
6. Dvorkin, L. Y., Hots, V. I., & Dvorkin, O. L. (2014). Testing of concretes and construction mortars. Design of their compositions. Kyiv: "Osnova"
7. DBN V.2.6-98:2009. (2011). Building and Structure Designs. Concrete and Reinforced Concrete Structures. Basic Provisions. Kyiv: Ministry of Regional Development and Construction of Ukraine.
8. Szymański, E. (1999). *Materialoznawstwo budowlane* (3rd ed.). Warsaw: Wydawnictwa Szkolne i Pedagogiczne.
9. DSTU-N B V.2.7-299:2013. (2014). Guidelines for determining the composition of heavy concrete. Kyiv: State Enterprise "UkrNDNC"
10. DSTU B V.2.7-224:2009. (2010). Building materials. Concretes. Rules for strength control. Kyiv: Ministry of Regional Development, Construction, Housing and Communal Services of Ukraine.
11. EN 12350 – 1:2019. (2019). Testing fresh concrete. Part 1. European committee for standardization.

Стаття надійшла до редакції 05.11.2023 року



Doi: <https://doi.org/10.33644/2313-6679-1-2024-7>

УДК 539.3:620.012.624.21+624.19:625



ЛУЧКО Й.Й.

Доктор техн. наук, професор
кафедри будівельних конструкцій
Львівського національного університету природокористування,
м. Львів, Україна
e-mail: karkhoot1@gmail.com
тел.: +38 (097) 033 18 36
ORCID ID: 0000-0002-3675-0503

ТРІЩИНОСТІЙКІСТЬ БЕТОННИХ ТА ЗАЛІЗОБЕТОННИХ КОНСТРУКЦІЙ З ПОЗИЦІЙ МЕХАНІКИ РУЙНУВАННЯ

АНОТАЦІЯ

У даній роботі наведені результати аналізу і синтезу науково-технічних джерел та низки досліджень залізобетонних конструкцій, новозбудованих та тривалої експлуатації будівель і споруд. Узагальнені результати досліджень на засадах механіки руйнування залізобетонних конструкцій споруд, зокрема за останні 30 років, які наведені у монографіях і довідниках. Виконано аналіз окремих робіт, в яких наведені дані досліджень залізобетонних конструкцій будівель і споруд тривалої експлуатації та теоретичних досліджень з надійності і довговічності з оцінкою залишкового ресурсу. Детально проаналізовані основні теоретичні моделі тріщиноутворення, схеми випробовувань та оцінки результатів досліджень розвитку тріщин в залізобетонних конструкціях. Проаналізовані сучасні погляди на механіку руйнування залізобетону як крихкого матеріалу. Виконано оцінку застосованих методів теорії ймовірності та математичної статистики, зокрема прийомів і методів фізичного, технічного і математичного моделювання. У результаті проведених досліджень встановлені основні причи-

ни деградації конструкцій будівель і споруд та розроблена методика ремонтно-відновлюваних робіт таких конструкцій із визначенням залишкового ресурсу, які узагальнені у відповідних монографіях та довідниках. Встановлено, що основні причини зводяться до наступного: це помилки проектування, дефекти та недоліки будівництва і експлуатації. На підставі узагальнених та критично осмислених наведених науково-технічних джерел та низки досліджень відпрацьована методика технічної діагностики залізобетонних конструкцій та методика посилення з використанням сучасних технологій і матеріалів. Використання цих технологій і матеріалів дає можливість значно збільшити термін експлуатації і надійність вказаних конструкцій та зробити відповідні обґрунтовані висновки щодо відновлення їх залишкового ресурсу та забезпечення подальшої надійної експлуатації.

КЛЮЧОВІ СЛОВА: бетон, залізобетон, конструкції, критерії, моделі руйнування, деградація, корозія арматури, карбонізація бетону, тріщиностійкість, довговічність, ресурс.



CRACK RESISTANCE OF CONCRETE AND REINFORCED CONCRETE STRUCTURES FROM THE PERSPECTIVE OF FRACTURE MECHANICS

ABSTRACT

This work presents the results of the analysis and synthesis of scientific and technical sources, as well as a series of studies on reinforced concrete structures of newly constructed and long-operating buildings and facilities. The results of studies based on the principles of fracture mechanics of reinforced concrete structures, especially over the last 30 years, presented in monographs and reference books, are summarized. An analysis of individual works, which includes research data on reinforced concrete structures of buildings and facilities with prolonged use and theoretical research on reliability and durability with an assessment of residual life, has been conducted. The main theoretical models of crack formation, testing schemes, and assessment of research results on crack development in reinforced concrete structures have been thoroughly analyzed. Modern views on the fracture mechanics of reinforced concrete as a brittle material have been examined. An evaluation of the applied methods of probability theory and mathematical statistics, including techniques and methods of physical, technical, and mathematical modeling, has been performed. As a result of the research conducted, the main causes of degradation of construction structures and a methodology for repair and restoration works of such structures with determination of residual life were established and summarized in respective monographs and reference books. It was found that the main causes boil down to design errors, defects, and shortcomings in construction and operation. Based on the generalized and critically analyzed scientific-technical sources and a series of studies, a methodology for the technical diagnostics of reinforced concrete structures and a method of reinforcement using modern technologies and materials have been developed. The use of these technologies and materials allows significantly increasing the service life and reliability of the mentioned structures and making justified conclusions regarding the restoration of their residual life and ensuring further reliable operation.

KEYWORDS: concrete, reinforced concrete structures, fracture criteria and models, degradation, reinforcement corrosion, concrete carbonation, crack resistance, durability, resource

ВСТУП

Залізобетонні конструкції, які працюють тривалий період, потребують обстеження технічного стану та, за необхідності, ремонту і відновлення їх несучої здатності, і за певних умов обґрунтування подальшої експлуатації. Сьогодні недостатньо розвинуті методи аналізу і визначення залиш-

кового ресурсу будівель та інженерних споруд, що відпрацювали проектний ресурс роботи. У результаті тривалої експлуатації конструкцій у їх елементах накопичилися різні дефекти, відбулися деструктивні зміни бетону і арматури. З метою вивчення умов роботи конструкцій будівель і споруд, впливу на них вказаних факторів, їх періодично обстежують (досліджують) і при необхідності виконують постійний моніторинг за відповідальними елементами споруд. Тому питання, пов'язані з технічною діагностикою, розробкою сучасних методів відновлення несучої здатності і визначення залишкового ресурсу з позиції механіки руйнування та створення засобів відновлення елементів конструкцій будівель і споруд є дуже актуальними.

АНАЛІЗ ДОСЛІДЖЕНЬ І ПУБЛІКАЦІЙ

Механіка руйнування зародилась у 20-х роках 19 ст. з появою статті А. Гріффітса «Явище руйнування і текучості у твердих тілах», в якій отримано вперше математичний опис крихкого руйнування тіла з тріщиною. Зокрема, працюючи інженером в авіаційному дослідницькому центрі у Лондоні, Гріффітс дослідив, що існуюча тріщина одержує можливість лавиноподібно розповсюджуватись, як тільки інтенсивність звільнення енергії U перевищить інтенсивність поглинання енергії P . Це припущення і стало основою запропонованого Гріффітсом енергетичного критерію руйнування тіла з тріщиною, який записується так: $G > 2U_s$.

Як відомо, у переважній більшості залізобетонних конструкцій допускаються тріщини певного розкриття у експлуатаційній стадії. Тому, для опису напружено-деформованого стану (далі – НДС) дослідники почали займатися не тільки з позиції механіки залізобетону, але й з позиції механіки руйнування бетону і залізобетону. У 60 – 90-х роках з'явилося багато наукових робіт з дослідження міцності і тріщиностійкості бетону і залізобетонних конструкцій. В оглядові роботі [1] з механіки руйнування бетону підсумовані результати досліджень до 1991 року, а в роботі [2] – дослідження до 1995 р. з оцінки тріщиностійкості залізобетонних конструкцій.

За останні 30 років виконана значна кількість наукових досліджень, які описують деградацію бетонних та залізобетонних конструкцій будівель і споруд, зокрема впливи повітряного, ґрунтового і водного агресивних середовищ, результати яких опубліковані в багатьох роботах [3 ÷ 5].

МЕТА

Мета роботи: на основі аналізу і синтезу опублікованих науково-технічних джерел та монографій узагальнити дослідження з механіки руйнування бетонних і залізобетонних конструкцій та сформулювати результати в узагальнених висновках і рекомендаціях для прак-



тичного застосування, зокрема оцінки міцності і тріщиностійкості такого матеріалу і конструкцій.

ОСНОВНІ РЕЗУЛЬТАТИ ТА ЇХ АНАЛІЗ

На сьогоднішня появилися серйозні дослідження, які узагальнені та опрацьовані в фундаментальних роботах, монографіях і довідниках [6÷19, 23 та ін.]. Нижче розглянемо монографії та довідники з механіки руйнування бетону і залізобетону.

У роботі [6] основна увага звернута на аналітичний опис процесу розвитку тріщини у мікро- і макроструктурі бетону у рамках механіки руйнування і його зв'язку з процесами деформування і руйнування матеріалу. Розглянуто низку практично важливих задач з прогнозування характеристик міцності, деформацій бетонів з врахуванням особливостей його структури та оптимізації деяких властивостей матеріалу. Зокрема, у цій роботі руйнування розглядається як поступова деградація структури бетону. Ця робота є першим узагальненням з механіки руйнування бетону на пострадянському просторі.

Робота [7] – це перша фундаментальна робота по температурній тріщиностійкості масивних бетонних споруд, яка присвячена застосуванню критеріїв механіки руйнування при дослідженні зародження тріщин, кінетики тріщин в масивних гідротехнічних спорудах, зокрема в греблях, а також температурного тріщиноутворення. Розроблена двопараметрична модель руйнування бетону з врахуванням структури і повзучості матеріалу. У даній роботі також описано другий варіант двопараметричної моделі, зокрема вказано, що перший варіант наближено дає верхню границю міцності на розтяг бетону, а другий – нижню границю, тому що на крихке руйнування матеріалу має обмежене застосування. Також у третьому варіанті розглянуто трипараметричну модель, яка дає задовільні результати при згині.

У роботі [8] описано міцнісні і деформаційні властивості бетону. Наведені основні положення механіки руйнування, де розглянуто задачі і експериментальні дані про тріщиностійкість бетону, моделі руйнування та оцінку масштабного фактору у бетоні при згині і розтягу. Представлені допоміжні задачі теорії пружності, які розв'язуються методом граничних інтегральних рівнянь, розклинювання пружної півплощини, функції впливу для напружень та нормальних переміщень. Розглянута стадія тріщиноутворення у залізобетонних балках, де наведено постановку задачі та одержано рівняння тріщиноутворення. Також описано розрахунок залізобетонних елементів у стадії експлуатації та сформульовані розрахункові рівняння для визначення напружено-деформованого стану елемента з односторонніми крайовими тріщинами при розтягу, вплив довготривалої дії навантаження на НДС залізобетонних елементів з тріщинами,

умови утворення поздовжніх тріщин та розрахунок залізобетонних елементів з урахуванням нелінійності деформування бетону і арматури. Відзначимо, що автор цієї роботи вперше системно застосував механіку руйнування для низки задач, зокрема для визначення НДС залізобетонних балкових конструкцій.

У роботі авторів [9] системно викладено основні поняття, методи і моделі лінійної і нелінійної механіки руйнування на рівні вимог відповідної програми університетів. Описано теорію втомних тріщин та акцентовано увагу на взаємозв'язок модельних уявлень з реальними процесами деформування і руйнування, які проходять на фронті тріщини, а також обмежені області застосування теоретичних моделей. Проаналізовані умови коректності експериментальних методів визначення характеристик тріщиностійкості і наведені відомості про найбільш вживані схеми випробувань.

У роботі [10] висвітлено питання зв'язку між параметрами бетонної конструкції та параметрами механіки руйнування, зокрема між коефіцієнтами інтенсивності напружень K_{Ic} та K_{2c} та роботу бетону руйнування J_{2c} . Випробування на в'язкість руйнування виконували з використанням моделі розтріскування II, а частина моделі була з використанням моделі K_{Ic} (розтягування при вигині). Контактний шар між заповнювачем і цементним розчином досліджували за допомогою скануючого мікроскопу. Стереологічні дослідження та переломи виконували за допомогою комп'ютерного аналізатора зображень. Також розглядаються принципи механіки руйнування, можливості їх застосування та описана методологія та обсяг досліджень.

Досліджено вплив типу, кількості та розміру зерен крупного заповнювача на K_{2c} і J_{2c} і їх зв'язок зі стереологічними параметрами. Також розглянуто вплив контактного шару на стійкість бетону до розтріскування K_{2c} і J_{2c} , зокрема і хімічно неактивного щодо цементного розчину. Вплив водоцементного відношення на в'язкість випробували на гравійному бетоні та його вплив на K_{2c} і J_{2c} . Також досліджено вплив на стійкість при високих температурах, зокрема на K_{Ic} .

Розглянуто дослідження на різних рівнях спостереження та описані характеристики матеріалів з цементними матрицями. Також описані структурні мікро- та макроскопічні дослідження лінії профілю руйнування. Наведено дані про практичне застосування даних, висвітлених у цій роботі. Представлено висновки та резюме одержаних результатах.

У роботі [11] викладено ефективні методи оцінки несучої здатності, тріщиностійкості та НДС в залізобетонних балкових елементах, досліджуваних на підставі концепцій пружно-пластичної механіки руйнування і механіки



залізобетону. Розроблені теоретичні методи визначення граничного стану залізобетонних конструкцій при коротко- та довготривалих навантаженнях. Зокрема, сформульовано розрахункові моделі і розв'язано задачі утворення та докритичного розвитку тріщин у нестаціонарній постанівці. Узагальнено і опрацьовано результати експериментальних досліджень та їх порівняння із розрахунковими даними.

У роботі [12] розглянуто моделі руйнування і застосування їх до залізобетону. Зокрема, наведені відомості про основні положення механіки руйнування, короткий огляд досліджень з механіки руйнування бетону і залізобетону та описані існуючі методи визначення величини критичного коефіцієнта інтенсивності напружень у бетоні. Представлено відомості про теоретичні основи механіки руйнування залізобетону, де розглянуто загальні положення, критичний коефіцієнт інтенсивності напруження для згинального залізобетонного елемента та модель зони порушеного зчеплення і деякі припущення розрахунку ресурсу конструкції. Наведено низку експериментальних досліджень для обґрунтування теоретичних підходів. Описано напружено-деформований стан залізобетонних балок у перерізах з тріщинами. Наведені моделі тріщини нормального відриву і тріщини поперечного зсуву. Сформульовано основні положення розрахунку бетонних та залізобетонних елементів і наведені приклади розрахунку та їх порівняння з експериментальними даними.

У роботі [13] описано основні положення механіки руйнування, моделі руйнування бетону і залізобетону, теоретичні і експериментальні засади і теорії, а також основні положення розрахунку та структури бетонних і залізобетонних елементів. Наведено основні параметри тріщиностійкості бетону і технологія підбору складу бетону із врахуванням тріщиностійкості його структури. Дослідження розвитку тріщин у бетонних елементах при довготривалих і циклічних навантаженнях та їх руйнування і відновлення посиленіх і зруйнованих залізобетонних елементів. Наведено розрахунок довговічності бетонних і залізобетонних конструкцій та розглянуті спеціальні задачі механіки руйнування бетону і залізобетону.

У роботі [14] викладені сучасні погляди на механіку руйнування бетону і залізобетону. На широкому експериментальному матеріалі висвітлені процеси деформування і руйнування у широкому діапазоні температур, вологості і силових впливів на бетонні і залізобетонні елементи. Охоплено велику кількість питань, які включають пояснення причини руйнування бетону, визначення характеристик його тріщиностійкості, розрахунок параметрів тріщин бетону при різних температурно-вологісних режимах, впровадження механіки руйнування бетону в прак-

тику будівництва і розрахунку конструкцій за несучою здатністю і довговічністю. Викладені особливості мікро- і макроструктури бетону, який розглядається як суттєво неоднорідний матеріал.

У роботі [15] узагальнено низку робіт з механіки руйнування бетонних і залізобетонних конструкцій та на їх основі сформульовано суть розроблених авторами моделей і критеріїв, існуючих в лінійній та нелінійній механіці руйнування. Висвітлено результати дослідження міцності, тріщиностійкості та НДС бетонних і залізобетонних конструкцій. Розроблено та опрацьовано методи оцінки міцності і тріщиностійкості, досліджених на підставі концепцій пружно-пластичної механіки руйнування та механіки залізобетону. Сформульовано розрахункові моделі і подано розв'язки задач з утворення та докритичного росту тріщин у нестаціонарній постанівці. Перевірку критеріїв і моделей розкриття та підростання тріщини і зони передруйнування виконувались на балкових зразках при розтягу, при згині, при позацентровому стиску і розтягу. Представлено також аналіз і синтез експериментальних досліджень та їх порівняння із розрахунковими.

У роботі [16] розглянуто методи оцінювання несучої здатності елементів конструкції з погляду їх тріщиностійкості із застосуванням силових енергетичних та деформаційних моделей. Дано визначення залишкового ресурсу конструкцій на основі застосування рівнянь циклічної тріщиностійкості. Розглянуті температурні залежності і характеристики опору розвитку тріщин та визначення критичних температур крихкості. Наведено приклади та задачі.

У роботі [17] узагальнено і висвітлено основні концепції механіки руйнування та міцності мостових конструкцій. Відзначено загальний стан, проблеми та класифікації мостів України. Зокрема, наведена загальна оцінка, технічний стан мостів, проблеми галузі та системи експлуатації мостів. Також описана класифікація мостів за довжиною, за призначенням, за матеріалом, за статичною схемою, за типом несучої конструкції, за типом армування, за типом залізобетону. Виконано аналіз і синтез проблем і завдань щодо забезпечення міцності та надійності залізобетонних мостів в Україні. Розглянуто пошкодженість залізобетонних конструкцій мостів після тривалої експлуатації, методи розрахунку з урахуванням тривалої експлуатації та описані інші аспекти мостів, які базуються на засадах механіки руйнування.

У праці [18] викладено відомості про дослідження, випробування і розрахунок переважно залізобетонних мостів і шляхопроводів. Наведено історичні відомості про мости, зокрема про різновиди мостів, епоху металу у мостобудуванні, епоху залізобетонних мостів, сучасні мости та стан і проблеми мостів України,



вибір та трасування мостів. Зокрема, значна увага приділена залізобетонним мостам, їх конструкціям і надійності. Представлено особливі випадки розрахунку на динамічні навантаження залізобетонних аркових, балкових та рамних мостів, враховуючи основні засади механіки руйнування та будівельної механіки. Зокрема, детально описано проектування балкових мостів з розрізними прогонами, нерозрізні рамні та аркові мости і підвісні, вантові та розвідні мости і конструкції підвісних систем. Особливі випадки розрахунку на міцність і довговічність, прогнозування залишкового ресурсу мостів, зокрема врахування ушкодження та деградацію матеріалу. Значна увага приділена прогнозуванню залишкової довговічності мостів після тривалої експлуатації. Також приділено увагу дослідженню та випробуванню мостів з використанням діагностики та неруйнівних методів досліджень. Ретельно розроблено принципи аналізу і оцінки надійності мостів та їх елементів.

У роботі [19] викладено аналіз і синтез методів та засобів проведення експериментальних досліджень, зокрема і досліджень тріщиностійкості матеріалів методами механіки руйнування. Розглянуто неруйнівні, руйнівні методи контролю випробувань та створення засобів для їх виконання. Наведені дані про створені давачі тиску та деформації і нові типи багатофункціональних сенсорів магнітного поля та температури. Описано способи і методи випробування матеріалів, конструкцій та споруд. Визначено основні характеристики будівельних матеріалів, зокрема тріщиностійкість і деформації бетонів. Зокрема, експериментальні методи росту тріщин і тріщиноподібних дефектів, – це метод пружної податливості, ультразвуковий метод, метод різниці електричних потенціалів, метод акустичної емісії, оптичні методи, метод вихрових струмів, магнітні методи, метод сигнальних здавачів, фрактографічні методи та способи вимірювання розкриття й довжини тріщин у залізобетонних конструкціях та з наведеними схемами, залежностями (формулами) на відповідних зразках. Значну увагу приділено методам теорії ймовірності та математичної статистики, зокрема, прийоми і методи фізичного, технічного і математичного моделювання.

У монографії [23] узагальнені основи розрахунку залізобетонних конструкцій за діючими нормами України, які спираються на засади нелінійної деформаційної моделі. Розглянуті нові моделі деформування залізобетонних конструкцій, розроблені на заміну діючих нормативних документів. Представлені алгоритми та виконані приклади розрахунку залізобетонних конструкцій за граничними станами першої та другої груп, які дають змогу порівняти результати розрахунків, виконаних за міцністю, тріщиностійкістю та

жорсткістю за діючими нормами України та новими моделями деформування залізобетону.

У роботі [29] сформульовано проблемні завдання розвитку гіпотез механіки руйнування стосовно розрахунку залізобетонних конструкцій при наявності тріщин. Наведено основні аспекти механіки руйнування, що акцентують увагу на особливостях зони передруйнування, а також гіпотези і передумови, покладені в основу розрахунку залізобетонних конструкцій за другою групою граничних станів. Описано особливості вирізання двохконсольного елемента, що включає тріщину, для побудови ефективного розрахункового апарату залізобетону з урахуванням фізичної нелінійності, процесів тріщиноутворення, зчеплення арматури з бетоном і ефекту порушення суцільності. Отримано нове рішення задачі про напружено-деформований стан залізобетонного елемента в зоні, що безпосередньо прилягає до тріщини.

У статті [30] поставлено проблему приведення у відповідність значень дослідних і теоретичних параметрів тріщиноутворення залізобетонних конструкцій на прикладі проведених експериментальних досліджень залізобетонних конструкцій при крученні зі згином з урахуванням деформаційних впливів. Отримано дослідні дані тріщиноутворюючого навантаження, значень ширини розкриття тріщин по всьому профілю тріщин, відстаней між ними, що доповнюють наявний експериментальний матеріал. При цьому основний акцент зроблено на основні положення, робочі гіпотези і тонкий інструментарій механіки руйнування, адаптований до залізобетону. Як трансформаційний елемент між залежностями механіки руйнування та теорії залізобетону було обрано двоконсольний елемент. Розроблення такого двоконсольного елемента дозволить уникнути громіздких математичних перетворень із використанням комплексних чисел при виведенні розрахункових залежностей, прийнятих щодо практичного використання.

У роботах [31, 32] розвинені гіпотези механіки руйнування стосовно врахування ефекту порушення суцільності залізобетонних конструкцій при різних силових впливах зі спрощенням її енергетичного функціонала. Розглянуто специфіку побудови двоконсольного елемента у зонах, безпосередньо прилеглих до тріщин. Отримано нову аналітичну залежність, яка пов'язує дотичне зусилля, що виникає в безпосередній близькості від тріщини, з довжиною її розвитку через питому енергію утворення нових поверхонь тріщин. Після утворення тріщин у залізобетонних конструкціях суцільність бетону порушується і його деформування вже не підкоряється законам суцільного тіла. У зонах, прилеглих до тріщин, виникає концентрація деформацій, що перенасичує потреби «системи», що складається з бетон-



них блоків і арматури. Як показали проведені експериментальні дослідження, причиною НДС у зонах, прилеглих до тріщин, є додатковий деформаційний вплив в тріщині, що необхідно враховувати в розрахунку. При цьому виявлено зв'язок складових НДС у зоні обурення з питомою енергією утворення нових поверхонь тріщини, що звільняється в зоні передруйнування. Отримав подальшого розвитку функціонал механіки руйнування стосовно до розрахунку залізобетонних конструкцій. Розроблено трансформаційний елемент, що пов'язує залежності механіки руйнування стосовно розрахунку залізобетонних конструкцій за граничними станами другої групи. Описані особливості вирізання двоконсольного елемента, що включає тріщину, для побудови ефективного інструментарію розрахунку залізобетону з урахуванням фізичної нелінійності, процесів тріщиноутворення, зчеплення арматури з бетоном і ефекту порушення суцільності. Наведено результати розробки двоконсольних елементів механіки руйнування при різних силових впливах: згині, позацентровому стиску, центральному розтязі, а також у зоні похилих тріщин.

Отже, підсумовуючи результати аналізу дослідження тріщиностійкості бетонів з позиції механіки руйнування, на думку автора, можна відзначити доцільність застосування для оцінки міцності конструкційних бетонів деформаційних моделей, які наведено в роботах [23, 29 ÷ 32], а також на рис. 1. На рис. 2, а показано уточ-

Таблиця 1 – Експериментальне [21] та розрахункове δ_d

f_{ctk} , МПа	$E_c \cdot 10^4$, МПа	ν	K_{lc} , МПа $\sqrt{м}$	$\delta_d \cdot 10^{-6}$, м
4,65	3,04	0,2	0,900	<u>15,80</u> 16,50
2,00	2,33	0,2	0,545	<u>18,10</u> 18,34
2,02	2,31	0,2	0,684	<u>22,00</u> 29,00
1,50	2,14	0,2	0,531	<u>26,80</u> 26,40
3,90	2,80	0,2	1,440	<u>50,00</u> 54,60
3,83	2,80	0,2	1,220	<u>56,00</u> 54,00
3,96	2,80	0,2	1,425	<u>54,00</u> 52,70

Примітка: У табл. 1 у чисельнику наведено експериментальні дані [21], а у знаменнику – розрахункові за поданою нижче формулою.

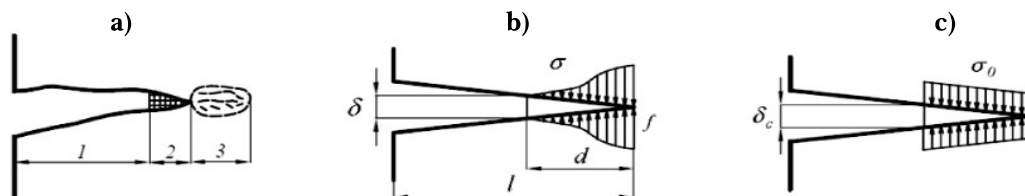


Рисунок 1 – Моделювання тріщини у бетоні: а – зони тріщини (1 – ділянка вільна від зусиль зчеплення берегів тріщини; 2 – ділянка зчеплення за рахунок заповнювачів; 3 – зона мікророзтріскування);

б – модель фіктивної тріщини Хіллерборга (d – зона непружної взаємодії, σ – нормальні напруження зчеплення, f – міцність на розрив); с – модель Леонова-Панасюка

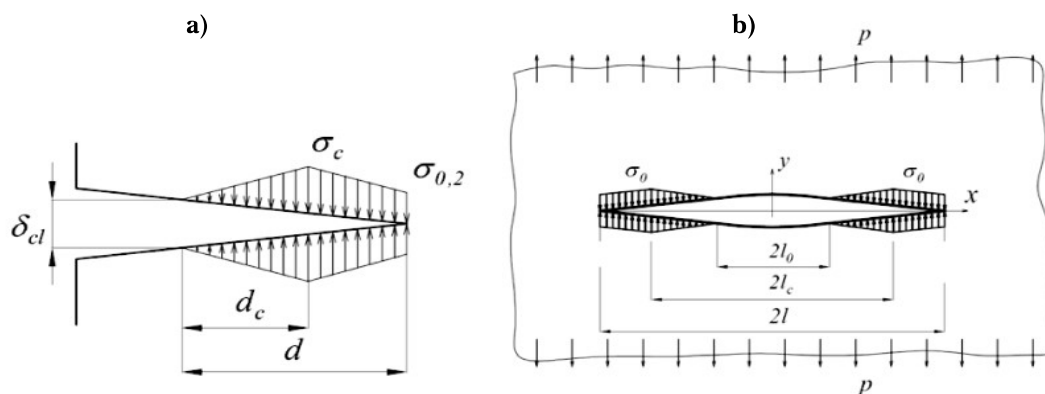


Рисунок 2 – Деформаційна модель руйнування бетону [20] та її апробація:

а – моделювання зони передруйнування; б – розтяг безмежної пластини з тріщиною у випадку пружно-пластичного моделювання



нення моделювання зони передруйнування та його обґрунтування при розтягненні безмежної пластини з тріщиною; на рис. 2, б – у випадку пружно-пластичного моделювання [20]. У цій роботі на основі аналізу повної діаграми руйнування бетону запропоновані варіанти моделювання кінцевої зони тріщини і знаходження параметрів моделювання зони передруйнування. Виконано порівняння результатів визначення δ_{cl} та експериментальних даних, наведених у роботі [21] і представлених у табл. 1.

Теоретичне значення критичного розкриття тріщини δ_{cl} визначаємо за формулою, отриманою в рамках тристадійної моделі [20]:

$$\delta_{cl} = \frac{3\pi CK_{lc}^2}{\sigma_0},$$

де $\sigma_0 = (\sigma_c + c_{02})/2$; C – константа, для узагальненого

плоского напруженого стану $C = 1/nE$; для плоскої деформації $C = (1-\nu^2)/nE$, де ν – коефіцієнт Пуассона, E – модуль пружності бетону.

Підсумовуючи результати аналізу дослідження основних концепцій визначення тріщиностійкості залізобетонних конструкцій з позиції механіки руйнування, на думку авторів, можна відзначити доцільність застосування деформаційних підходів, концепцій і моделей, представлених на рис. 3, для оцінки міцності і тріщиностійкості залізобетонних балкових конструкцій. Зокрема, на рис. 3, а, б, с на основі δ_c моделі розв'язано задачу про напруження в балці на початку руйнування [22].

Тріщини в балці моделюються півплощиною із системою клинів, а довжину тріщини знаходять із умови, коли K_I досягає критичного значення K_{lc} . Суттєвим вкладом в розвиток теорії механіки руйнування залізобетону є роботи

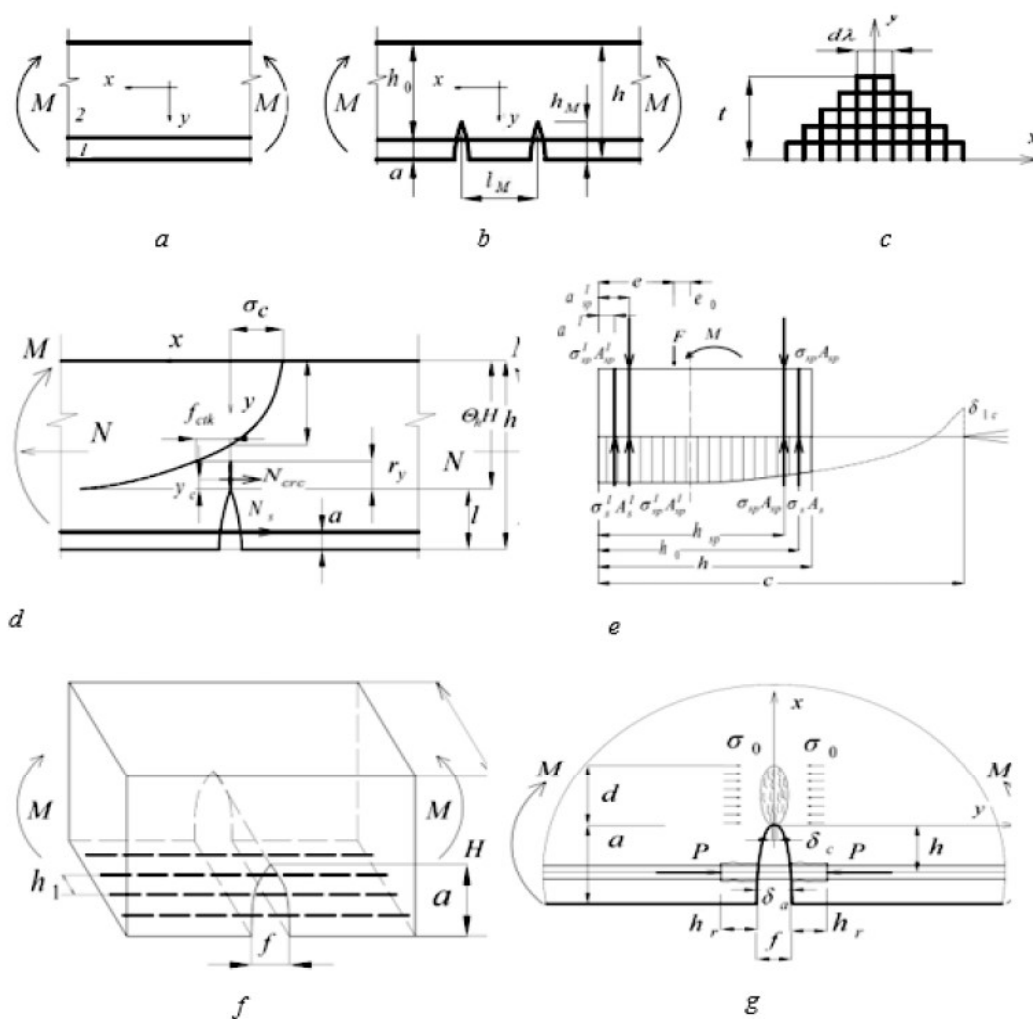


Рисунок 3 – Основні розрахункові моделі для визначення міцності і тріщиностійкості залізобетонних балкових та позакентровано стиснутих конструкцій з позиції механіки руйнування:

а, б, с – модель наведена у роботі [22]; д – модель наведена у роботі [23], е – модель наведена у роботах [24, 25]; ф, г – модель наведена у роботах [2, 26 ÷ 28]



Є.М. Пересипкіна. Зокрема, на рис. 3, d представлено розрахункову модель балки з тріщиною, яка наведена у роботі [8]. Також заслуговує на увагу розрахункова модель при позacentровому стику з фіктивною тріщиною для двотаврового залізобетонного елемента, яка наведена у роботах [24, 25]. У всіх вищенаведених моделях механіки руйнування залізобетону стержневу арматуру розглядають як пружну смугу, що зумовлює деякі некоректності у визначенні НДС таких елементів. У роботі [26] при просторовому розв'язку задачі доведено допустимість заміни стержневої арматури пружною смугою відповідно до геометричних параметрів арматури. Запропоновано метод, за яким стримуючий вплив арматури на розкриття тріщин у плитах, армованих періодично арматурними стержнями (рис. 3, f) та балок, а просторова модель, яка наведена на рис. 3, g, моделюють періодичною системою зосереджених зусиль та враховують відшарування арматури і бетону біля тріщини.

Результати обчислень за моделлю, представленою на рис. 3, f, g, для балок Є.А. Гузєєва та К.Л. Махто подано у табл. 2 та у роботі [15].

НАУКОВА НОВИЗНА

Вперше за останні 30 років узагальнено результати експериментальних і теоретичних досліджень різних вчених з механіки руйнування бетону і залізобетонних конструкцій, зокрема критеріїв і моделей руйнування, а також розроблені на їх основі методики визначення НДС та оцінки міцності та тріщиностійкості і залишкового ресурсу їх експлуатації у повітряному, водному і ґрунтовому середовищах.

ПРАКТИЧНА ЗНАЧИМІСТЬ

Практичне значення проведених досліджень полягає у можливості використання отриманих та узагальнених у монографіях теоретичних і експериментальних значень критеріїв і моделей, методик визначення НДС бетонних і залізобетонних конструкцій та оцінки їх надійності і довговічності.

ВИСНОВКИ

На основі аналізу та синтезу науково-

Таблиця 2 – Результати обчислень параметрів тріщиностійкості на основі критерію Ірвіна

Навантаження, кНм	Довжина тріщини, см	КІН, $K_I^{(M)}$, МПа $\sqrt{м}$	КІН, $K_I^{(a)}$, МПа $\sqrt{м}$	КІН, K_I , МПа $\sqrt{м}$
Для балки Є.А. Гузєєва				
87	5	10,44	9,53	0,21
	10	11,69	9,52	2,17
	15	13,41	9,28	4,13
	20	14,32	5,55	8,77
	21,5 кр.	14,94	5,68	9,26
75	5	11,90	10,71	1,19
	10	13,66	11,15	2,51
	15	14,85	9,95	4,90
	19,7 кр.	15,73	6,47	9,26
50	5	11,09	9,25	1,84
	10	13,82	9,62	4,20
	15,2 кр.	17,90	8,64	9,26
Для балки К.Л. Махто				
93	5	14,93	13,67	1,26
	10	16,36	13,68	2,68
	15	19,12	12,19	6,93
	16,4 кр.	19,77	11,02	8,75
75	5	12,47	10,79	1,68
	10	14,22	9,99	4,23
	14,3 кр.	17,44	8,69	8,75
50	5	10,88	8,03	2,85
	10	12,17	5,83	6,34
	12,2 кр.	16,39	7,64	8,75

технічних джерел з механіки руйнування бетону і залізобетонних конструкцій та підсумовуючи результати, які наведені у монографіях та статтях за останні 30 років з оцінки визначення надійності та залишкового ресурсу таких конструкцій, можна сформулювати наступні узагальнення:

1. Міцність бетону на розтяг визначається розвитком контактних тріщин між заповнювачем і матрицею та зростає зі зростанням міцності контактних зон. Відносний рівень границі K при стиску визначається зростанням міцності контактної зони K_{lc} , зокрема, міцністю бетону та стійким зростанням тріщини контактної зони. Нелінійність деформування бетону при стиску суттєво залежить від розповсюдження тріщини поперек крупного заповнювача або огинає його.
2. Дослідження методів механіки руйнування до оцінки температурної тріщиностійкості масивних бетонних споруд наведено у роботах Л. М. Трапезнікова, які узагальнені



- у монографії [7]. Поглиблено вивчаючи застосування методів механіки руйнування було сформульовано двопараметричну модель оцінки тріщиностійкості масивних гідротехнічних споруд, зокрема в площинах руйнування бетону з врахуванням структури і повзучості бетону. У цій роботі також наведено і другий варіант моделі, який дає нижню границю, а перший – верхню границю тріщиностійкості бетону. У третьому варіанті розглянута трипараметрична модель, яка дає задовільні результати тріщиностійкості бетону при згині.
3. У роботі [9] описані основи лінійної та нелінійної механіки руйнування на підставі досліджень інших авторів для практичного застосування для розрахунку конструкцій і практичне визначення параметрів механіки руйнування. Також тріщиностійкість бетонів, виконаних на засадах механіки руйнування, значна кількість експериментальних досліджень виконана авторами, які описані у роботі [12], але узагальнених висновків не наведено. Автор, у роботі [13], запропонував вирішення питань довговічності залізобетону на підставі підходів механіки руйнування, теорії тріщин і основних її параметрів ефективної енергії руйнування G і K_{Ic} і коефіцієнтів інтенсивності напружень K_{Ic} і K_{2c} – фізичних констант.
 4. У монографії [10] наведені результати широкомасштабних експериментальних досліджень моделей та критерії механіки руйнування важких бетонів різної міцності та складів, зокрема, ґрунтовні дослідження та одержані експериментальні дані коефіцієнтів інтенсивності напружень K_{Ic} і K_{2c} та ефективної пружної роботи J_{2c} інтегралу. Виконано також ґрунтовний аналіз структури різних складів та міцності зовнішнього впливу крупних заповнювачів, щебневих і гравійних бетонів, водоцементного відношення та температури на вказані характеристики механіки руйнування.
 5. Автор роботи [14] запропонував науково-обґрунтований метод розрахунку довговічності бетону конструкції з використанням підходів механіки руйнування та накопичення різних дефектів бетонів до критичної маси S_c . Дано подальший розвиток фізичної моделі кінетики руйнування бетону як структури, яка складається із системи зерен (клінкера, піску, щебню) зі зв'язками взаємотягіння. Зауважимо, що розроблена модель є обґрунтованою ієрархічною системою, придатною для опису процесів руйнування бетону на будь-яких рівнях розгляду його структури. Виконані експериментальні дослідження залежностей K_{Ic} , G і J_{Ic} від міцності розчинної частини f_{ctk} і об'ємної концентрації крупного заповнювача і на цій основі розроблена методика несучої здатності і тріщиностійкості.
 6. На даний час можливості використання δ_c – моделі Леонова-Панасюка до проблеми виникнення і розвитку тріщин у бетоні вивчені на належному рівні. Тут для практичних задач треба розв'язати дві проблеми. Перша – це стабілізація росту тріщин, що можна вирішити, використавши роботи Жукова та інших [11–15], в яких це ж питання вирішено для K_{Ic} . Друга – визначення постійної величини σ_0 потребує вимог подальших досліджень фізичних умов міцності бетону і уточнення розробки методики її визначення. На нашу думку вона частково вирішена у роботі [15].
 7. Перспективним для сьогодення залишається застосування моделі когезійної тріщини і інших подібних моделей, тому що можна використовувати незалежно від розміру зразка, а також при руйнуванні, яке починається необов'язково від наявної у зразку тріщини або надрізу.
 8. На сьогодення теорія міцності і тріщиностійкості залізобетонних конструкцій з тріщинами характеризується поділом на два основні напрямки, між якими майже немає істотного зв'язку, – механіку залізобетону та механіку руйнування залізобетону (застосування методів лінійної та пружно-пластичної механіки руйнування до залізобетону [11, 15, 19]).
 9. Розрахункові моделі механіки залізобетону базуються переважно на поправочних коефіцієнтах, які вводяться на підставі емпіричних даних, без розгляду фізичного змісту явищ тріщиноутворення та підростання тріщин, і тому не забезпечують надійності результатів для всіх стадій навантаження та видів напруженого стану. Інженерне застосування механіки залізобетону на даний час виправдовується лише їх простотою і зручністю при інженерних розрахунках [11, 15, 19].
 10. На підставі досліджень, наведених у роботах [6 ÷ 19], можна запропонувати методологію оцінки тріщиностійкості залізобетону. Зокрема, застосувавши методику механіки руйнування до залізобетону, можна забезпечити фізичне обґрунтування розрахункових залежностей. Розвиток даного напрямку [23, 29 ÷ 32] передбачає використання досягнень механіки залізобетону, а саме значної частини накопичених експериментальних даних та розрахункових моделей,



які себе виправдали при розрахунках певного виду напруженого стану.

11. Методи оцінки контакту арматури з бетоном мають низку недоліків і вимагають уточнення і подальшого дослідження. Теоретичні засади і залежності анкерування арматури у бетоні [8, 11, 15, 19] розроблені для певних рівнів НДС і не можуть описати всіх етапів навантаження. На сьогодні немає загальноприйнятої думки про характер контактних напружень $\tau(x)$ та їх зміни.

БІБЛІОГРАФІЧНИЙ СПИСОК

1. Лучко И. И. Механика разрушения бетона (обзор). ФХММ. 1991. № 3. С. 97 – 110.
2. Лучко Й. Й. Основні концепції механіки руйнування залізобетону ФХММ. 1995. № 4. С. 42 – 48.
3. Лучко Й. Й. Основні фактори середовища, які впливають на деградацію транспортних споруд із залізобетонних і металевих гофрованих конструкцій. Теорія і практика розвитку агропромислового комплексу та сільських територій: матеріали ХХІІ Міжнародного науково-практичного форуму, Львів, 5–7 жовт, 2021. Львів: ННБК “АТБ”. 2021. Т. 2. С. 203–206.
4. Лучко Й. Й. Дослідження збудованих мостів які були зруйновані повеннями на Україні в 1998 і 2001 роках та тривалої експлуатації Дніпро: 36. наук. праць «Мости і тунелі: Теорія, дослідження, практика. 2021. № 20. С. 26-38.
5. Luchko J. Degradating concrete and reinforced building structures and long-term structures. Bulletin of Odessa State Academy of Civil Engineering and Architecture. Odessa: OSACEA. 2022. № 86. Р. 35–46.
6. Зайцев Ю.В. Моделирование деформаций и прочности бетона методами механики разрушения. Москва: Стройиздат, 1982. 196 с.
7. Трапезников Л.П. Температурная трещиностойкость массивных бетонных сооружений. Москва: Энергоатомиздат, 1986. 272 с.
8. Пересыпкин Е.Н. Расчет стержневых железобетонных элементов. Москва: Стройиздат, 1988. 168 с.
9. Керштейн Н.М. Основы экспериментальной механики разрушения бетона и железобетона. Москва: Изд-во Москв. ун-та, 1989. 140 с.
10. Prokopski Grzegorz. Analiza związku struktury z odpornoscia betonow na pekanie. Czestochowa: Wydawnictwo Politechniki Czestochowskiej, 1990. 165 с.
11. Лучко Й.Й. Методи оцінки несучої здатності і підвищення тріщиностійкості залізобетонних елементів конструкцій: монографія. Львів: «Слово і комерція», 1997. 435с.
12. Пирадов К.А. Механика разрушения железобетона Москва: Издательский центр «Новый век», 1998. 189 с.
13. Пирадов К.А. Теоретические и экспериментальные основы механики разрушения бетона и железобетона. Тбилиси: “Энергия”, 1998. 355 с.
14. Леонович С.П. Трещиностойкость и долговечность бетонных и железобетонных элементов в терминах силовых и энергетических критериев механики разрушения. Минск: Редакция журнала «Тыждень», 1999. 266 с.
15. Лучко Й.Й. Міцність, тріщиностійкість і довговічність бетонних та залізобетонних конструкцій на засадах механіки руйнування. Львів: Каменярь, 1999. 348 с.
16. Карпілов А.А. Прикладна механіка руйнування. Підручник. Київ: «Опір», 1999. 175с.
17. Лучко Й. Й. Механіка руйнування мостових конструкцій та методи прогнозування їх залишкової довговічності: довідник. Львів: Каменярь, 2004. 885 с.
18. Мости: конструкції та надійність: довід. За ред. В. В. Панасюка, і Й. Й. Лучка. Львів: Каменярь, 2005. 989с.
19. Лучко Й.Й. Методи дослідження та випробування будівельних матеріалів і конструкцій: монографія. Львів: Вид-во «Левада», 2020. 495 с.
20. Панасюк В.В. Деформаційна модель руйнування бетону. Проблеми міцності. 2003. № 2. С. 18-28.
21. Лучко Й.Й. Міцність, тріщиностійкість і довговічність бетонних та залізобетонних конструкцій на засадах механіки руйнування: монографія. Львів: Каменярь, 1999. 348 с.
22. Русинко К.Н., Артыкова С.И. О разрушении твердого тела при неоднородном напряженном состоянии. Проблемы прочности. 1973. №2. С.43-47.
23. Бамбура А.М., Павліков А.М., Колчунов В.І. та ін. Практичний посібник із розрахунку залізобетонних конструкцій за діючими нормами України (ДБН В.2.6–98:2009) та новими моделями деформування, що розроблені на їхню заміну. Київ: Толока, 2017. 627 с.
24. Лучко Й.Й., Лазар В.Ф., Чубріков В.М. Міцність залізобетонного елемента з тріщиною з погляду механіки руйнування. Фізико-хімічна механіка матеріалів. 2001. № 1. С. 27 – 36.
25. Лучко Й.Й., Лазар В.Ф. Розрахунок напружень та оцінка міцності і тріщиностійкості залізобетонних балкових елементів. Фізико-



хімічна механіка матеріалів. 2002. № 1. С. 107 – 116.

26. Андрейків О.Є., Лучко Й.Й., Гембара Т.В. Розрахунок залізобетонних балочних елементів методами механіки руйнування. Львів: ФМІ АН України, 1993. (Препринт. ФМІ АН. №183). 55 с.
27. Лучко Й.Й., Гембара Т.В. Методичні рекомендації з розрахунку тріщиностійкості залізобетонних балкових елементів конструкцій. Львів: ФМІ НАН України, 1995. 49 с.
28. Андрейків О.Є., Лучко Й.Й., Ковчик С.Є. Методика визначення тріщиностійкості залізобетонних конструкцій. Зб.наук.праць. Діагностика, довговічність та регенерація мостів будівельних конструкцій із застосуванням сучасних технологій та матеріалів. Львів: Каменяр, 1999. № 1. С. 6 – 17.
29. Iakovenko I.A., Kolchunov V.I. The development of fracture mechanics hypothesis applicable to the calculation of reinforced concrete structures for the second group of limit states. *Journal of Applied Engineering Science*. 2017. № 15(3). P. 371–380.
30. Колчунов В.І. Приведення у відповідність дослідних даних тріщиностійкості залізобетонних конструкцій їх теоретичним значенням. *Наука та будівництво*. 2018. №1 (15). С. 42–49.
31. Яковенко І.А. Трансформаційний елемент, що пов'язує залежності механіки руйнування з теорією залізобетону. *Наука та будівництво*. 2018. №4 (18). С. 28–37.
32. Iakovenko, I.(2018). The Development of Transformation Elements between the Fracture Mechanics Dependences and the Equations of the Reinforced Concrete Theory. *International Journal of Engineering & Technology*. 2018. № 7(4.8). P. 58-64.

REFERENCES

1. Luchko, I. I. (1991). Mechanics of concrete destruction (review). *Fizyko-Khimichna Mekhanika Materialiv* (Physical and Chemical Mechanics of Materials), (3), 97-110.
2. Luchko, Y. Y. (1995). Basic concepts of fracture mechanics of reinforced concrete. *Fizyko-Khimichna Mekhanika Materialiv* (Physical and Chemical Mechanics of Materials), (4), 42-48.
3. Luchko, Y. Y. (2021). The main environmental factors affecting the degradation of transport structures from reinforced concrete and corrugated metal constructions. In *Theory and Practice of Agro-Industrial Complex and Rural Areas Development: Proceedings of the XXII International Scientific and Practical Forum* (Vol. 2, pp. 203-206). Lviv: ATB.
4. Luchko, Y. Y., Karhut, I. I., & Kravets, I. B. (2021). Research on bridges that were destroyed by floods in Ukraine in 1998 and 2001 and long-term operation. *Collection of Scientific Works "Bridges and Tunnels: Theory, Research, Practice"*, (20), 26-38.
5. Luchko, J., Nazarevich, B., & Kovalchuk, V. (2022). Degrading concrete and reinforced building structures and long-term structures. *Bulletin of Odessa State Academy of Civil Engineering and Architecture*, (86), 35–46.
6. Zaitsev, Y. V. (1982). *Modeling of deformations and strength of concrete by methods of fracture mechanics*. Moscow: Stroyizdat.
7. Trapeznikov, L. P. (1986). *Temperature crack resistance of massive concrete structures*. Moscow: Energoatomizdat.
8. Peresypkin, E. N. (1988). *Calculation of rod reinforced concrete elements*. Moscow: Stroyizdat.
9. Kershtein, N. M., Klyushnikov, V. D., & Lomakin, E. V. (1989). *Fundamentals of the experimental mechanics of the destruction of concrete and reinforced concrete*. Moscow: Moscow University Publishing House.
10. Prokopski, G. (1990). *Analysis of the relationship of structure to the resistance of concretes to cracking*. Czestochowa: Publishing House of the Czestochowa University of Technology.
11. Luchko, Y. Y. (1997). *Methods of assessing the load-bearing capacity and increasing the crack resistance of reinforced concrete structural elements*. Lviv: Word and Commerce.
12. Piradov, K. A., & Guzeev, E. A. (1998). *Mechanics of destruction of reinforced concrete*. Moscow: New Century Publishing Center.
13. Piradov, K. A. (1998). *Theoretical and experimental foundations of the mechanics of destruction of concrete and reinforced concrete*. Tbilisi: Energy Publishing House.
14. Leonovich, S. P. (1999). *Crack resistance and durability of concrete and reinforced concrete elements in terms of the force and energy criteria of fracture mechanics*. Minsk: Tyzden Magazine Publishing House.
15. Luchko, Y.Y., Chubrikov, V.M., & Lazar, V.F. (1999). *Strength, crack resistance, and durability of concrete and reinforced concrete structures on the principles of fracture mechanics*. Lviv: Kamenyar.
16. Karpilov, A. A. (1999). *Applied mechanics of destruction*. Kyiv: Resistance Publishing House.
17. Luchko, Y.Y., Sulym, G.T., & Kiryan, V.I. (2004). *Mechanics of destruction of bridge structures and methods for predicting their residual durability*. Lviv: Kamenyar.



18. Luchko, Y.Y., Koval, P.M., & Korniev, M.M. (2005). Bridges: Structures and reliability. Lviv: Kamenyar.
19. Luchko, Y. Y. (2020). Methods of research and testing of building materials and structures. Lviv: Levada Publishing House.
20. Panasyuk, V.V., Luchko, Y.Y., & Panko, I.M. (2003). Deformation model of concrete destruction. Problems of Strength, (2), 18-28.
21. Luchko, Y. Y., Chubrikov, V. M., & Lazar, V. F. (1999). Strength, crack resistance, and durability of concrete and reinforced concrete structures on the principles of fracture mechanics. Lviv: Kamenyar.
22. Rusinko, K. N., & Artykova, S. I. (1973). On the destruction of a solid body under a non-uniform stress state. Problems of Strength, (2), 43-47.
23. Bambura, A.M., Pavlikov, A.M., & Kolchunov, V.I. (2017). Practical manual for the calculation of reinforced concrete structures according to current norms of Ukraine (DBN V.2.6-98:2009) and new deformation models developed to replace them. Kyiv: Toloka.
24. Luchko, Y.Y., Lazar, V.F., & Chubrikov, V.M. (2001). Strength of a reinforced concrete element with a crack from the perspective of fracture mechanics. Physical and Chemical Mechanics of Materials, (1), 27-36.
25. Luchko, Y. Y., & Lazar, V. F. (2002). Calculation of stresses and assessment of the strength and crack resistance of reinforced concrete beam elements. Physical and Chemical Mechanics of Materials, (1), 107-116.
26. Andreikiv, O.E., Luchko, Y.Y., & Gembara, T.V. (1993). Calculation of reinforced concrete beam elements by methods of fracture mechanics: preprint. Lviv: Institute of Physics and Mechanics.
27. Luchko, Y.Y., & Gembara, T.V. (1995). Methodical recommendations for the calculation of crack resistance of reinforced concrete beam structural elements. Lviv: Institute of Physics and Mechanics.
28. Andreikiv, O.E., Luchko, Y.Y., & Kovchik, S.E. (1999). Methodology for determining the crack resistance of reinforced concrete structures. Lviv: Kamenyar.
29. Iakovenko, I.A., & Kolchunov, V.I. (2017). The development of fracture mechanics hypothesis applicable to the calculation of reinforced concrete structures for the second group of limit states. Journal of Applied Engineering Science, 15(3), 371-380. <https://doi.org/10.5937/jaes15-14662>.
30. Kolchunov, V.I., Demianov, O.I., Iakovenko, I.A., & Garba, M. O. (2018). Bringing experimental data on the crack resistance of reinforced concrete structures to their theoretical values. Science and Construction, (1), 42-49.
31. Iakovenko, I.A. (2018). Transformation element that links the dependencies of fracture mechanics to the theory of reinforced concrete. Science and Construction, (4), 28-37. <https://doi.org/10.33644/scienceandconstruction.v18i4.54>.
32. Iakovenko, I. (2018). The Development of Transformation Elements between the Fracture Mechanics Dependences and the Equations of the Reinforced Concrete Theory. International Journal of Engineering & Technology, 7(4.8), 58-64. <http://dx.doi.org/10.14419/ijet.v7i4.8.27214>.

Стаття надійшла до редакції 02.03.2024 року



Doi: <https://doi.org/10.33644/2313-6679-1-2024-8>

УДК 624.014 + 536.21



БАШИНСЬКИЙ О.В.

Аспірант кафедри металевих та дерев'яних конструкцій, Київський національний університет будівництва та архітектури, м. Київ, Україна, e-mail: alex.bashyinsky97@gmail.com, тел.: +38 (093) 766-46-76, ORCID: 0000-0003-2466-4306

ОЦІНКА НЕСУЧОЇ ЗДАТНОСТІ СТАЛЕВОЇ БАЛКИ ПЕРЕКРИТТЯ В УМОВАХ ВИСОКИХ ТЕМПЕРАТУРНИХ ВПЛИВІВ

АНОТАЦІЯ

В статті детально описано алгоритм розрахунку сталеві балки перекриття на високі температурні впливи. Автори статті описують вирішення задачі нестационарної теплопровідності за допомогою ПК ЛІРА-САПР. Після отримання результатів розрахунку теплопровідності автор використовує їх для оцінки напружено-деформованого стану навантаженої сталеві балки перекриття. Цей підхід дає можливість отримати глибоке розуміння того, як теплові навантаження впливають на напружено-деформований стан сталеві балки та її здатність витримувати навантаження в умовах пожежі.

В дослідженні, що представлено в статті, приймається до уваги нелінійна зміна теплофізичних характеристик сталі та вогнезахисного матеріалу, що дозволяє більш точно проаналізувати розподілення температури по перерізу сталеві балки.

На відміну від спрощеного методу розрахунку сталевих конструкцій на вогнестійкість, метод, наведений в статті, дозволяє отримати значення температури в будь-якій точці перерізу сталеві

балки на будь-якій відмітці часу.

Після розрахунків теплопровідності та визначення розподілу температур по перерізу конструкції автор переходить до оцінки напружено-деформованого стану конструкції. Методика оцінки напружено-деформованого стану, надана в статті, полягає у зниженні модуля пружності деформації перерізу та граничного опору сталі. Також автор порівнює результати дослідження з результатами натурального експерименту.

Стаття буде корисною для інженерів-проектувальників, які працюють зі сталевими конструкціями, а також для дослідників, які цікавляться впливом вогнезахисних матеріалів на вогнестійкість конструкції. Вона надає цінні наукові і практичні відомості, які можуть бути використані для підвищення безпеки та надійності сталевих конструкцій у вогнестійких умовах.

КЛЮЧОВІ СЛОВА: теплопровідність, вогнестійкість, напружено-деформований стан, нелінійність, ЛІРА-САПР, метод скінчених елементів, конвекція, температурний вплив, моделювання.



ASSESSMENT OF BEARING CAPACITY OF STEEL BEAM UNDER HIGH-TEMPERATURE EFFECT

ABSTRACT

The article describes in detail the algorithm of steel beam analysis for high-temperature effects. The article's author describe the solution of the nonstationary thermal conductivity problem using the LIRA-SAPR software. After obtaining the results of the thermal conductivity analysis, the author use them to assess the stress-strain state of a loaded steel beam. This approach provides an in-depth understanding of how thermal loads affect the stress-strain state of a steel beam and its ability to withstand loads in a fire.

The study presented in this article considers the nonlinear change in the thermal and physical characteristics of steel and fireproofing material, which allows for a more accurate analysis of the temperature distribution across the cross-section of a steel beam.

In contrast to the simplified method of steel structures fire resistance analysis, the method presented in this article allows to obtain the temperature value at any point of the steel beam section at any time.

After thermal conductivity analysis and determination of the temperature distribution across the cross-section of the beam, the author proceed to the assessment of the stress-strain state of the structure. The methodology for assessing the stress-strain state presented in the article is to reduce the modulus of elasticity of the section and the ultimate resistance of steel. The author also compare the results of the study with the results of a full-scale experiment.

The article will be useful for civil engineers working with steel structures and researchers interested in the impact of fire protection materials on the fire resistance of a structure. It provides valuable scientific and practical information that can be used to improve the safety and reliability of steel structures in fire-resistant environments.

KEYWORDS: thermal conductivity, fire resistance, stress-strain state, nonlinearity, LIRA-SAPR, finite element method, convection, thermal effect, modeling.

ВСТУП

В умовах ведення війни інженери та науковці стикнулися з новими та досить складними проблемами: захистом цивільних будівель та об'єктів інфраструктури від ураження ракет, дронів та снарядів. Захищати будівлі від цих видів ураження дуже складно, практично неможливо. Проте в нас є можливість захиститися від наслідків цих згубних для будівель впливів. Одними із способів захисту є оцінка вибухового впливу [1] та підсилення несучих конструкцій будівлі задля протидії пожежі.

Наразі відомі випадки, коли конструкції витримують падіння ракети, бомби тощо, але не витримують наслідків, а саме пожежу. При розвитку пожежі у будівлях та спорудах, що складаються із сталевих конструкцій, основні несучі конструкції починають активно деформуватися та втрачати свою несучу здатність вже через 15 хвилин після виникнення пожежі. Будівельні конструкції з несучими елементами із незахищеного металу руйнуються в рази швидше, ніж залізобетонні, завдаючи величезної матеріальної шкоди та підвищуючи ризик травмування людей, які знаходяться усередині будівель. Запобігання подібним ситуаціям вимагає розробки методик математичного моделювання поведінки конструкцій при впливі високих температур з врахуванням ефективної роботи вогнезахисних матеріалів. Вибір належної методики для створення математичної моделі при розрахунку вогнестійких будівель та споруд та подальшої оцінки напружено-деформованого стану (далі – НДС) конструкцій є критичним етапом проектування, оскільки від нього залежить надійність та безпека при експлуатації конструкції, особливо у воєнний час.

АНАЛІЗ ОСТАННІХ ДОСЛІДЖЕНЬ І ПУБЛІКАЦІЙ

Великий внесок у дослідження впливу пожежі на будівельні конструкції внесли такі вітчизняні вчені як: Білик А.С. та Дауров М.К., Ромашкіна М.А. та Башинська О.Ю., Фесенко О.А. та Колякова В.М., Божинський М.О., а також Отрош Ю.А. та Ковальов А.І.

В роботах Білика А.С. та Даурова М.К. [2, 3] влучно описано вплив пожежі на загальну стійкість сталевих каркасних конструкцій. Роботи Барабаш М.С., Ромашкіної М.А. та Башинської О.Ю. [4] та Колякової В.М. та Божинського М.О. [5] описують вплив вогню на залізобетонні конструкції, а в праці Фесенка О.А. та Колякової В.М. [6] описано алгоритм розрахунку дерев'яних конструкцій за методикою Єврокода. Роботи Ковальова А.І. та Отроша Ю.А. [7, 8] дуже чітко описують методи оцінки температурних впливів на сталеві балки. В своїх статтях Ковальов А.І. створює реальні моделі балок в ПК ЛІРА-САПР за допомогою пластинчатих елементів. Метод, який він використовує, добре підходить для детального аналізу термонапруженого стану балки, але є досить складним для використання, так як з моделями окремих конструкцій, які було створено в об'ємній постановці, складно працювати.

ПОСТАНОВКА ЗАВДАННЯ

Існує актуальна потреба у розробці простої та зрозумілої методики для оцінки вогнестійкості сталевих конструкцій. Ця методика повинна бути



доступною для використання у вітчизняних програмах та легко розумітися всіма інженерами-проектувальниками. Головною метою є створення інструменту, який дозволить ефективно моделювати вплив високих температур на сталеві конструкції та передбачати їхню поведінку у випадку пожежі.

Методика повинна враховувати різноманітні аспекти, такі як нелінійна теплопровідність матеріалів, а також зміни міцнісних характеристик конструкцій під впливом високих температур. Важливо, щоб отримані результати відповідали реальним умовам і враховували відмінності між теоретичними розрахунками та натурними експериментами.

Розробка такої методики має стратегічне значення для підвищення безпеки та надійності будівельних об'єктів. Вона дозволить інженерам більш ефективно прогнозувати поведінку сталевих конструкцій у випадку пожежі та вживати вчасних заходів для їхнього захисту.

ВИКЛАД ОСНОВНОГО МАТЕРІАЛУ

Створення та аналіз чисельної моделі поперечного перерізу сталевий балки перекриття було виконано в програмному комплексі ПК АІРА-САПР.

Для дослідження була обрана сталева балка двотаврового перерізу ІРЕ 400 (приведена товщина 5,309 мм, коефіцієнт перерізу $A_m/V=188,4 \text{ м}^{-1}$). Товщина реактивного вогнезахисного покриття складає 1,183 мм [7]. Моделювання попе-

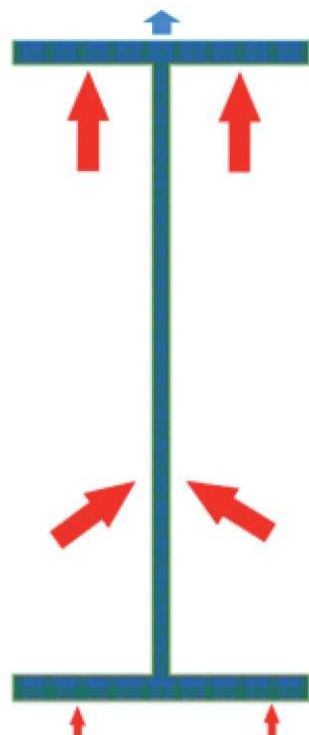


Рисунок 1 – Схема моделі перерізу балки (сторони обігріву та тепловіддачі)

речного перерізу балки з нанесеним вогнезахистом було виконано за допомогою пластинчатих скінченних елементів теплопровідності. Тип скінченного елемента – КЕ 1509 (чотирикутний КЕ теплопровідності). Для моделювання було обрано саме чотирикутний скінченний елемент через те, що цей тип КЕ дозволяє отримати точніші результати, ніж трикутний КЕ. Крок триангуляції – 2 мм. Для врахування теплопередачі між перерізом балки та повітрям було створено елементи конвективного теплообміну (КЕ 1555). Загальна кількість скінченних елементів в моделі – 3520. Схема моделі вказана на рис. 1.

Теплофізичні характеристики матеріалів були задані з врахуванням їх нелінійної зміни при зміні температури. Теплопровідність λ_a та питому теплоємність сталі було вираховано за формулами згідно з [9]. Густина сталі – 7850 кг/м^3 .

Теплопровідність вогнезахисного покриття λ_p було вираховано за формулою:

$$\lambda_p = 4 \cdot 10^{-7} \theta^2 - 0.0004 \cdot \theta + 0.1037 \quad (1)$$

де θ – температура покриття, $^{\circ}\text{C}$.

Питома теплоємність $c_p = 70,4 \text{ Дж/кг} \cdot ^{\circ}\text{C}$. Густина – 1420 кг/м^3 [7]. Пораховані характеристики сталі та вогнезахисного покриття представлені у табл. 1.

Коефіцієнт тепловіддачі конвекцією на обігрівній поверхні покриття $a_c = 25 \text{ Вт/(м} \cdot ^{\circ}\text{C)}$. Сумарний коефіцієнт тепловіддачі конвекцією та тепловою радіацією на необігрівній поверхні балки $a^* = 5 \text{ Вт/(м} \cdot ^{\circ}\text{C)}$.

Модель перерізу балки обігрівається з трьох сторін, як показано на рис. 1, за умови впливу стандартного температурного режиму протягом 60 хв. Часовий крок розрахунку – 60 секунд. Графік стандартного температурного режиму пожежі наведено на рис. 2.

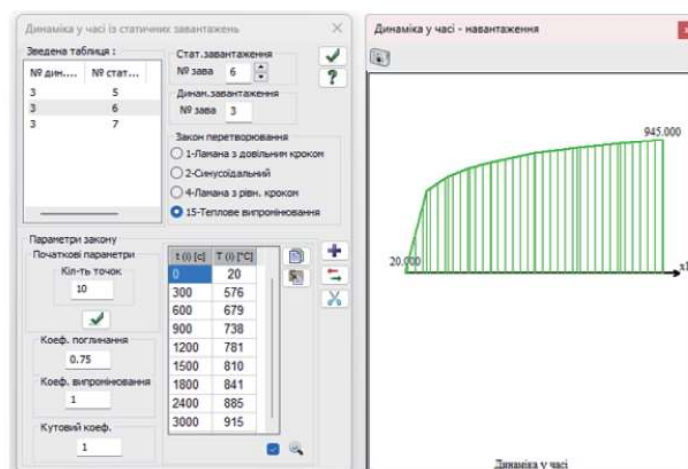


Рисунок 2 – Графік стандартного температурного режиму пожежі



Таблиця 1 – Теплофізичні характеристики матеріалів

Температура, °C	Сталь		Вогнезахисне покриття	
	λ_a Вт/(м·°C)	c_a Дж/кг·°C	λ_p Вт/(м·°C)	c_p Дж/кг·°C
20	53,334	439,802	0,09586	70,4
100	50,67	487,62	0,0677	70,4
200	47,34	529,76	0,0397	70,4
300	44,01	564,74	0,0197	70,4
400	40,68	605,88	0,0077	70,4
500	37,35	666,5	0,0037	70,4
600	34,02	759,92	0,0077	70,4
700	30,69	1008,16	0,0197	70,4
800	27,3	803,261	0,0397	70,4
900	27,3	650	0,0677	70,4
1000	27,3	650	0,1037	70,4

розрахунку з результатами натурного експерименту та дослідження, яке було описано в роботі Ковальова А.І. [7].

За результатами розрахунку нестационарної теплопровідності на часових відмітках 10 та 40 хвилин, що вказані на рис. 3, дуже добре видно нерівномірний розподіл температури по перерізу балки.

Це може бути пов'язано з багатьма факторами, зокрема несиметричністю перерізу та тепловіддачею у верхній частині перерізу. Нерівномірний розподіл тепла призводить до нерівномірного зниження жорсткісних характеристик перерізу. В попередніх дослідженнях [10, 11] жорсткісні характеристики всього перерізу знижувалися за найбільшим значенням температури в перерізі. Такий метод є дієвим, проте не дуже точним, так як реальні жорсткісні характеристики можуть бути вищими. Таке спрощення може призвести до певних економічних збитків при будівництві.

Для більш точного аналізу міцності балки було прийнято рішення задати різні коефіцієнти зниження жорсткості в різних частинах перерізу. Коефіцієнти зниження були враховані за допомогою лінійної інтерполяції та відповідно до [9]. Зниження було виконано відносно результатів теплотехнічного розрахунку на 60-й хвилині (рис. 5).

За допомогою модуля «Конструктор перерізів+» («КП+», ПК ЛІРА-САПР) було враховано аспект, описаний вище. Переріз було розділено на 5 частин і в кожній частині було знижено модуль пружності відносно середньої температури на ділянці. Після цього було виконано розрахунок для

отримання приведених жорсткісних характеристик, які вказані в табл. 2.

Після цього було створено модель балки довжиною 4.7 метри, призначено тип жорсткості, отри-

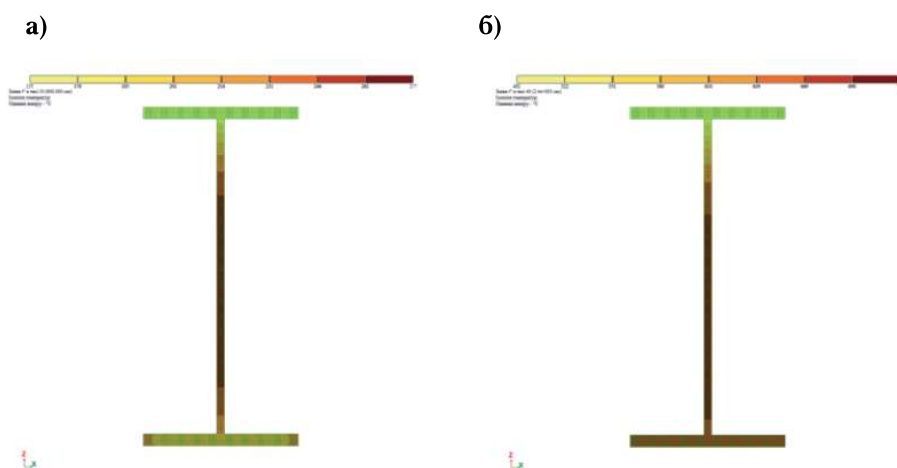


Рисунок 3 – Температурний розподіл в перерізі балки на відмітках часу: а – 10 хв.; б – 40 хв.

Результати розрахунку нестационарної теплопровідності на часових відмітках 10 та 40 хвилин вказані на рис. 3.

Нарис. 4 наведено графік порівняння результатів

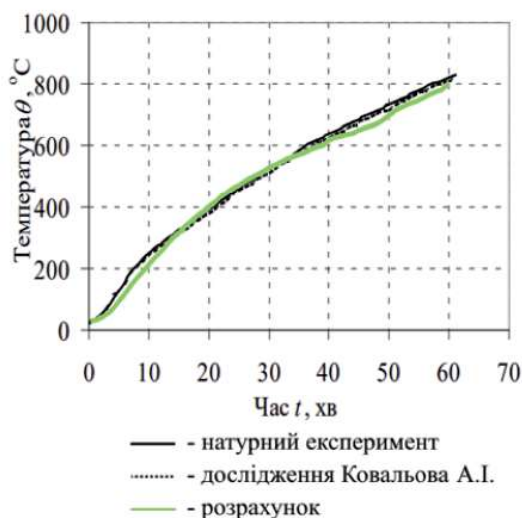


Рисунок 4 – Середня температура в перерізі балки

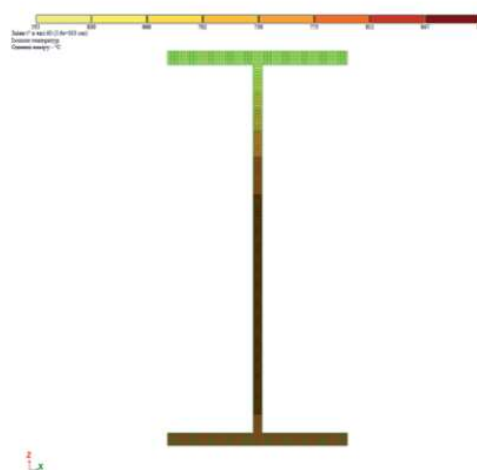


Рисунок 5 – Температурний розподіл в перерізі балки на 60-й хвилині

Таблиця 2 – Приведені жорсткісні характеристики перерізу

EA	26080	тс
EI _u	689.19	тс*м ²
EI _v	49.786	тс*м ²
EI _{uv}	0.26615	тс*м ²
EI _y	689.19	тс*м ²
EI _z	49.786	тс*м ²
ES _y	1833.8	тс*м
ES _z	422.62	тс*м
GJ _t	0.64226	тс*м ²
EI _w	1.485931	тс*м ⁴
GF _y	3849.3	тс
GF _z	4195.7	тс

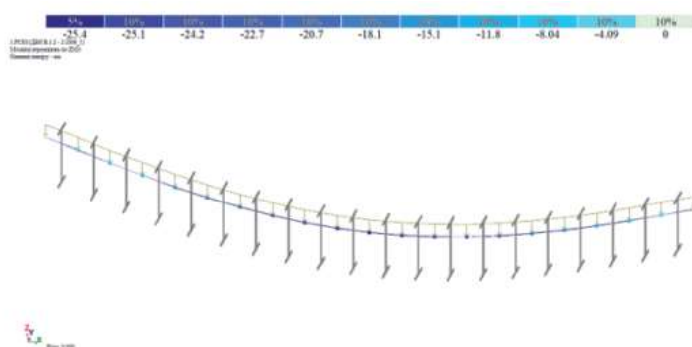


Рисунок 6 – Прогини балки на 60-й хвилині пожежі

маний вище, та задано навантаження, як вказано в [8]. Результати розрахунку балки наведені на рис. 6.

Прогин навантаженої вогнезахисної балки в середині прольоту становить 25,4 мм, що відповідає експериментальним результатам, які надані в дослідженні Ковальова А.І. [8].

ВИСНОВКИ ТА РЕКОМЕНДАЦІЇ

1. Метод теплотехнічного розрахунку, представлений в статті, є інженерним та дозволяє адекватно та точно оцінити розподіл температури по перерізу балки. Результати розрахунку балки на прогин показали, що немає необхідності моделювати об'ємну модель конструкції. Спосіб моделювання балки стержнем має таку саму точність, проте є простішим та універсальнішим, так як дозволяє моделювати складні конструктивні системи без втрати точності розрахунку.

2. Результати теплотехнічного розрахунку показали, що тепло в перерізі балки розподіляється нерівномірно, що призводить до нерівномірної зміни жорсткісних характеристик



в різних частинах перерізу. Проте врахування цього аспекту не сильно змінює кінцеві результати прогину балки, що приводить нас до висновку, що спосіб, при якому враховується середнє значення температури в перерізі, є більш доцільним, так як є простішим в моделюванні.

БІБЛІОГРАФІЧНИЙ СПИСОК

1. Максименко В.П., Барабаш М.С., Костира Н.О., Брамін І.В. Моделювання динамічних навантажень вибухового типу в задачах дослідження міцності будівельних конструкцій з використанням ПК LIRA-SAPR. Наука та будівництво. 2023. №4 (38). С.20-27. URL: <https://doi.org/10.33644/2313-6679-4-2023-3>
2. Daurov M., Bilyk A. Providing of the vitality of steel frames of high-rise buildings under action of fire. Strength of materials and theory of structures. 2019. №102. С. 62-68. URL: <https://doi.org/10.32347/2410-2547.2019.102.62-68>
3. Daurov M., Bilyk A. Investigation of changes in steel frames stress state in fire and influence on its vitality. Strength of materials and theory of structures. 2019. №108. С.325-336. URL: <https://doi.org/10.32347/2410-2547.2022.108.325-336>
4. Barabash M., Romashkina M., Bashynska O. Thermal stress state of reinforced concrete floor slab. Strength of materials and theory of structures. 2019. №103. С.43-56. URL: <https://doi.org/10.32347/2410-2547.2019.103.43-56>
5. Колякова В.М., Божинський, М. О. Розрахунково-теоретичні дослідження розподілу температури в перерізі залізобетонної конструкції східчастих складок. Будівельні конструкції. Теорія і практика. 2017. №1. С.149-157.
6. Фесенко О., Колякова В., Дмитренко Є., Момотюк Д. Розрахунок на вогнестійкість дерев'яних згинальних конструкцій за методикою Єврокоду 5. Будівельні конструкції. Теорія і практика. 2022. №10. С. 94-107. URL: <https://doi.org/10.32347/2522-4182.10.2022.94-107>
7. Ковальов А.І., Пурденко Р.Р., Отрош Ю.А., Томенко В.І., Качкар Є.В., Майборода Р.І. Оцінювання вогнестійкості вогнезахисних сталевих балок. ВІСТІ Донецького гірничого інституту. 2022. №2 (51). С.43-53. URL: <https://doi.org/10.31474/1999-981X-2022-2-43-53>
8. Ковальов А.І., Отрош Ю.А., Рашкевич Н.В., Рудаков С.В., Томенко В.І., Юрченко С.П.. Оцінка вогнестійкості вогнезахисних сталевих конструкцій для забезпечення пожежної безпеки об'єктів. Problems of Emergency Situations. 2023. №1 (37). С. 282-

292. URL: <http://dx.doi.org/10.52363/2524-0226-2023-37-20>

9. ДСТУ-Н Б EN 1993-1-2:2010. Єврокод 3. Проектування сталевих конструкцій. Частина 1-2. Загальні положення. Розрахунок конструкцій на вогнестійкість (EN 1993-1-2:2005, IDT). //К.: Мінрегіонбуд України, 2012. – 98 с.
10. Bilyk S., Bashynska O., Bashynskyi O. Determination of changes in thermal stress state of steel beams in LIRA-SAPR software. Strength of materials and theory of structures. 2022. №108. С. 189-202. URL: <https://doi.org/10.32347/2410-2547.2022.108.189-202>
11. Башинський О.В., Башинська О.Ю. Аналіз напружено-деформованого стану вогнезахисної сталеві балки перекриття. Будівельні конструкції. Теорія і практика. 2023. №12. С. 126-138. URL: <https://doi.org/10.32347/2522-4182.12.2023.126-138>

REFERENCES

1. Maksymenko V., Barabash M., Kostyra N., Bramin I. (2023) Modeling of dynamic loads of explosive type in the problems of investigation of strength of building structures using LIRA-SAPR software. Science and construction, №4 (38). P.20-27. URL: <https://doi.org/10.33644/2313-6679-4-2023-3>
2. Daurov M., Bilyk A. (2019). Providing of the vitality of steel frames of high-rise buildings under action of fire. Strength of materials and theory of structures, №102. P. 62-68. URL: <https://doi.org/10.32347/2410-2547.2019.102.62-68>
3. Daurov M., Bilyk A. (2022). Investigation of changes in steel frames stress state in fire and influence on its vitality. Strength of materials and theory of structures, №108. P.325-336. URL: <https://doi.org/10.32347/2410-2547.2022.108.325-336>
4. Barabash M., Romashkina M., Bashynska O. (2019). Thermal stress state of reinforced concrete floor slab. Strength of materials and theory of structures, №103. P.43-56. URL: <https://doi.org/10.32347/2410-2547.2019.103.43-56>
5. Koliakova V., Bozhynskyi M. (2017). Settlement and theoretical studies of the temperature distribution in the cross section of concrete staircase folds. Building constructions. Theory and Practice, №1. P.149-157.
6. Fesenko O., Koliakova V., Dmytrenko Y., Momotyuk D. (2022). Fire resistance analysis of bending timber structures according to Eurocode 5. Building constructions. Theory and Practice, №10. P. 94-107. URL: <https://doi.org/10.32347/2522-4182.10.2022.94-107>



7. Kovalov A., Purdenko R., Otrosh Y., Tomenko V., Kachkar E., Maiboroda R. (2022). Assessment of fire resistance of fireproof steel beams. *Journal of donetsk mining institute*, №2 (51). P.43-53. URL: <https://doi.org/10.31474/1999-981X-2022-2-43-53>
8. Kovalov A., Otrosh Y., Rashkevich N., Rudakov S., Tomenko V., Yurchenko S. (2023). Assessment of fire resistance of fireproof steel structures to ensure fire safety of facilities. *Problems of Emergency Situations*, №1 (37). P. 282-292. URL: <http://dx.doi.org/10.52363/2524-0226-2023-37-20>
9. DSTU-N B EN 1993-1-2:2010. Eurocode 3. Design of steel structures – Part 1-2: General rules – Structural fire design (EN 1993-1-2:2005, IDT). //Kyiv: Minregionbud Ukraine, 2012. – 98 p.
10. Bilyk S., Bashynska O., Bashynskyi O. (2022). Determination of changes in thermal stress state of steel beams in LIRA-SAPR software. *Strength of materials and theory of structures*, №108. P. 189-202. URL: <https://doi.org/10.32347/2410-2547.2022.108.189-202>
11. Bashynskyi O., Bashynska O. (2023). Analysis in the stress-strain state of a fire-resistant steel floor beam. *Building constructions. Theory and Practice*, №12. P. 126-138. URL: <https://doi.org/10.32347/2522-4182.12.2023.126-138>

Стаття надійшла до редакції 04.03.2024 року