



НАУКА



ТА БУДІВНИЦТВО

4(38)' 2023

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 Scopus 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 № 6 від 21.12.2023).

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" 2023

Підписано до друку: 27.12.2023

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 № 458/12 від 27 грудня 2023 р.

Наклад 100 примірників

ЗМІСТ

3

Перельмутер А. В., Воскобійник О. П.
Друге покоління єврокодів і національні норми

13

Шимановський О. В.
Деякі питання оцінювання впливу дефектів і пошкоджень на працездатність висотних споруд

20

Барабаш М. С., Костира Н. О., Максименко В. П., Бармін І. В.
Моделювання динамічних навантажень вибухового типу в задачах дослідження міцності будівельних конструкцій з використанням ПК LIRA-САПР

28

Bezushko D., Chen Jiye
A numerical investigation of the influence of the external fibre composite reinforcements on damaged concrete elements under compression

34

Кровяков С. О., Чистяков А. О.
Використання вторинних заповнювачів для бетонів основи дорожнього одягу

41

Савченко О. О.
Підвищення енергетичної ефективності будівель в умовах відновлення та відбудови шляхом впровадження централізованих систем теплопостачання

49

Арсирій В. А., Крошка О. В.
Термо- і аеромоделі процесів газотрубних котлів

57

Мурашко О. В., Волошук В. В., Крючков К. А.
Комплексне урахування впливу отворів у стінах та типу перекриттів при візуальному оцінюванні сейсмостійкості будівель з цегляного мурування

64

Кривомаз Т. І., Гамоцький Р. О.
Диверсифікація енергетичних ризиків житлових багатоповерхових будівель за допомогою альтернативних джерел енергії



SCIENCE & CONSTRUCTION

4(38)' 2023

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:

Farenyuk 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

Savytskyi 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 6 dated on 21.12.2023)

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», 2023

Signed for printing: 27.12.2023

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 № 458/12 from 27.12.2023

Drawing: 100 copy

CONTENT

- | | |
|----|--|
| 3 | Perelmutter A. V., Voskobiinyk O. P.
Second generation of eurocodes and national standards |
| 13 | Shimanovsky O.
Some issues concerning evaluation of effects caused by defects and damage on performance of high-rise buildings |
| 20 | Barabash M. C., Kostyra N. O., Maksymenko V. P., Barmin I. V.
Simulation of dynamic explosive type loads in research of structural strength using LIRA-SAPR software |
| 28 | Bezushko D., Chen Jiye
A numerical investigation of the influence of the external fibre composite reinforcements on damaged concrete elements under compression |
| 34 | Kroviakov S. O., Chystiakov A. O.
The use of secondary aggregates for concrete pavement bases |
| 41 | Savchenko O. O.
Increasing the energy efficiency of structures in reconstruction through the use of district heating systems |
| 49 | Arsirii V. A., Kroshka O. V.
Thermal and aero models of gas tube boiler processes |
| 57 | Murashko O. V., Voloshchuk V. V., Kriuchkov K. A.
Comprehensive consideration of the influence of openings in walls and type of floors in the visual assessment of seismic resistance of brick masonry buildings |
| 64 | Kryvomaz T. I., Hamotskyi R. O.
Diversification of energy risks of residential high-story buildings with the help of alternative energy sources |



Doi: <https://doi.org/10.33644/2313-6679-4-2023-1>

УДК 624.046:5



ПЕРЕЛЬМУТЕР А.В.

Доктор техн. наук, головний науковий співробітник Науково-виробниче товариство «SCAD Soft», Україна
e-mail: avp@scadsoft.com
тел.: +38 (050)-382-16-25
ORCID: 0000-0001-9537-2728



ВОСКОБІЙНИК О.П.

Доктор техн. наук, директор Департаменту технічного регулювання у будівництві Міністерства розвитку громад, територій та інфраструктури України
e-mail: o.voskobiinyk@mtu.gov.ua
тел.: +38 (050) 304-40 23
ORCID : 0000-0002-8547-762X

ДРУГЕ ПОКОЛІННЯ ЄВРОКОДІВ І НАЦІОНАЛЬНІ НОРМИ

АНОТАЦІЯ

Наведено короткий аналіз досвіду застосування Європейських норм щодо проектування будівельних конструкцій як у міжнародній, так і в національній практиці. Показано переваги та недоліки інтернаціоналізації у розробці нормативних документів різних країн. Розглянуто основні засади, покладені в основу розробки Єврокодів другого покоління, а також основні напрямки вдосконалення нормативних документів із проектування будівельних конструкцій. Звертається увага на рекомендацію використовувати принцип LOA, за котрим будь-яка розрахункова модель опору може бути представлена на декількох розрахункових рівнях апроксимації, а також на реалізації підходу «простота застосування». Показано, що одним із основних завдань на найближчу перспективу слід вважати збереження національних норм та вдосконалення їх з урахуванням міжнародних досягнень. Вказано на важливість практики європейських країн, де розробляються додаткові до норм документи (довідники, посібники, рекомендації, підручники,

програмне забезпечення тощо).

Щодо питань розвитку нормативної гілки норм, то більш детально аналізуються необхідність розробки нормативного забезпечення проблеми живучості будівель і споруд, проблема комп'ютеризації проектування, майже не розробленої в існуючих нормах, задача упорядкування норм, присвячених методам оцінювання існуючих конструкцій. Для цих питань дається опис головних чинників, що повинні знайти своє місце у нормах. Розглянуто деякі супутні проблеми модернізації вітчизняної нормативної бази проектування, вирішення котрих потребує прийняття низки розпорядчих рішень, включно до законодавчого рівня.

КЛЮЧОВІ СЛОВА: норми проектування, міжнародний досвід, живучість, комп'ютеризація, простота застосування.

SECOND GENERATION OF EUROCODES AND NATIONAL STANDARDS



ABSTRACT

A brief analysis of the experience of applying European standards for the design of building structures in both international and national practice is given. The advantages and disadvantages of internalization in the development of regulatory documents of different countries are shown. The basic principles underlying the development of the second-generation Eurocodes, as well as the main areas of improvement of normative documents on the design of building structures, are considered. Attention is drawn to the recommendation to use the LOA principle, according to which any calculation model of resistance can be presented at several calculation levels of approximation, as well as to the implementation of the "ease of use" approach. It is shown that one of the main tasks for the near future should be considered the preservation of national norms and their improvement taking into account international achievements. It is pointed out the importance of the practice of European countries, where documents additional to the norms are developed (reference books, manuals, recommendations, textbooks, software, etc.).

As for the issues of the development of the normative branch of norms, the need to develop normative support for the problem of the survivability of buildings and structures, the problem of computerization of design, which is almost not developed in existing norms, and the task of streamlining norms devoted to methods of evaluating existing structures are analyzed in more detail. For these issues, a description of the main factors that should find their place in the regulations is given. Some accompanying problems of the modernization of the domestic regulatory framework of design are considered, the solution of which requires the adoption of a number of administrative decisions, including at the legislative level.

KEYWORDS: design standards, international experience, durability, computerization, ease of use

ВСТУП

Україна вступила у період корінної модернізації національної системи будівельного нормування, в рамках якої планується переробка деяких чинних нормативних документів. Однією з цілей цієї модернізації є врахування вимог Регламенту (ЄС) № 305/2011 Європейського парламенту та Ради від 9 березня 2011 року, що встановлює гармонізовані умови для розміщення на ринку будівельних виробів, що ясно окреслило тенденцію орієнтації на узгодження з європейськими нормами.

І наразі тут виникає питання про вибір шляху розвитку національної галузі нормування: чи зберігати особливості вітчизняної гілки норм проектування, чи йти по шляху приєднання до

міжнародних норм. Для відповіді на це запитання доцільно пам'ятати про шлях розвитку будівельних норм з національних до міжнародних.

ПОСТАНОВКА ЗАВДАННЯ

Основною метою даної публікації є акцентування уваги на актуальних задачах, пов'язаних із удосконаленням вітчизняної системи норм будівельного проектування, і аналіз проблем, що виникають при її узгодженні з міжнародною практикою.

ВИКЛАД ОСНОВНОГО МАТЕРІАЛУ ДОСЛІДЖЕННЯ

БУДІВЕЛЬНЕ НОРМУВАННЯ ЯК БЕЗПЕРЕРВНИЙ ПРОЦЕС

Поява будівельних норм історично обумовлена як мінімум двома основними причинами:

- забезпеченням безпеки користувача будівель і споруд, що зводяться;
- створенням умов та гарантій, необхідних для рівної конкуренції сторін, що формують пропозиції щодо проектування та будівництва. Проектні рішення можуть справедливо конкурувати тільки в тому випадку, якщо вони запроектовані, спираючись на однакові принципи (переважно, концепцію надійності).

Навіть при швидкому вивченні перших норм проектування залізобетонних конструкцій привертає увагу той факт, що вони були досить прості як у розумінні, так і в практичному застосуванні. Наприклад, [1], перші датські норми Dutch Code for Reinforced Concrete (1912), склалися всього з 30 сторінок, а запропоновані М.А. Белелюбським Технічні умови (ТУ) і нормативи для залізобетонних конструкцій приблизно того ж періоду часу, прийняті в 1911 році, – лише з 28 сторінок. Слід зазначити, що за цими нормами на початку ХХ століття було запроектовано та побудовано 22 мости.

Разом з тим, незважаючи на названі вище причини, вже запровадивши перші норми проектування, фахівці були стурбовані обмежуючим ефектом, який може впливати на інновації в будівельній галузі. Як показано в [1], в одному з перших технічних журналів з проектування конструкцій (1905) наводиться таке висловлювання: «Необхідно переконатися в тому, що приписи будівельних норм є настільки гнучкими, що будівельна індустрія, в якій з'являються щодня нові ідеї, не пов'язана і залишається вільною для розвитку нових способів проектування та зведення конструкцій».

Протягом останнього століття розробка норм проектування – практично безперервний процес, і у цей період у більшості країн були розроблені національні норми проектування, які мали досить



високий рівень (СНІП, ДБН, АСІ, РН, ВS, DІN, АSCE та ін.).

Слід зазначити, що виконаний аналіз вимог і правил проектування, включених до норм різних країн, дозволив констатувати, що вони базуються на досить подібних концептуальних підходах, маючи за основу метод граничних станів. Просто їх зміст (наповнення) відповідає рівню економічного розвитку, географічному розташуванню країни, а головне – існуючій національній інженерній традиції.

В останні десятиліття було вжито активних дій, спрямованих на перехід від національних норм до міжнародних, загальних для великих груп країн. Найбільш характерним прикладом інтернаціоналізації будівельних норм стосовно європейської практики є використання єдиних європейських норм – Єврокодів, розробка яких виконується під наглядом Європейського комітету по стандартизації (Comité Européen de Normalisation, CEN) і триває вже понад 30 років. Слід також зауважити, що міжнародні стандарти розробляє не тільки CEN, а й, паралельно, ISO (International Standard Organization). Ці розробки добре узгоджені між собою.

Як наголошується в ряді публікацій, найбільш значущим досягненням Єврокодів слід вважати їх гармонізацію на базі єдиної концепції надійності, загальних символів та позначень, легальних одиниць виміру, що застосовуються в нормах.

За задумом їх укладачів, наявність єдиних норм проектування та супутніх (пов'язаних) з ними стандартів мають забезпечити умови для вільного переміщення продуктів будівельної галузі, будівельних послуг та наукової думки щодо будівництва між країнами – членами CEN (Директива 106/ЕС).

З іншого боку, неможливість досягнення консенсусу при прийнятті голосуванням чергових версій попередніх норм призвела до появи Національних додатків (National Annex), в яких відображаються так звані параметри, що національно встановлюються (National Determined Parameters), які розвиваються в Національних документах із застосування (National Application Documents).

Водночас, на думку авторів [1], Національні додатки були введені не так через розбіжності та неможливість досягнення консенсусу при голосуванні за окремими положеннями, як для підтримки національних вимог до рівня безпеки та обліку національних аспектів, пов'язаних із традиціями проектування.

МІЖНАРОДНА І НАЦІОНАЛЬНА ПІАКИ БУДІВЕЛЬНИХ НОРМ

Інтернаціоналізація норм несе у собі такі переваги:

- 1) суттєво полегшує обмін науково-технічними даними та думками між вченими та

фахівцями різних країн. Дискусія на міжнародному рівні та відповідна кооперація у проведенні досліджень підвищує рівень знання суттєвіше, ніж це може бути отримано фахівцями окремої країни (особливо в тих випадках, коли невеликі країни відчувають дефіцит висококваліфікованих фахівців з окремих напрямків досліджень);

- 2) обговорення різних точок зору є набагато раціональнішою основою для розробки загальноприйнятих логічних правил проектування.

А щодо необхідності збереження системи національних норм проектування будівельних конструкцій, то слід взяти до уваги наступне.

Згідно з практикою розробки та прийняття європейських нормативних документів, у цьому процесі участь можуть брати тільки країни – члени ЄС. За таких умов інші країни можуть лише висловлювати свій власний погляд та розуміння принципів та правил проектування виключно при розробці своїх вітчизняних нормативних документів. Таким чином, питання збереження та постійного вдосконалення своєї національної нормативної системи, побудованої на принципах спільної з Єврокодами концепції надійності [7], набуває принципового значення.

За змістом Єврокоди не є цілком документом прямої дії, а встановлюють лише основні (базові) вимоги щодо проектування конструкцій (слід зазначити, що серед великої групи розробників Євронорм існує думка про те, що ці норми повинні містити головним чином філософію проектування, а детальні правила мають бути включені до національних норм). Для детального проектування у практиці європейських країн розроблено або розробляються додаткові документи (довідники, посібники, рекомендації, підручники, програмне забезпечення тощо), в яких містяться, в тому числі, й альтернативні розрахункові моделі, застосування яких забезпечує [3] надійність конструкцій, але які враховують вітчизняні інженерні традиції.

Деякі з країн – членів CEN, крім того, запровадили (реалізували) додаткові національні правила та коментарі у формі NCI (Non-contradictory Complementary Information – Несуперечлива додаткова інформація) для застосування на національному рівні. Як правило, цими можливостями скористалися, насамперед, провідні країни – члени CEN.

У такому документі можуть розглядатися додаткові до EN відомості у вигляді схем зусиль, рівнянь рівноваги, відносних параметрів напруженого стану, а також допоміжних таблиць, що значно полегшують проектувальнику виконання розрахунків опору елементів конструкції. Разом з тим, таке Національне доповнення не дозволяє включити всі потрібні зміни, зокрема, пов'язані як із застосуванням нових матеріалів, так і розробкою



нових методів розрахунку опорів. Тому розробка національних норм, що спираються на останні досягнення як національної, так і міжнародної будівельної науки при збереженні національних традицій, залишається актуальною.

Важливою особливістю є той факт, що міжнародні норми майже не торкаються так званих об'єктних нормативних документів, і проблема узгодження з ними цілком належить національній гілці нормативних документів.

ОСОБЛИВОСТІ РОЗРОБКИ ДРУГОГО ПОКОЛІННЯ ЄВРОКОДІВ

Наразі Єврокоди прийнято розглядати як найбільш передові комплексні норми проектування. Як стверджують розробники Єврокодів, їх застосування дозволяє виробити спільне розуміння проблеми проектування та забезпечує, з одного боку, розробку гармонізованих проектних стратегій для країн Європи, а з іншого – відкриває широкі можливості для міжнародного співробітництва. Необхідно мати на увазі, що реальне ставлення до Єврокодів є різним у країнах – членах Європейського Комітету нормування (CEN). Незважаючи на взяті зобов'язання щодо скасування з березня 2010 року національних стандартів, що входять у суперечність із Єврокодами, більшість країн, насамперед Німеччина (DIN) та Великобританія (BS), які ініціювали застосування Євростандартів, не лише зберегли національні норми, але й продовжують їх активно розвивати та наполегливо пропонувати як міжнародні.

Таким чином, за всіх декларованих раніше переваг інтернаціоналізації виділяється група так званих «провідних» країн, які мають можливості виконання досліджень і покладають на себе право внесення змін до норм. На даний час спостерігається перегляд та коригування чинних Єврокодів з метою їх удосконалення та покращення. Водночас, Національні комітети повинні переглянути зміст Національних додатків в умовах подальшої гармонізації документів.

Перше покоління Єврокодів було опубліковано між 2002 і 2007 роками. Зараз з'являються документи, що є частиною другого покоління Єврокодів. Вони були підготовлені відповідно до Мандату М/515, виданого до CEN від Європейської комісії та Європейської асоціації вільної торгівлі.

Роботи з коригування конструкційних Єврокодів виконує Технічний комітет TC 250. Програма включає як розробку нових конструкційних Єврокодів, наприклад, конструкції зі скла, так і перегляд існуючих норм з доповненням розділів, що стосуються перевірок живучості конструктивних систем в особливих розрахункових ситуаціях, оцінок існуючих конструкцій, методів нелінійного аналізу тощо.

Концепція вдосконалення Єврокодів другого покоління (G-2), сформульована TC 250, базується на двох основних підходах:

- 1) подальшій гармонізації норм проектування через зменшення кількості NDPs (Національно-встановлюваних параметрів);
- 2) реалізації принципу «Easy-for-Use».

У рамках підходу «подальшої гармонізації» вимог EN 1992-1-1 передбачається скорочення переважно кількості NDPs (Національно-встановлюваних параметрів) без істотних змін основної структури та змісту нормативного документа. Після введення Єврокодів низка Європейських країн заморозила власні програми розробки національних документів, а відповідно й дослідження з метою стандартизації. У той же час Німеччина досить інтенсивно проводила дослідження в рамках різних програм, тому слід очікувати, що більшість із скорочених NDPs спиратимуться на результати німецьких досліджень. Враховуючи ту обставину, що робочі групи з окремих розділів Єврокодів є деякими досить закритими спільнотами, малоймовірно, що ними будуть прийняті пропозиції інших країн. Таким чином, цілком зрозуміло, що повна гармонізація Єврокодів (за повного виключення NDPs) є наразі практично неможливою.

Окремо слід зупинитись на реалізації підходу «простота застосування» («Easy-for-Use»). Як показує досвід впровадження, практично завжди при введенні нової версії норм виникає неприйняття в основному з боку інженерів-практиків, яким, однак, необхідно вдосконалювати професійні знання. На їхню думку, кількість норм, що збільшується стає все більш насиченою інформацією і пропонує все більш складні розрахункові моделі. Крім того, як вважають практикуючі інженери, нормативні документи стають все більш складними з погляду науки і втрачають зв'язок з інженерною практикою [1].

Слід зазначити, що ускладнення розрахункових моделей, що вносяться до норм при спробах проникнути глибше у фізичні аспекти опору конструкції, може призвести до простого нерозуміння і, як наслідок, до великих помилок при проектуванні, підвищує ризики відмови конструкцій. З іншого боку, ускладнення моделей веде до збільшення невизначеностей (помилки моделювання). Але саме такі моделі доцільно використовувати при комп'ютерній реалізації нормативних вимог.

З цієї причини рекомендовано при складанні норм використовувати принцип LOA (скор. від англ. Level of Approximation – Рівень апроксимації). Відповідно до даного принципу, будь-яка розрахункова модель опору, що вноситься в норми (якщо це можливо), може бути представлена на декількох розрахункових рівнях апроксимації в міру зростання складності. Найнижчий рівень I



(LOA I), будучи найпростішим, характеризується найменшою трудомісткістю, але дає найбільш консервативний результат. Найбільш високий рівень LOA IV вимагає значних витрат праці та часу на виконання розрахунків, високої кваліфікації розрахівника, спеціальних комп'ютерних програм тощо, але дає при цьому більш об'єктивний результат оцінювання опору і є менш консервативним. За задумом розробників норм [1, 2] це дозволяє поєднувати в одних нормах як прості, так і досить складні методи перевірок граничних станів.

Найбільш прості (спрощені) розрахункові моделі LOA I можуть застосовуватися на стадії попереднього проектування (англ. predesign of a structure), тоді як більш складні LOA IV і нелінійні моделі – у разі проектування або оцінювання відповідальних або існуючих конструкцій, коли постає питання необхідності виконання посилення [1].

Слід зазначити, що термін «простота» визначається не лише рівнем складності прийнятих моделей, що включають набори розрахункових формул як розшифровку, сформульовану в принципах проектування філософії, а й узгодженість як положень норми, так і різних взаємопов'язаних норм.

Таким чином, реалізація принципу «Easy-of-Use» передбачає:

- простоту та ясність викладу, короткі стислі формулювання;
- взаємозв'язок як окремих положень норм, так і норм між собою, зокрема, зі стандартами на матеріали та вироби і навіть нормами на зведення;
- обмеження, де це можливо, альтернативних правил та розрахункових моделей, що застосовуються для однієї розрахункової ситуації;
- виняток правил, що мають дуже рідкісне практичне застосування;
- забезпечення певної наступності нормативних документів (Evolution, not Revolution). При розробці нового покоління норм ЄС слід уникати внесення фундаментальних змін до методів проектування;
- заохочення інноваційних підходів;
- облік нових соціальних потреб суспільства;
- сприяння гармонізації національних технічних ініціатив за новими тематиками, які становлять інтерес для будівельної галузі різних країн;
- включення до норм лише таких матеріалів, які отримані на основі загальноновизнаних результатів досліджень та підтверджені досвідом практичного застосування.

Безперечно, що ці положення слід брати до уваги при розробці не лише міжнародних, а й національних норм будь-якого рівня. І тут доцільно вказати на різницю між традиційним стилем викла-

дання наших норм, що побудовані на безальтернативному принципі з вимогою обов'язкового виконання наведених вимог, і прийнятим, як правило, стилем рекомендації в нормах Європи, які надають проектувальнику більшу свободу, але й вимагають більшої відповідальності. Це може стати якщо не юридичним, то психологічним фактором використання принципу LOA у вітчизняних умовах.

Корисно також звернути спеціальну увагу на новий розділ, включений у всі Єврокоди, що містить визначення застосовуваних форм дієслів. Можна навести численні приклади, коли неправильне трактування форми дієслова призводило або до непотрібних дискусій, або до суб'єктивних викладів вимог норми.

У Єврокодах нового покоління наведено такі визначення стосовно форм дієслів:

- дієслово "shall" відбиває безальтернативні вимоги, яких слід суворо дотримуватися, відхилення від такого положення не допускається;
- дієслово "should" відображає настійно рекомендований вибір (нормативну рекомендацію) або кращий напрямок дії. З урахуванням вимог національного технічного регулювання та/або будь-яких відповідних угод допускається застосування альтернативних підходів (положень), якщо вони технічно обгрунтовані;
- дієслово "may" показує напрямок допустимої дії в межах обмежень, встановлених Єврокодами;
- дієслово "can" використовується для позначення можливості та здібності.

ВИМОГИ ДО ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ЖИВУЧОСТІ

Класична форма методу граничних станів не передбачала розгляду позамежної (аварійної) стадії роботи конструкцій. Але сьогодні дослідження реакції споруди на можливі катастрофічні впливи та перевірка живучості стали практично обов'язковим елементом проектування. Тому зрозумілою є поява присвяченого живучості спеціального додатку Е у загальнокеруючому Єврокоді-0 [8].

Вважаючи, що прописні правила проектування будуть наведені в інших Єврокодах, а конкретика повинна бути наведена в Національних додатках до EN 1990:2023, цей додаток має довідковий характер і містить самі загальні рекомендації, а саме такі:

- А) Відомості про стратегію проектування конструкцій з підвищеною живучістю, що можуть бути обрані з наступних:
 - створення альтернативних шляхів завантаження шляхом забезпечення достатньої пластичності, опору та деформованості при локальних пошкод-



женнях та надмірності конструкції або за рахунок застосування спеціальних правил проектування;

- проектування ключових елементів для протидії небезпечним впливам на невизначену природу;
- поділу конструкції на окремі частини (сегментації) за допомогою одного або декількох слабкіших конструктивних елементів, так що кожна частина може зруйнуватися незалежно, не впливаючи на безпеку інших частин;

Б) Метод проектування задля забезпечення підвищеної живучості може бути обраний з урахуванням класу наслідків (СС).

Подальша деталізація повинна взяти до уваги, що під сумнівом опинилися деякі з основних положень традиційного способу перевірки роботоспроможності конструкції, зокрема, орієнтація на використання статистичних властивостей навантажень і матеріалів при застосуванні методу граничних станів.

Катастрофічні події, які спричиняють важкі наслідки, вкрай рідкісні, і для них відсутній достатній обсяг статистичних даних. Тому, на відміну від звичайних методів аналізу, основний підхід полягає у перенесенні уваги з оцінки впливу зовнішніх навантажень на можливі варіанти пошкодження будівельної конструкції. Живучість конструкції полягає в тому, щоб пошкодження одного елемента не поширювалося лавиноподібно на інші елементи і не призводило до обвалення всієї системи або її значної частини. Перевірка цього була покладена в основу методики аналізу живучості (відсутності прогресуючого обвалення), яка базується на перевірках несучої здатності системи при видаленні з неї того чи іншого елемента.

ПРОБЛЕМА КОМП'ЮТЕРИЗАЦІЇ ПРОЕКТУВАННЯ

Однією з відмінних рис Єврокодів нового покоління є поява розділів, присвячених використанню в розрахунках методу скінчених елементів (FEM-analysis). Прикладом може бути афішована чотирнадцята частина Єврокоду-3 EN 1993-1-14 [10].

Тут слід відзначити, що розрахункове обґрунтування проектних рішень – це багатоетапний процес, у якому, як мінімум, слід розрізнити дві основні частини: визначення напружено-деформованого стану (НДС) та перевірку прийнятих перерізів (або армування). На жаль, цей факт не акцентується, і коли говорять про розрахунок конструкцій, не завжди чітко обговорюється, про що йдеться.

Але з точки зору нормування відмінності тут принципові: визначення НДС є завданням будівельної механіки, і цей процес в принципі не

повинен бути предметом нормування, у той час як перевірка несучої здатності перерізів є умовною процедурою, орієнтованою на досягнення певної міри безпеки, і тут нормування, що є встановленням певних вимог суспільства, цілком доречно.

Повертаючись до етапу визначення НДС можна сказати, що тут елементами нормування можуть бути лише деякі «дозвільні процедури», за допомогою яких встановлюються допустимі спрощення завдання. Тут важливо зауважити, що йдеться саме про припустимі спрощення, а не про обов'язкове їх застосування, хоча в текстах нормативних документів ця принципова різниця ніяк не обговорюється. І тут постає питання про нерівноправність результатів спрощеного розрахунку за нормами та можливим результатом більш точного аналізу.

Традиційно норми будівельного проектування були орієнтовані на певний набір розрахункових схем, найчастіше це були плоскі стрижневі системи, занурені в одній площині або у взаємно ортогональних площинах і працюючі в умовах одновісного напруженого стану. Просторові конструкції, особливо оболонкового типу, розглядаються набагато рідше. Разом з тим, вони є практично стандартними при розрахунках з використанням програмних засобів. І тут виникає певний дисбаланс можливостей, коли багато положень, нормованих для традиційних розрахунків, просто відсутні стосовно розрахунків просторових систем. Як приклад, згадаємо лише той факт, що в нормах проектування сталевих та залізобетонних конструкцій наводиться розрахункова діаграма деформування роботи матеріалу тільки для одновісного напруженого стану та відсутні рекомендації для оцінки роботи конструкцій в умовах дво- чи тривісного напруженого стану.

Крім того, однією з найбільш актуальних проблем розробки нового покоління норм є застосування нелінійних кінцево-елементних методів розрахунку. При цьому, крім реалізації власне розрахункових процедур, по-новому постає питання про забезпечення необхідного формату безпеки при виконанні нелінійних розрахунків.

Питання готовності до застосування нелінійних розрахунків у практиці проектування вже обговорювалося у публікаціях [4, 3], а проблемі забезпечення формату безпеки присвячено останніми роками досить багато робіт [3 - 6]. Застосування нелінійних розрахунків у практиці проектування стало можливим, з одного боку, завдяки інтенсивному розвитку комп'ютерної техніки, з другого – внаслідок розробки програмних комплексів, що реалізують нелінійні розрахункові процедури. В даний час обчислювальні комплекси, засновані на застосуванні методу скінчених елементів (FEM-method) та декларуючі можливості нелінійного



аналізу, реалізують, як правило, спрощену процедуру так званої модифікованої або адаптивної жорсткості та повністю нелінійну модель, засновану на застосуванні складних (деформаційних) моделей з врахуванням перерозподілу зусиль при утворенні та розкритті тріщин. Докладно нелінійні моделі розглянуті в роботах [4, 7].

Як показано в [3], нелінійний аналіз за своєю природою завжди є оцінкою глобального типу, при якому всі конструктивні елементи системи та їх переріз перебувають у взаємодії.

Слід зазначити, що міжнародні деякі національні норми проектування містять пропозиції щодо регулювання рівня надійності і під час нелінійних розрахунків з допомогою так званого глобального коефіцієнта безпеки (англ. «global resistance factor»). При цьому практично завжди проблема зводиться до одностороннього оцінювання надійності (розрахункові значення опорів встановлюють без урахування мінливості впливів).

Слід зробити ще одну ремарку, перш ніж говорити про застосування нелінійного аналізу. При застосуванні цієї процедури передбачається розглядати дві групи завдань:

1. Нелінійний скінченно-елементний аналіз окремих конструктивних елементів або найпростіших систем (нерозрізних балок, плоских рам тощо), коли пробують фізичне моделювання поведінки конструкції під навантаженням. Безумовно, у такій постановці вкрай трудомістко моделювати поведінку реальних конструктивних систем. Такий нелінійний аналіз надзвичайно корисний, зокрема, під час вирішення завдань локального опору у вузлах, контактних завдань тощо за відсутності обґрунтованих аналітичних моделей, а також під час проведення наукових досліджень чисельними методами.
2. При виконанні нелінійного скінченно-елементного аналізу ідеалізованих конструктивних систем. Такі розрахунки є більш наближеними до практичного проектування та дозволяють знаходити з певною точністю рішення для реальних складних конструктивних систем.

Слід зазначити, що формат безпеки при виконанні нелінійних розрахунків, як і раніше, залишається однією з обговорюваних і суперечливих проблем теорії надійності, а запропоновані методи піддаються постійній модифікації.

ОЦІНЮВАННЯ ІСНУЮЧИХ КОНСТРУКЦІЙ

Ще одним з найважливіших завдань, сформульованих під час упорядкування норм нового покоління, є розробка адекватних методів оцінювання існуючих конструкцій. При цьому, як зазначається у [1], у розпорядженні інженерів

мають бути надані як науково обґрунтовані моделі, так і критерії, що дозволяють приймати адекватні рішення щодо необхідності посилення великих груп конструкцій та брати на себе відповідальність за те, щоб утриматися від втручання у існуючий технічний стан несучої конструкції.

При розробці нової редакції норм проектування щодо оцінювання існуючих конструкцій треба одержати відповіді на такі основні питання:

- Чи слід включати правила для оцінювання існуючих конструкцій як додаткові частини (окремі видання) Єврокодів (наприклад, EN 1992-5), чи включати їх у вигляді розділів, додатків до відповідного Єврокоду?
- Чи доречно вносити значення цільових індексів надійності для оцінювання існуючих конструкцій, відмінних від індексів надійності, прийнятих під час проектування нових конструкцій? Якщо так, то чи повинен цільовий рівень надійності призначатися з урахуванням залишкового терміну служби об'єкта, вимог безпеки користувача, наслідків відмови тощо.
- Чи припустиме калібрування значення часткових коефіцієнтів методу (тобто методу часткових коефіцієнтів), спираючись на отриману в процесі обстеження фактичну інформацію про конструкцію (властивості матеріалів, геометричні характеристики тощо) та умови її експлуатації, включаючи впливи, а також невизначеності оцінювання?
- Як забезпечити формат безпеки при виконанні нелінійних розрахунків конструктивних систем з урахуванням невизначеностей розрахункових моделей та невизначеностей визначення властивостей матеріалів? Слід зазначити, що властивості матеріалів, включаючи показники мінливості, визначаються за результатами випробувань.
- За яких обставин було б доцільно виконувати оцінку існуючих конструкцій, виходячи з досвіду минулої роботи цієї конструкції?

Питання калібрування значень часткових коефіцієнтів γ_i протягом тривалого часу дискутуються та викликають інтерес у практикуючих інженерів, які займаються оцінкою технічного стану існуючих конструкцій. Застосування часткових коефіцієнтів γ_b відкаліброваних для проектування нового будівництва (при деяких усереднених показниках мінливості базисних змінних і періоду повторюваності 50 років), дає практично завжди консервативний результат при оцінюванні існуючих конструкцій. При проектуванні нового будівництва проектувальник оперує абстракціями, а під час оцінювання технічного стану експерт має справу з реальною конструкцією, наділеною властивостями, пара-



метри яких можна вимірювати відомими способами.

Відповідно до існуючих пропозицій [9], конструкції, запроєктовані та зведені за раніше діючими нормами або навіть без норм, можуть розглядатися як безпечні для подальшого застосування, спираючись на позитивний досвід експлуатації, при одночасному виконанні наступних умов:

- ретельне обстеження не виявило жодних суттєвих ознак ушкоджень, шкоди, деструкції чи погіршення стану конструкції;
- конструкція продемонструвала задовільний технічний стан протягом тривалого періоду експлуатації, протягом якого могли з'явитися екстремальні значення впливів;
- не було виявлено жодних змін протягом досить довгого періоду часу, які могли призвести до суттєвого зростання рівня впливів або вплинути на довговічність конструкції, та такі зміни не передбачаються.

Слід зазначити, що в такій широкій постановці питання не лише оцінювання, а й розробки методів посилення у європейській практиці порушується вперше. Разом з тим, у національній практиці розробки нормативних документів питанням оцінювання технічного стану існуючих конструкцій, включаючи розробку адекватних розрахункових моделей опору (як існуючих, так і конструкцій, що посилюються), завжди приділяли належну увагу, і були розроблені відповідні посібники [11].

ДЕЯКІ СУПУТНІ ПРОБЛЕМИ

Вдосконалення вітчизняної нормативної бази проектування потребує прийняття низки організаційно-розпорядчих рішень, включно до законодавчого рівня. Вкажемо лише на деякі з них.

ПРОЕКТУВАННЯ ЗА ЄВРОКОДАМИ

В Україні є законна можливість проектування за Єврокодами, це закріплено у ДБН А.1.1-94-2010 «Проектування будівельних конструкцій за Єврокодами. Основні положення». Вимагається, щоб при цьому були виконані усі стандарти, на котрі посилається Єврокод. І якщо в Україні відсутній якийсь потрібний матеріал за європейським стандартом (прокат, арматура, бетон, кераміка тощо), то його треба імпортувати чи організувати відповідне виробництво. Хто і як буде за цим спостерігати поки невідомо, і потрібно цей аспект продумати.

Можливо, потрібно цей аспект проблеми відбивати у деякій декларації, яка додається до пояснювальної записки і стає частиною проектної документації. Якщо прийняти таке рішення, то потрібно внести відповідний пункт у ДБН А.2.2-3:2014 «Склад та зміст проектної

документації на будівництво».

Але Єврокоди вирішують питання лише на 30-40%, бо, крім того, існує великий масив так званих об'єктних норм (житло, школи, лікарні, дороги, трубопроводи тощо), і проблема узгодження з ними цілком належить національній гілці нормативних документів. У багатьох з цих документів є посилання на розрахункові норми, і такі посилання пов'язані тільки з вітчизняними нормативними документами, що створює досить неприємну колізію при проектуванні за Єврокодами. Виникає необхідність якимось чином пристосувати об'єктні норми для такої ситуації.

Слід мати на увазі, що проектування деяких об'єктів для України можуть виконувати закордонні фірми (особливо, коли вони інвестують у таке будівництво), а англійського перекладу об'єктних норм немає, і не треба покладатись, що він може з'явитися «самотужки» і буде мати необхідну точність. Мабуть, потрібно мати англійський варіант деяких об'єктних норм і національних додатків до Єврокодів. Не обов'язково ці матеріали видавати, можна мати лише їхні електронні версії.

Крім того, національні додатки розсіпані по різних розділах Єврокоду, але для закордонних проектувальників було б зручно звести їх у одне видання, оскільки загальний текст Єврокодів вони мають.

ОЦІНКА ВІДДАЛЕНИХ НАСЛІДКІВ

Широко розрекламована BIM-технологія переконує, що вона дозволяє об'єднати всі етапи життєвого циклу будівельного об'єкта – від проектування до кінця експлуатації – в одну систему, де кожна зміна зафіксована та тягне за собою інші зміни. Але це твердження викликає деякі сумніви.

Технологія управління життєвим циклом об'єкта, аналогічна рекламованій у BIM, з'явилася значно раніше в машинобудуванні і під назвою PLM (Project Lifecycle Management) широко використовується, наприклад, в кораблебудуванні або в аерокосмічній галузі. І добре відомі досягнуті за її допомогою результати, які часто згадуються у рекламних текстах. Хоча тут відразу слід вказати на дві принципові відмінності, властиві галузі будівництва: непорівнянні терміни експлуатації і дисципліна експлуатації, що абсолютно відрізняється.

Як можна говорити про стадію експлуатації та ремонту, якщо ця подія відбудеться через 30-70 років після проектування. І на той час, швидше за все, застаріють усі наші сьогоденні технології та прийоми робіт. Та й можливість скористатися сьогоденньою цифровою моделлю через 50 років є досить сумнівною: пригадаємо, наприклад, чи можемо ми сьогодні прочитати



старі перфокарти та магнітні стрічки, які містили інформацію про об'єкти, що проектувалися 40 років тому. Навряд чи можна спрогнозувати такі далекі параметри економічних розрахунків, що лежать в основі прийняття багатьох рішень, наприклад, таких як рівень дисконтування.

Що ж до технічної експлуатації, тобто комплексу робіт з ремонту, утримання, обслуговування та контролю стану будівлі, то проектувальник сьогодні штучно відсторонений від будь-яких рішень у цій галузі, хоча, як ніхто інший, обізнаний про особливості спроектованого об'єкта. Більше того, він не має можливості передбачити у проекті обмеження чи процедури в режимі використання об'єкта, які було б розумно застосувати, оскільки у ДБН А.2.2-3:2014 відповідного розділу проектною документацією не передбачено.

КОМЕНТУВАННЯ НОРМАТИВНИХ ВКАЗІВОК

Будь-які вказівки нормативних документів мають деяке наукове чи практичне обґрунтування, що у тексті норм не наводиться. В той же час у проектувальника можуть виникати питання, які вимагають аналізу положень, що саме обґрунтовують. Найчастіше така ситуація пов'язана з тими випадками, коли виникає нестыковка у рекомендаціях різних норм, а також у випадках, коли необхідна перевірка певного положення норм за межами оголошеної сфери їх застосування.

У системі Єврокодів ця проблема вирішується тим, що технічні комітети, які розробляють норми або впливові інженерні спільноти, такі обґрунтування видають (див., наприклад, [12] або [13]), у вигляді розгорнутого коментаря або, у крайньому випадку, у вигляді посилань на публікації. Більш радикальне рішення демонструє Франція, де нормативні документи видаються таким чином, що на парних сторінках розміщуються пункти норм, а на непарних – коментарі до них.

Очевидно, і в Україні слід якимось чином вирішити це питання, як мінімум передбачивши таку форму нормативних документів, як посібник.

ВИСНОВКИ

1. Одним із основних завдань на найближчу перспективу слід вважати збереження національних норм. Найбільш раціональним підходом слід вважати розробку вдосконалених національних норм, що не входять у суперечність з європейськими нормами, з урахуванням досягнутих нових результатів як національних, так і міжнародних досліджень. Особливу увагу слід звернути на питання, у котрих міжнародні норми суттєво випереджають вітчизняні нормативні документи.

2. Деякі нормативні і законодавчі документи, що регламентують сферу розробки і дії нормативних документів з будівництва, потребують вдосконалення.
3. При розробці положень норм слід ґрунтуватися на прийнятому розробниками Єврокодів принципі «Easy-of-Use», за допомогою якого можливо одночасно представити як спрощені варіанти для ручного розрахунку, так і більш точні варіанти, орієнтовані на комп'ютерну реалізацію.
4. При плануванні наукових досліджень у галузі будівельних конструкцій слід орієнтуватися, головним чином, на розробку положень, що вносяться до норм проектування, та їх експериментальну перевірку.

БІБЛІОГРАФІЧНИЙ СПИСОК

1. Walraven J. Codes of Practice: Burden or Inspiration? «High Tech concrete: Where technology and Engineering meet»: fib Symposium in Maastricht, June 2017. P. XIII–XXIV.
2. Ignatiadis A., Fingerloos F., Hegger J., Teworte F. Eurocode 2. Analysis of National Annexes. *Structural Concrete*. 2014. № 16 (1). DOI: 10.1002/suco.201400060
3. Перельмутер А.В., Тур В.В. Готовы ли мы перейти к нелинейному анализу при проектировании? *International Journal for Computational Civil and Structural Engineering*. 2017. № 13 (3). P. 86–102.
4. Cervenka V. Global safety formats in fib Model Code 2010 for design of Concrete Structures. *Proceeding of the 11th International Probabilistic Workshop, Brno, 2013*. P. 27–31.
5. Bertagnoli G, Giordano L, Mancini G. Safety Format for the Nonlinear Analysis of Concrete Structures. *Studi e ricerche. Politecnico di Milano, Scuola di specializzazione in costruzioni in cemento armato*. № 25. 2004. P. 31-56.
6. Cervenka V. SARA – Structural Analysis and Reliability Assessment: User's manual. V. Cervenka consulting, Prague, 2003. 128 p.
7. Schlune H., Plos M., Gilltoft K. Safety Format for the non-linear analysis of Concrete Structures. *Engineering Structures*. 2011. № 33 (8). P. 2350-2356.
8. EN 1990:2023. Eurocode. Basis of structural and geotechnical design. Brussels: European Committee for Standardization, 2023. 172 p.
9. ISO 13822. Basis for design of structures. Assessment of existing structures. ISO, 2010.
10. EN 1993-1-14. Design of steel structures. Part 1-14: Design assisted by finite element analysis (under preparation).



11. Пособие по проектированию усиления стальных конструкций (к главе СНиП II-23-81*). УкрНИИпроектстальконструкция. Москва: Стройиздат, 1989. 159 с.
12. Background documents to EN 1992-1-2 Eurocode 2: Design of concrete structures, Part 1-2: General rules. Structural fire design. Brussels: CEN/TC250, 2009.
13. Rules for Member Stability in EN 1993-1-1: Background documentation and design guidelines. Zurich: European Convention for Constructional Steelwork, 2006.

REFERENCES

1. Walraven, J. (2017). Codes of Practice: Burden or Inspiration? In "High Tech Concrete: Where Technology and Engineering Meet," Proceedings of the fib Symposium in Maastricht.
2. Ignatiadis, A., Fingerloos, F., Hegger, J., & Teworte, F. (2014). Eurocode 2: Analysis of National Annexes. *Structural Concrete*, 16(1). <https://doi.org/10.1002/suco.201400060>
3. Perelmuter, A.V., & Tur, V.V. (2017). Are we ready to transition to nonlinear analysis in design? *International Journal for Computational Civil and Structural Engineering*, 13(3), 86–102.
4. Cervenka, V. (2013). Global safety formats in fib Model Code 2010 for design of Concrete Structures. In Proceedings of the 11th International Probabilistic Workshop, Brno (pp. 27–31).
5. Bertagnoli, G., Giordano, L., & Mancini, G. (2004). Safety Format for the Nonlinear Analysis of Concrete Structures. *Studi e Ricerche, Politecnico di Milano, Scuola di Specializzazione in Costruzioni in Cemento Armato*, 25, 31-56.
6. Cervenka, V. (2003). SARA – Structural Analysis and Reliability Assessment: User's Manual. Prague: V. Cervenka Consulting.
7. Schlune, H., Plos, M., & Gilltoft, K. (2011). Safety Format for the Non-linear Analysis of Concrete Structures. *Engineering Structures*, 33(8), 2350-2356.
8. EN 1990:2023. (2023). Eurocode. Basis of Structural and Geotechnical Design. Brussels: European Committee for Standardization.
9. International Organization for Standardization. (2010). ISO 13822. Basis for Design of Structures. Assessment of Existing Structures.
10. European Committee for Standardization. EN 1993-1-14. Design of Steel Structures. Part 1-14: Design Assisted by Finite Element Analysis (Under Preparation).
11. Ukrniiproektstalconstruction. (1989). Manual on the Reinforcement Design of

- Steel Structures (to Chapter SNiP II-23-81). Moscow: Stroyizdat.
12. CEN/TC250. (2009). Background Documents to EN 1992-1-2 Eurocode 2: Design of Concrete Structures, Part 1-2: General Rules. Structural Fire Design. Brussels: CEN/TC250.
13. European Convention for Constructional Steelwork. (2006). Rules for Member Stability in EN 1993-1-1: Background Documentation and Design Guidelines. Zurich.

Стаття надійшла до редакції 25.11.2023 року



Doi: <https://doi.org/10.33644/2313-6679-4-2023-2>

УДК 624.074.04



ШИМАНОВСЬКИЙ О.В.

Доктор техн. наук, професор, член-кор. НАН України, генеральний директор ТОВ «Український інститут сталевих конструкцій імені В. М. Шимановського», м. Київ, Україна, тел.: +38(044) 543-93-87 e-mail: niipsk@urdisc.com.ua ORCID: 0000-0002-7253-6707

ДЕЯКІ ПИТАННЯ ОЦІНЮВАННЯ ВПЛИВУ ДЕФЕКТІВ І ПОШКОДЖЕНЬ НА ПРАЦЕЗДАТНІСТЬ ВИСОТНИХ СПОРУД

АНОТАЦІЯ

В статті розглянуто питання оцінювання впливу виявлених під час проведення обстежень дефектів і пошкоджень на працездатність висотних споруд. Представлено класифікацію існуючих в Україні висотних споруд за часом введення в експлуатацію. Зазначено, що певна кількість із них мають або повністю вичерпаний, або близький до вичерпання нормативний часовий ресурс, а інша – великий фізичний знос та різноманітні пошкодження, зокрема корозійні внаслідок впливу термінів фарбування. Виокремлено характерні обставини, що впливають на зменшення довговічності висотних споруд, головними серед яких виступають, по-перше, недостатність фінансових ресурсів для поліпшення їх технічного стану, по-друге, непоодинокі розміщення нового телекомунікаційного обладнання на частково непридатних або навіть повністю непридатних конструкціях, що згодом призводить до аварій та катастроф, по-третє, несвоєчасність обстеження висотних споруд і, по-четверте, неусунення виявлених порушень, зумовлених помилками на етапах проектування, виготовлення, транспортування, монтажу та експлуатації.

Наведено графіки функціональних залежностей відмов і руйнувань висотних споруд від різних факторів, побудовані з використанням

результатів великої кількості обстежень, проведених Українським інститутом сталевих конструкцій імені В.М. Шимановського. Вказано, що тільки обстеження дозволяє своєчасно не лише виявити та оцінити, а й ухвалити проектні рішення щодо усунення виявлених відмінностей фактичного стану конструкцій від передбачених проектом та нормативними документами. Представлено низку прикладів реальних висотних споруд і описано дефекти та пошкодження їх конструктивних елементів. Звернуто увагу на виникнення останнім часом нових типів пошкоджень, пов'язаних як із демонтажем елементів конструкцій сторонніми особами (вандалізмом), так і зі зниженням якості експлуатації, які набули досить значної ваги. Висвітлено рекомендації з проведення відновлювальних робіт.

КЛЮЧОВІ СЛОВА: висотні споруди, конструкція, обстеження, дефекти, пошкодження.

SOME ISSUES CONCERNING EVALUATION OF EFFECTS CAUSED BY DEFECTS AND DAMAGE ON PERFORMANCE OF HIGH-RISE BUILDINGS

ABSTRACT

The paper deals with the issue of evaluation of effects caused by defects and damage detected



during inspections on the performance of high-rise buildings. Classification of high-rise buildings existing in Ukraine by their commissioning time is presented. It is noted that a certain number of them have either a completely exhausted or close to exhausted normative time resource, and the other has a significant physical wear and various damages, in particular, corrosion due to expiry of the paint coating system. The characteristic circumstances that lead to decrease in the durability of high-rise buildings are considered separately, the main ones among which are, firstly, the lack of financial resources to improve their technical condition, secondly, arrangement of new telecommunication equipment mostly on partially unusable or even completely unusable structures, which subsequently leads to accidents and disasters, thirdly, untimely inspection of high-rise buildings and, fourthly, non-remediation of detected violations caused by errors during design, manufacture, transportation, installation and operation stages.

Functional dependence diagrams for failures and damage of high-rise buildings against various factors are presented, which are based on the results of a large number of surveys conducted by V. Shimanovsky Ukrainian Institute of Steel Construction. It is indicated that only the inspection allows timely detection and evaluation, and also validation of project decisions regarding the elimination of identified inconsistencies in the actual state of the structures compared to those provided for in the design and regulatory documents. A number of examples of real high-rise buildings are presented and defects and damage to their structural elements are described. Attention is drawn to recently emerging new types of damage related to both dismantling of structural elements by outsiders (vandalism) and operation quality decrease, which have gained considerable importance. Recommendations for carrying out restoration work are highlighted.

KEYWORDS: high-rise buildings, structure, inspection, defects, damage.

ВСТУП

Добре відомо, що серед усього фонду висотних споруд зв'язку, що експлуатується в Україні, налічується близько 41 % таких, які були уведені в експлуатацію в період між 1980 і 2010 роками, 41 % – протягом 1970-1980 років і 18 % – більш ніж 45 років тому [2]. Через це дуже важливо відзначити кілька характерних моментів. Перший з них стосується того, що висотні споруди останньої згаданої групи належать до таких, нормативний ресурс часу експлуатації яких повністю вичерпані. Другий же момент полягає в тому, що інша – і до того ж вельми суттєва – частина цього фонду, має велику фізичну зношеність і множинні пошкодження, а в деяких спорудах навіть порушене геометричне положення кон-

структивних елементів. Ба більше, на сьогоднішній день закінчилися всі нормативні терміни фарбування, внаслідок чого корозійні пошкодження металевих конструкцій та відтяжок іноді сягають навіть 50 %. Якщо ж скористатися більшою конкретикою, то, за даними вибіркового обстеження, у незадовільному технічному стані знаходиться, на жаль, досить велика кількість відомих висотних споруд зв'язку, а саме: радіотелевізійні вежі у містах Запоріжжя та Вінниця (обидві заввишки 350 м), радіощогли у містах Дніпрі (заввишки 167 м), Рівному (заввишки 239 м), Тячеві (заввишки 102 м) та ін.

ВИКЛАД ОСНОВНОГО МАТЕРІАЛУ

Далі звернемо увагу на те, що погіршення технічного стану, зменшення показників довговічності чи навіть вихід із ладу висотних споруд зв'язку відбуваються через настання низки факторів, зокрема: фізичного зносу та накопичення втоми від змінних навантаж; корозійного зношення; морального старіння, що призводить не лише до погіршення функціонального призначення споруди, а навіть до її неправильної експлуатації, зокрема, несвоєчасного ремонту, реконструкції та відновлення [5].

Серед чинників, які особливо впливають на зниження фізичної довговічності металевих конструкцій, виділимо дві основні, проте різнопланові їх складові. Перша складова, хоч це і може здатися на перший погляд дивним, пов'язана з дуже активним розвиненням зв'язку, інтернету та комерційного телебачення. Проте, в даному випадку пояснення є доволі простим і цілком очевидним, оскільки завдяки цьому розвиненню оператори, хоч це і виглядає невтішним із конструктивної точки зору, спрямовують наявні фінансові ресурси не на поліпшення технічного стану існуючих висотних споруд і не на їхнє нове будівництво, а пріоритетно на розвинення високотехнологічної апаратної бази. До того ж за цих умов нове обладнання нерідко розміщується на частково непридатних чи навіть повністю непридатних конструкціях – бурових вежах, опорах мереж електропередач або димарях тощо [3]. Що згодом призводить до аварій та катастроф, матеріальні збитки від яких у десятки разів перевищують вартість відновлення несних конструкцій.

А друга складова зводиться до старіння металу в результаті утворення вільного цементиту та видманштеттової структури, тобто такої структури сталі, в якій її компоненти (ферит, перліт) розташовуються за правильними геометричними площинами, які відповідають граням кристалічної решітки, утворюючи квадрати, ромби та трикутники на мікросхліфі [1, 4]. Зауважимо, до речі, що у вуглецевих сплавах прямолінійне орієнтування приймає ферит. І характерним тут є те, що при



такій структурі сталь перетворюється на дуже крихку субстанцію, погано витримує динамічні навантаги і стає непридатною для конструкцій більш-менш відповідального призначення внаслідок схильності до крихкого руйнування і корозійних пошкоджень.

ВПЛИВ ДЕФЕКТІВ І ПОШКОДЖЕНЬ НА ПРАЦЕЗДАТНІСТЬ ВИСОТНИХ СПОРУД

Спираючись на попередні міркування, а також із огляду на проведений в Українському інституті сталевих конструкцій імені В.М. Шимановського аналіз дефектів, пошкоджень й аварійності висотних споруд зв'язку, можна стверджувати наступне. Усі раніше перелічені фактори прямо чи опосередковано асоціюються з несвоєчасним обстеженням технічного стану споруд і неусуненням виявлених порушень, зумовлених помилками, які трапляються на етапах проектування, виготовлення, транспортування, монтажу та експлуатації [6]. Ілюструє сказане рис. 1, на якому зображені побудовані з урахуванням результатів низки обстежень графіки функціональних залежностей відмов N_f і руйнувань N_d висотних споруд зв'язку від різних факторів (F_f , F_d). Причому, з метою надання цьому рисунку більшої наочності та інформативності, на ньому по осі абсцис розташовано номери факторів, кожен із яких відповідає тому чи іншому виду відмов і руйнувань висотних споруд зв'язку, а саме: (I) – ураганний вітер; II – коливання; III – ожеледиця; IV – просідання фундаментів; V – дефекти матеріалів; VI – дефекти виготовлення; VII – дефекти монтажу; VIII – дефекти експлуатації; IX – дефекти конструктивних рішень; X – дефекти розрахунку та проектування; XI – непередбачувані обставини.

А далі потрібно зробити декілька актуальних зауваг як щодо виникнення нових факторів відмов і руйнувань висотних споруд об'єктів зв'язку, так і щодо застосування заборонених методів їх захисту.

Заувага перша. Вказані результати досліджень загалом досить реально відображають залежність ушкоджень від різноманітних чинників. Однак, останнім часом ці дані зазнали деяких змін через виникнення нових факторів, таких як «Демонтаж конструкцій сторонніми особами (вандалізм)» і «Зниження якості експлуатації», які набули досить значної ваги. Наприклад, для опор ліній електропередач зазначені фактори становлять відповідно 16,9 % і 16,0 %. А втім, для висотних споруд зв'язку ці значення все ж таки дещо нижчі, але вже сам факт їхньої наявності потребує особливої уваги.

Заувага друга. Нерідко застосовувані (хоча і заборонені чинними нормами) методи захисту споруд від вандалізму шляхом забивання різьблення на болтах вузлових з'єднань або заварювання гайок, хоча й попереджають певною мірою випадки вандалізму, але одночасно призводять до появи нових дефектів.

Зупинимось тепер детальніше на найбільш характерних прикладах дефектів висотних споруд зв'язку. І з цією метою розглянемо перший приклад – щоглу заввишки 239 м у м. Волочиськ Хмельницької області. Варто сказати, що під час проведення обстеження на цій щоглі було виявлено два суттєві дефекти на нерухомій траверсі стяжних муфт, перший з яких стосувався серйозних відхилень від проектних рішень при проведенні її монтажу, а другий – повної відсутності антикорозійного захисту (рис. 2). Останнє, до речі, також призвело до 30 % корозійних пошкоджень гвинтових тяг, що не тільки зменшило несну здатність відтяжок, але й, що само собою зрозуміло, виключило можливість їх натягу до проектних значень. І тому дана щогла була віднесена до категорії аварійно небезпечних споруд, а для відновлення її працездатності було розроблено проект реконструкції, у якому посилення траверси передбачено виконати із застосуванням тросових бандажів.

Другим прикладом дефектних висотних споруд зв'язку може слугувати щогла заввишки

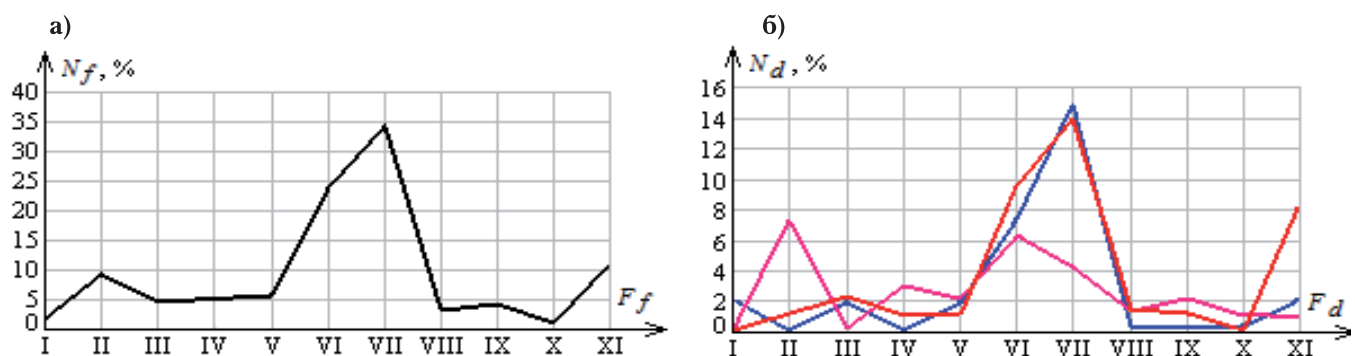


Рисунок 1 – Графіки функціональної залежності відмов $N_f = f(F_f)$ (а) і руйнувань $N_d = f(F_d)$ (б) висотних споруд зв'язку від різних факторів:

— повне руйнування; — часткове руйнування; — пошкодження



Рисунок 2 – Дефектні нерухомі траверси стяжних муфт

100 м у смт. Вовковинці Деражнянського району Хмельницької області, на якій під час проведення обстеження взагалі було встановлено цілий «букет» дефектів (зокрема, вельми грубих) проектування, виготовлення, монтажу та експлуатації конструктивних елементів щогли, що полягають у:

- відсутності гасників вібрації на відтяжках;
- дуже суттєвих відхиленнях від проектних рішень під час монтажу рухомої траверси та опорного вузла стовбура щогли, що пов'язано, приміром, із незакріпленням в опорному вузлі стовбура опорної плити від повороту (рис. 3, а);
- відсутності антикорозійного захисту рухомої траверси, гвинтових тяг, канатів і стовбура щогли;
- організації водовідведення з відхиленням від проектних рішень.

З урахуванням усього викладеного щогла була віднесена до категорії аварійно небезпечних споруд, а для відновлення її працездатності було розроблено проект реконструкції з повною заміною відтяжок і фундаментів.

Третій приклад дефектних висотних споруд зв'язку представлений вежею заввишки 53 м

у с. Яблуниця Надвірнянського району Івано-Франківської області. Тут варто звернути особливу увагу на те, що ця вежа, як з'ясувалося під час проведення обстеження, може виступати не лише показовим прикладом дефектної споруди, а й, за своєю сутністю, яскравим прикладом того, як «взагалі не треба робити» у будівництві. Зміст питання, що розглядається, полягає в тому, що ця вежа була змонтована неспеціалізованою організацією з використанням існуючих конструкцій бурової вежі. Тому в ній були виявлені численні дефекти монтажу та експлуатації багатьох конструктивних елементів, а саме: відсутність діафрагми жорсткості; виконання опорних плит усупереч вимогам нормативних документів із кількох зварених між собою листів (рис. 3, б); неякісне виконання зварних швів, що містять бугристість, непровари, тріщини, шлакові включення, раковини тощо, а також демонтаж деяких конструктивних елементів решітки (рис. 4). І в результаті вежа була віднесена до категорії аварійно небезпечних споруд. А для відновлення її працездатності внаслідок великої кількості виявлених дефектів і пошкоджень було розроблено об'ємний проект реконструкції.

а)



б)



Рисунок 3 – Дефекти опорних вузлів: а – щогли; б – вежі



Рисунок 4 – Дефекти конструктивних елементів решітки вежі

Черговим, четвертим за ліком прикладом дефектних висотних споруд зв'язку можна прийняти вежу заввишки 70 м поблизу с. Теревовля Терновлянського району Тернопільської області. Відразу ж наголосимо, що цього разу, на відміну від попереднього прикладу, вже сам проєкт вежі був розроблений неспеціалізованою організацією з використанням існуючих конструкцій бурової вежі ВМ-41. У зв'язку з чим, під час проведення обстеження на цій вежі знову ж таки були виявлені численні дефекти проєктування, монтажу та експлуатації багатьох конструктивних елементів. Причому, з усіх цих дефектів, із метою економії часу та місця, назвемо лише три найголовніші: відсутність діафрагми жорсткості, виконання вузлів вежі та її опорних підкосів із відхиленнями від вимог нормативних документів, а також розриви та тріщини завдовжки до 2000 мм у поясах трубчастого перерізу, утворенню яких сприяло безперешкодне потрапляння атмосферних опадів усередину поясів внаслідок неякісного виконання монтажних робіт. Тому цілком зрозуміло, що ця вежа була віднесена до категорії аварійно небезпечних споруд, а для відновлення її працездатності було розроблено відповідний проєкт реконструкції.

Далі розглянемо п'ятий приклад дефектних висотних споруд зв'язку, а саме вежу заввишки 180 м у районі м. Миколаєва. Тут під час проведення обстеження було встановлено факт перенапруженості вежі загалом, що стало наслідком її неправильної експлуатації через несанкціоноване розміщення додаткового устаткування. Якщо ж тепер безпосередньо охарактеризувати дефекти та пошкодження конструктивних

елементів вежі, набуті ними внаслідок цієї перенапруги, то деякі розкоси та розпірки її решітки перебували у деформованому стані. Втім, зважаючи на незначність виявлених дефектів, а також результати аналізу даних обстеження вежі, вона не була віднесена до категорії аварійно небезпечних споруд. Проте, відповідно до вимог нормативних документів, для неї було розроблено проєкт реконструкції, який передбачає встановлення додаткових і збільшення площі поперечних перерізів існуючих конструктивних елементів.

Зупинимося тепер на шостому прикладі дефектних висотних споруд зв'язку, що має у своєму складі відразу два багато в чому схожих об'єкта – щоглу заввишки 61 м у с. Лісова Слобідка Бердичівського району Житомирської області та щоглу заввишки 71 м поблизу с. Ценжів Івано-Франківського району Івано-Франківської області. Слід зазначити, що у цьому випадку, на відміну від усіх раніше розглянутих прикладів, під час проведення обстеження було виявлено дефекти проєктування і монтажу не металевих конструктивних елементів, проте анкерних фундаментів щогл. У цьому плані відзначимо, що зазначені фундаменти, виконані у вигляді плоских плит, через допущені помилки були розташовані не лише під гострим кутом до відтяжок, але і на незначній глибині залягання. У зв'язку з цим, надалі при натягуванні відтяжок в обох щоглах відбулося зрушення фундаментів по підшві. І саме з урахуванням цієї причини щогли, що розглядаються, були віднесені до категорії аварійно небезпечних споруд, а для відновлення їх працездатності були розроблені проєкти реконструкції, які передбачають поряд із збільшенням несної здатності фундаментів також їх довантаження додатковими залізобетонними блоками.

Наступним, уже сьомим, прикладом дефектних висотних споруд зв'язку може слугувати щогла заввишки 240 м, розташована у м. Резина Резинського району Республіки Молдова. Під час проведення обстеження на цій щоглі було встановлено, що вона експлуатувалася з дуже суттєвими відхиленнями від вимог відповідних технічних регламентів. Якщо ж говорити більш конкретно, то виявилось, що внаслідок відсутності постійного нагляду при ожеледиці на щоглі на позначці 200 м утворилася так звана «крижана бомба», ефект від падіння якої сильно нагадував наслідки від вибуху звичайної бомби. Отже, було зруйновано не лише майданчик обслуговування на позначці 100 м (рис. 5, а), але й також хвилевід та залізобетонне покриття технічної будівлі (рис. 5, б). І тому, що цілком зрозуміло, щогла була визнана аварійно небезпечною спорудою, а для відновлення її працездатності було розроблено проєкт реконструкції, який містить пропозиції щодо відновлення пошкоджених та зруйнованих конструктивних елементів.



а)



б)



Рисунок 5 – Руйнування конструктивних елементів щогли після падіння крижаної бомби:
а – майданчик обслуговування; б – хвилевід і залізобетонне покриття технічної споруди

Завершимо ж цю статтю розглядом досить характерного восьмого прикладу дефектних висотних споруд зв'язку – щогли заввишки 61,3 м у м. Кременець Кременецького району Тернопільської області. І відразу вкажемо на те, що тут під час проведення обстеження було виявлено дефекти проектування та монтажу стовбура та відтяжок щогли: викривлення стовбура перевищували встановлені нормативними документами значення, а також були відсутні гасники вібрації. Також було встановлено, що зазначені дефекти були ініціюючим фактором для виникнення при ожеледиці у відтяжках галопаючих коливань і, як наслідок, їх перенапруження. Тому, з метою виправлення ситуації, що склалася, і попередження розвинення подібних ефектів при подальшій експлуатації щогли та забезпечення її працездатності було розроблено проєкт її реконструкції, який передбачає зменшення розрахункової довжини існуючих відтяжок внаслідок використання страхуючих антивібраційних відтяжок. Однак у подальшому, внаслідок розміщення операторами зв'язку на щоглі додаткового антенного обладнання, початковий проєкт був замінений кардинально іншим проєктом, у якому замість одного існуючого було передбачено встановлення двох ярусів відтяжок. Через це, запропонований підхід дозволив не тільки усунути розвинення галопаючих коливань і перенапруження відтяжок, проте й одночасно вирішити проблему викривлення стовбура щогли.

ВИСНОВКИ

В статті розглянуто питання оцінювання впливу виявлених під час проведення обстежень дефектів і пошкоджень на працездатність висотних споруд, узагальнені висновки за результатами якого полягають у наступному:

1. Вплив дефектів і пошкоджень на технічний стан конструктивних елементів висотних споруд відображається залежністю, сутність якої полягає в тому, що гірші умови утримання призводять до більш напруженого стану.
2. Невиконання планових обстежень у встановлені нормативними документами строки й необхідних ремонтних заходів і поточних ремонтів призводить не тільки до пришвидшення розвинення деградаційних процесів і, як наслідок, до погіршення стану конструктивних елементів висотних споруд, а й до збільшення витрат на їх подальше відновлення.
3. Неусунення виявлених дефектів і пошкоджень конструктивних елементів висотних споруд суттєво впливає на надійність і довговічність як їх окремих елементів, так і споруди в цілому.
4. Зниження довговічності конструктивних елементів через недотримання правил утримання висотних споруд призводить до зменшення їх працездатності через введення неминучих експлуатаційних обмежень із метою унеможливлення виникнення непередбачуваних (аварійних) ситуацій.



БІБЛІОГРАФІЧНИЙ СПИСОК

1. Лахтин Ю.М., Леонтьева В.П. Материаловедение. Москва: Издательство «Машиностроение», 1972. 511 с.
2. Перельмутер А.В., Гордеев В.М., Горохов Є.В., Єгоров Є.А., Корольов В.П., Лантух-Лященко А.І., Оглобля О.І. Стан та залишковий ресурс фонду будівельних металевих конструкцій в Україні. Київ: Видавництво «Сталь», 2002. 166 с.
3. Ребров И.С. Усиление стержневых металлических конструкций. Ленинград: Издательство «Стройиздат», 1988. 288 с.
4. Трощенко В.Т., Красовский А.Я., Покровский В.В., Сосновский Л.А., Стрижало В.А. Сопротивление материалов деформированию и разрушению. Справочное пособие. Часть 1. Киев: Издательство «Наукова думка», 1993. 243 с.
5. Шимановский А. В., Гордеев В.Н., Королев В.П., Оглобля А.И., Рухович И.Р., Филатов Ю.В. Техническая диагностика и предупреждение аварийных ситуаций конструкций зданий и сооружений. Київ: Видавництво «Сталь», 2008. 463 с.
6. Шимановский А. В., Кондра М.П., Кондра С.М. Высотные сооружения. Теория и практика. Издание второе, переработанное и дополненное. Киев: Издательство «Сталь», 2015. 486 с.

REFERENCES

1. Lakhtin, Y. M., & Leontyeva, V. P. (1972). Materials Science. Moscow: Machine Building.
2. Perelmuter, A. V., Gordeev, V. M., Gorokhov, Ye. V., Yegorov, Ye. A., Koroliov, V. P., Lantukh-Lyashchenko, A. I., & Ogloblya, O. I. (2002). Condition and residual resource of the fund of building metal structures in Ukraine. Kyiv: Vydavnytstvo "Stal".
3. Rebrov, I. S. (1988). Strengthening of rod metallic structures. Leningrad: Izdatelstvo "Stroyizdat."
4. Troshchenko, V. T., Krasovskiy, A. Y., Pokrovskiy, V. V., Sosnovskiy, L. A., & Strizhalo, V. A. (1993). Resistance of materials to deformation and destruction. Reference manual. Part 1. Kyiv: Naukova dumka.
5. Shimanovsky, A. V., Gordeev, V. N., Korolev, V. P., Ogloblya, A. I., Rukhovich, I. R., & Filatov, Y. V. (2008). Technical diagnostics and prevention of emergency situations of building and structure constructions. Kyiv: Vydavnytstvo "Stal".
6. Shimanovsky, A. V., Kondra, M. P., & Kondra, S. M. (2015). High-rise structures. Theory and practice. Kyiv: Vydavnytstvo "Stal".

Стаття надійшла до редакції 03.10.2023 року



Doi: <https://doi.org/10.33644/2313-6679-4-2023-3>

УДК 624.012



БАРАБАШ М.С.

Доктор техн. наук, професор, професор кафедри комп'ютерних технологій будівництва та реконструкції аеропортів Національного авіаційного університету, Директор ТОВ «ЛІРА САПР», м. Київ, Україна, e-mail: bmari.lira@gmail.com, тел.: +38 (095) 286-39-90, ORCID: 0000-0003-2157-521X



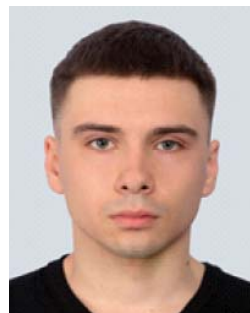
КОСТИРА Н.О.

Канд. техн. наук, доцент кафедри комп'ютерних технологій будівництва та реконструкції аеропортів Національного авіаційного університету, м. Київ, Україна, e-mail: nataliia.kostyra@npp.nau.edu.ua, тел. +38 (050) 357-45-52, ORCID: 0000-0001-5934-9563



МАКСИМЕНКО В.П.

Канд. техн. наук, с.н.с., завідувач лабораторією висотного і експериментального будівництва ДП «Науково-дослідний інститут будівельного виробництва», м. Київ, Україна, e-mail: valeriy.max@gmail.com, тел.: +38 (067) 501-33-42, ORCID: 0000-0002-2835-026X



БАРМІН І.В.

Аспірант кафедри комп'ютерних технологій будівництва та реконструкції аеропортів Національного авіаційного університету, м. Київ, Україна, e-mail: barmin499@gmail.com, тел.: +38 (099) 064-54-11, ORCID: 0009-0009-2610-3271

МОДЕЛЮВАННЯ ДИНАМІЧНИХ НАВАНТАЖЕНЬ ВИБУХОВОГО ТИПУ В ЗАДАЧАХ ДОСЛІДЖЕННЯ МІЦНОСТІ БУДІВЕЛЬНИХ КОНСТРУКЦІЙ З ВИКОРИСТАННЯМ ПК ЛІРА-САПР

АНОТАЦІЯ

У зв'язку із активними бойовими діями на території нашої країни кількість будівель та інженерних споруд, що зазнають впливу вибухових хвиль, кожного дня суттєво збільшується. Дослідження конструктивної безпеки та живучості несучих залізобетонних конструкцій при таких впливах є важливою задачею, особливо для об'єктів критичної інфраструктури.

Стаття присвячена аналізу критичних навантажень, які з'являються при вибуху, та аналізу ударних хвиль і характеру їх розповсюдження та впливу на будівлі. Розглядаються деякі пропозиції запобігання прогресуючому руйнуванню внаслідок влучання ракети. В тому числі пропонуються заходи підвищення живучості будівлі при можливому влучанні ракети.

У воєнний час стає необхідним розраховувати громадські та промислові будівлі на дію ударних хвиль при вибухах. Вибухові впливи можуть спричинити часткове, значне або повне руйнування будівель. Розраховувати несучі конструкції будівель таким чином, щоб вони гарантовано витримували дію всіх вірогідних загроз, неможливо, через їх невизначеність. Проте, можливо дослідити різні способи посилення надійності несучих конструкцій будівлі, щоб локальне руйнування не призводило до прогресуючого руйнування (або втрати стійкості).

В статті розглянуті різні види точкових вибухів – повітряний та наземний. Наведена схема утворення хвиль під час повітряного вибуху та характерна хвильова картина при наземному вибу-



ху. Проаналізовано розповсюдження хвиль при наземному вибуху. Наведена математична модель визначення параметрів ударної хвилі. Надано приклад розрахунку конструкції будівлі захисної споруди на вибухову хвилю у ПК LIRA-SAPR при дії поверхневого вибухового впливу. Приведені результати нелінійного розрахунку плити покриття на стійкість до обвалення при аварійному ударному впливі на площі до 80 м². Для моделювання нелінійного процесу навантажень використані фізично-нелінійні 4-х вузлові СЕ № 244 та 3-х вузлові СЕ № 242 при шаговому процесі навантаження, реалізованому в ПК LIRA-SAPR.

КЛЮЧОВІ СЛОВА: аварійний вибуховий вплив, живучість, стійкість, прогресуюче обвалення, LIRA-SAPR, нелінійний розрахунок, метод скінченних елементів, критичні навантаження, тріщиностійкість, пластичні шарніри, перерозподіл зусиль.

SIMULATION OF DYNAMIC EXPLOSIVE TYPE LOADS IN RESEARCH OF STRUCTURAL STRENGTH USING LIRA-SAPR SOFTWARE

ABSTRACT

Due to active hostilities on the territory of our country, the number of buildings and engineering structures experiencing the influence of blast waves increases significantly every day. Studying the structural safety and survivability of load-bearing reinforced concrete structures under influence is an important task, especially for critical infrastructure facilities.

The article is devoted to the analysis of critical loads that appear during an explosion and the analysis of shock waves and the nature of their distribution and impact on buildings. Some solutions for preventing collapse failure as a result of a missile hit are considered. In particular, measures are proposed to enhance the survivability of the building in the case of a possible missile hit.

During the war, it becomes necessary to design public and industrial buildings for the impact of shock waves during explosions. Explosive effects can lead to partial, significant or complete destruction of buildings. It is impossible to calculate the load-bearing structures of buildings in such a way that they are guaranteed to withstand all possible threats due to their uncertainty. However, it is possible to explore various ways to enhance the reliability of the building's load-bearing structures so that local failure does not lead to progressive failure (or loss of strength).

The article reviews different types of point explosions - air and ground. The scheme of wave formation during an air explosion and a characteristic wave pattern during a ground explosion are presented. Wave distribution during a ground explosion is analyzed. A mathematical model for determining the shock wave parameters is presented. An example of

calculating the structure of a building of a protective structure for a blast wave in the LIRA-SAPR software under the action of a surface blast is given. There are results of the nonlinear calculation of the roof slab on resistance to failure under emergency explosive impact on the area of up to 80 m². For modeling the nonlinear loading process, physically nonlinear 4-node FE No. 244 and 3-node FE No. 242 were used with a step-by-step loading process implemented in the LIRA-SAPR software complex.

KEYWORDS: emergency explosive impact, survivability, stability, collapse failure, LIRA-SAPR, nonlinear calculation, finite element method, critical loads, crack resistance, plastic joints, force redistribution

ВСТУП

У зв'язку із активними бойовими діями на території нашої країни кількість будівель та інженерних споруд, що зазнають впливу вибухових хвиль, кожного дня суттєво збільшується. Дослідження конструктивної безпеки та живучості несучих залізобетонних конструкцій при таких впливах є важливою задачею, особливо для об'єктів критичної інфраструктури.

Вибух є короткочасним процесом перетворення речовини з виділенням великої кількості енергії в невеликому обсязі. При вибуху в атмосфері виникають повітряні ударні хвилі, що поширюються у вигляді області стиснення-розрідження на своєму фронті тиску, температури, щільності та швидкості частинок середовища (масової швидкості). При вибухах компактного заряду вибухової речовини (ВР) довільної форми на відстанях, що перевищують декілька його характерних розмірів, ефективність дії ударної хвилі еквівалентна дії заряду сферичної форми. Форма фронту хвилі також є сферичною. Таким чином, форма заряду несуттєво позначається на параметрах повітряної ударної хвилі на відстанях, що становлять практичний інтерес. Крім того, маса заряду ВР на цих відстанях виявляється несуттєвою в порівнянні з масою сферичного обсягу повітря (за фронтом ударної хвилі), що залучається до руху. Ці обставини призводять до певної абстракції, що полегшує постановку та вирішення завдання щодо розрахунку параметрів ударних хвиль – схеми «точкового вибуху».

ПОСТАНОВКА ЗАВДАННЯ

У воєнний час стає необхідним розраховувати громадські та промислові будівлі на дію ударних хвиль при вибухах. Вибухові впливи можуть спричинити часткове, значне або повне руйнування будівель. Розраховувати несучі конструкції будівель таким чином, щоб вони гарантовано витримували дію всіх вірогідних загроз, немож-



ливо, через їх невизначеність. Проте, можливо дослідити різні способи посилення надійності несучих конструкцій будівлі, щоб локальне руйнування не призводило до прогресуючого руйнування (або втрати стійкості).

АНАЛІЗ ОСТАННІХ ДОСЛІДЖЕНЬ І ПУБЛІКАЦІЙ

Питанням розробки методів запобігання прогресуючого обвалення присвячені праці В.О. Алмазова [1], А.Н. Бирбраера [2], М.С. Барабаш, А.С. Городецького, В.П. Максименко, [3 - 7], Немчинова Ю.І. [8, 9], Б.С. Расторгуєва [10], К.Н. Мутки, зарубіжних вчених G. Powell [11], J.R. Gilmour та K.S. Viridi [12], G. Kaewkulchai і E.V. Williamson та A.J. Pretlove [13], M. Ramsden та A.G. Atkins [14], B.A. Izzudin, A.G. Vlassis, A.Y. Elghazouli, D.A. Nethercot [15] та інших. У працях показаний вплив динамічного ефекту під час прогресуючого обвалення, яке зменшується при збільшенні пластичних деформацій.

У статті вчених A.J. Pretlove, M. Ramsden та A.G. Atkins [14] поставлена задача про необхідність врахування динамічного перерозподілу зусиль під час розрахунку на прогресуюче обвалення. Автори доводять неточність статичного розрахунку та його непридатність для запобігання прогресуючого руйнування. G. Kaewkulchai та E.V. Williamson [13] на прикладних задачах доводять необхідність врахування динамічних ефектів. J.R. Gilmour та K.S. Viridi [12] для аналізу обвалення плоскої залізобетонної рами використовували тривимірний квазістатичний нелінійний елемент. Б.С. Расторгуєв [10] запропонував методи забезпечення живучості будівлі на основі динамічного розрахунку конструкції багатопверхового плоского каркасу при видаленні колони деякого поверху в двох випадках: прогресуюче обвалення частини будівлі та втрата загальної стійкості будівлі.

ВИКЛАД ОСНОВНОГО МАТЕРІАЛУ

В статті розглянемо різні види точкових

вибухів, а саме такі як повітряний та наземний. Задача впливу на несучі конструкції точкового вибуху з урахуванням протитиску постає, коли вибух відбувається на певній відстані від об'єкту і тиск вибухової хвилі можна порівняти з атмосферним тиском. Така задача може бути вирішена лише чисельними методами в програмних модулях сучасних САПР. Задачу про точковий вибух формують для трьох видів симетрії: сферичної, циліндричної та плоскої. Циліндрична симетрія відноситься до зарядів, розподілених уздовж прямої, а плоска – до зарядів, розташованих у певній площині. Ефект дії ударних хвиль залежить як від виду симетрії, так і від розташування точки (лінії, площини) вибуху щодо земної поверхні. При повітряному вибуху ударна сферична хвиля досягає земної поверхні та відбивається від неї (рис. 1). На деякій відстані від епіцентру вибуху (проекції центру вибуху на земну поверхню) фронт відбитої хвилі збігається з фронтом падаючої, внаслідок чого утворюється головна хвиля з вертикальним фронтом, що поширюється від епіцентру вздовж земної поверхні. Близня зона, де відсутнє злиття фронтів, називається зоною регулярного відбиття, а дальня зона, у якій поширюється головна хвиля, – зоною нерегулярного відбиття (нижче траєкторії потрійної точки злиття трьох фронтів). У ближній зоні при помірній висоті вибуху тиск в ударній хвилі дуже великий. Тому найбільший інтерес становлять дані про ударну хвилю в дальній зоні.

Характер повітряної ударної хвилі при наземному вибуху (за межами вирви) відповідає дальній зоні повітряного вибуху. Таким чином, як при повітряному, так і наземному вибухах зазвичай розглядають повітряну ударну хвилю, що поширюється від епіцентру з вертикальним фронтом. Характерна хвильова картина при наземному вибуху наведена на рис. 1.б. У двошаровому ґрунтовому масиві енергія вибуху, передана ґрунту, викликає пряму вибухову хвилю 1.

Повітряна ударна хвиля В, що поширюється

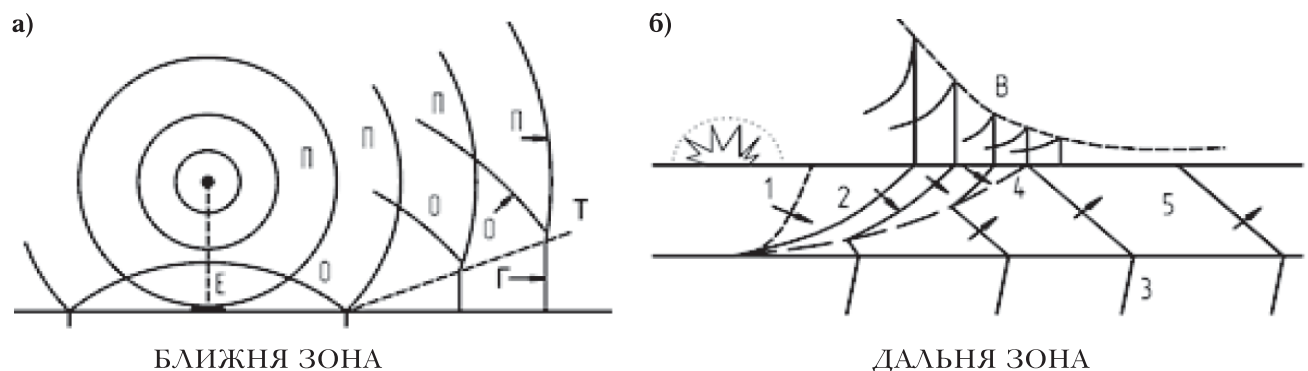


Рисунок 1 – а – Схема утворення хвиль під час повітряного вибуху: Е – епіцентр вибуху; П – фронт падаючої хвилі; 0 – фронт відбитої хвилі; Г – фронт головної ударної хвилі; Т – траєкторія потрійної точки. б – Розповсюдження хвиль при наземному вибуху: 1 – пряма вибухова хвиля; 2 – хвиля стиснення; 3 – заломлена хвиля; 4 – траєкторія вибухової хвилі; 5 – випереджальний режим



вздовж поверхні ґрунту, сповільнюється, а її інтенсивність зменшується, що викликає в м'якому шарі хвилю стиснення, режим якої 2 на траєкторії 4 переходить в випереджальний режим 5. Крім того, утворюється заломлена хвиля 3. При досить потужному м'якому ґрунтовому шарі нахил хвилі стиснення дуже малий, тоді її фронт майже паралельний поверхні ґрунту.

З моменту приходу фронту повітряної ударної хвилі в точку на земній поверхні тиск різко підвищується до максимального значення P_ϕ (рис. 2), а потім зменшується до атмосферного P_0 і нижче атмосферного. Період τ_+ підвищеного надлишкового (понад атмосферного) тиску $\Delta P = P - P_0 > 0$ є фазою стиснення, а період τ зниженого тиску $\Delta P < 0$ – фазою розрідження. Одночасно з тиском в ударній хвилі виникає рух повітря від епіцентру вибуху. Закони зміни масової швидкості v і щільності ρ середовища в часі якісно аналогічні зміні тиску, проте внаслідок інерційності повітряного потоку період $\tau_{(+ск)}$ позитивної фази швидкісного напору $P_{ск} = 1/2 \cdot \rho v^2$ дещо більше, ніж τ_+ . Надлишковий тиск у хвилі та швидкісний напір є найважливішими характеристиками ударної хвилі, що визначають ефект її впливу на споруду.

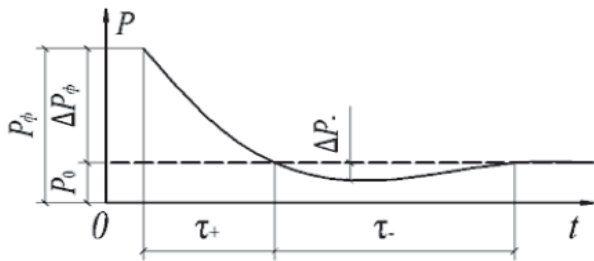


Рисунок 2 – Зміна тиску в ударній хвилі з часом у фіксованій точці

Основними параметрами, що визначають інтенсивність ударної хвилі, є надлишковий тиск на фронті ΔP_ϕ та тривалість фази стиснення τ_+ . Ці параметри залежать від маси C заряду ВР (вибухової речовини) певного типу (тобто енергії вибуху), висоти H , умов вибуху та відстані R від епіцентру.

Параметри повітряної ударної хвилі визначають за формулами М. А. Садовського [16], у яких вид вибухової речовини враховується тротиловим еквівалентом щодо ударної хвилі.

Тиск ΔP_ϕ , МПа, для сферичної повітряної ударної хвилі, яка вільно розповсюджується, визначають за формулою:

$$\Delta P_\phi = \frac{0,084}{\bar{R}} + \frac{0,27}{\bar{R}^2} + \frac{0,7}{\bar{R}^3}, \quad (1)$$

де \bar{R} – рівність параметрів на фронті хвилі на рівних «наведених» відстанях,

$$\bar{R} = \frac{R}{\sqrt[3]{C}}, \quad (2)$$

де C – тротиловий еквівалент; R – відстань до епіцентру вибуху.

Максимальний надлишковий тиск на поверхні землі при повітряному вибуху залежить від висоти вибуху H , проте при вибухах на невеликій висоті та на відстанях $R > H$ (дальня зона) максимум тиску приблизно можна оцінити за формулою (1).

Тривалість фази стиснення τ_+ , с для наземного і приземного вибухів визначають за формулою:

$$\tau_+ = 1,5 \cdot 10^{-3} \sqrt[6]{C} \sqrt{R}. \quad (3)$$

Якщо відомою вважати величину P_ϕ (або ΔP_ϕ), яка може бути отримана, наприклад, за формулою (1), інші три параметри на фронті ударної хвилі визначають з наступних виразів:

$$v_\phi = \frac{C_0 \Delta P'_\phi \gamma^{-1}}{\sqrt{1 + \frac{1}{2} \Delta P'_\phi (\gamma + 1) / \gamma}} \quad (4)$$

де v_ϕ – швидкість фронту ударної хвилі;

$$D_\phi = C_0 \sqrt{1 + \frac{1}{2} \Delta P'_\phi (\gamma + 1) / \gamma} \quad (5)$$

де D_ϕ – швидкість поширення фронту ударної хвилі;

$$\rho_\phi = \frac{\rho_0 \left[1 + \frac{1}{2} \Delta P'_\phi (\gamma + 1) / \gamma \right]}{\left[1 + \frac{1}{2} \Delta P'_\phi (\gamma - 1) / \gamma \right]} \quad (6)$$

де ρ_ϕ – густина фронту ударної хвилі, C_0 – швидкість звуку в атмосфері, $\Delta P'_\phi = \Delta P_\phi / P_0$

Швидкісний натиск ударної хвилі:

$$P_{скф} = \frac{1}{2} \rho_\phi v_\phi^2 = \frac{\Delta P_\phi \Delta P'_\phi}{\left[(\gamma - 1) \Delta P'_\phi + 2\gamma \right]} \quad (7)$$

Температуру T_ϕ на фронті ударної хвилі визначають за формулою:

$$T_\phi = \frac{T_0 (1 + \Delta P'_\phi) \rho_0}{\rho_\phi} \quad (8)$$

Параметри з індексом 0 зазвичай приймають за даними міжнародної стандартної атмосфери лише на рівні моря (МСА): $P_0 = 0,101325$ МПа, $\rho_0 = 1,2249$ кг/м³, $T_0 = -288,16$ К.

ПРИКЛАД РОЗРАХУНКУ КОНСТРУКЦІЙ БУДІВЛІ НА ВИБУХОВУ ХВИЛЮ У ПК ЛІРА-САПР

Для захисної споруди розглянуто поверхневий



вибуховий вплив на бетонну оболонку товщиною 1,75 м до 20 тс/м² ударного навантаження.

При моделюванні прийнято допущення, що до 30 % вибухового впливу сприймає захисна оболонка, та до 20 % – демпфування ґрунтової засипки товщиною 7,0 м на покритті споруди. Перевіряється міцність та стійкість залізобетонної плити покриття споруди товщиною 60,0 см з обпиранням на сталеві балки висотою 1,65 м та споруди загалом (рис. 3, 4).

Нерівномірний розподіл тиску на плиту від 10 до 1 тс/м² прийнятий, виходячи з даних таблиць розповсюдження вибухового тиску за ДБН В.2.2-5:2023 «Захисні споруди цивільного захисту» [19]. Характеристики можливих ударних впливів прийняті у відповідності з технічним завданням. Найбільшу вагу вибухової речовини відповідно до технічного завдання складає ракета Х22, тоді найбільша вага вибухової речовини дорівнює 630 кг. При цьому найбільше значення еквіваленту тротилу буде складати:

$$W = 1,37 \times 630 = 863,1 \text{ кг.}$$

Приведені результати нелінійного розрахунку плити покриття на стійкість до обвалення при аварійному ударному впливі на площі до

80 м² (рис.5). Методика нелінійного розрахунку залізобетону з тріщинами наведена в [17, 18]. Для моделювання нелінійного процесу навантажень використані фізично-нелінійні чотирихвужлові СЕ № 244 та тривужлові СЕ № 242 при шаговому процесі навантаження, реалізованому в ПК ЛІРА-САПР (закон деформування бетону С 32/40 (важкий) – експоненціальний № 21, арматури – білінійний № 14 та типи основного та додаткового армування).

Максимальний непружний перекіс f_{max} споруди при аварійному вибуховому впливі на плиту покриття за різними напрямками становить: $X_1 = 4,37$ мм, $X_2 = -5,1$ мм, $Y_1 = -6,9$ мм, $Y_2 = 7,76$ мм, $Z_1 = -48,2$ мм, $Z_2 = 1,43$ мм, та обчислюється за формулою (9) (рис. 6).

$$f_{max} = K_{над} \times \sqrt{(X_1 + X_2)^2 + (Y_1 + Y_2)^2 + (Z_1 + Z_2)^2}, \quad (9)$$

де $K_{над}$ – коефіцієнт надійності.

$$f_{max} = 1,05 \times \sqrt{(9,47)^2 + (14,66)^2 + (49,63)^2} = 55,24 \text{ мм;}$$

$H = 17,15$ м при допустимому $f_u = 1/150$ для бетонних конструкцій по ДБН В.2.6-98:2009 [20]:

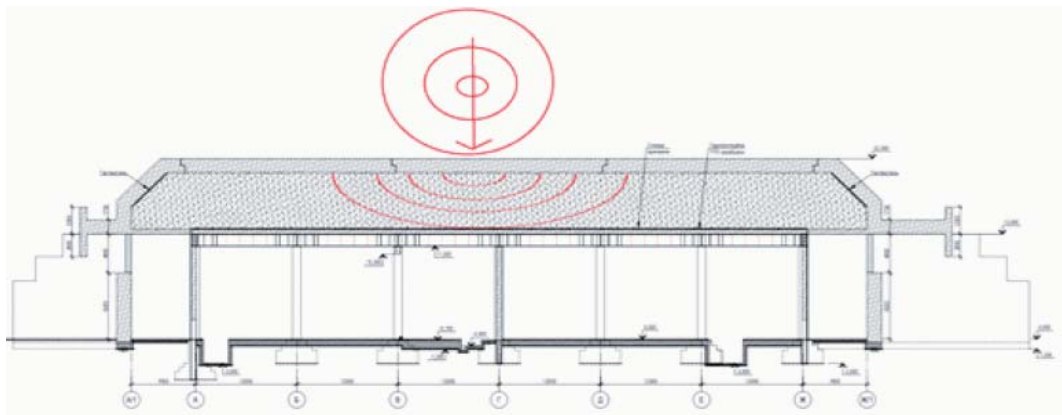


Рисунок 3 – Схема впливу вибухового навантаження на захисну споруду

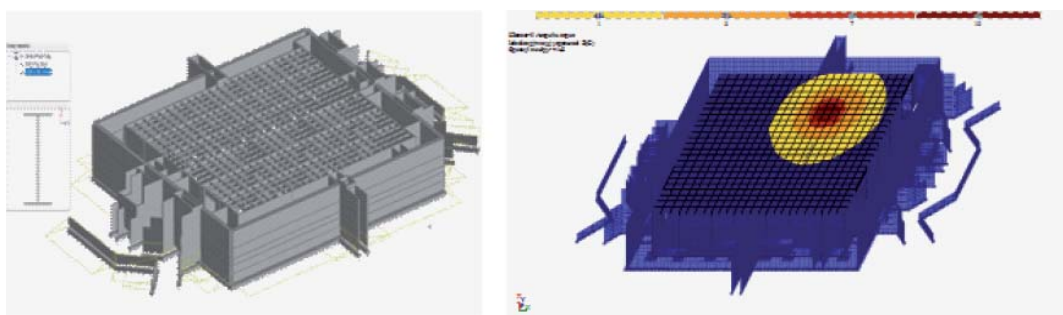


Рисунок 4 – Тривимірний вид моделі та розподілений вибуховий вплив на плиту покриття

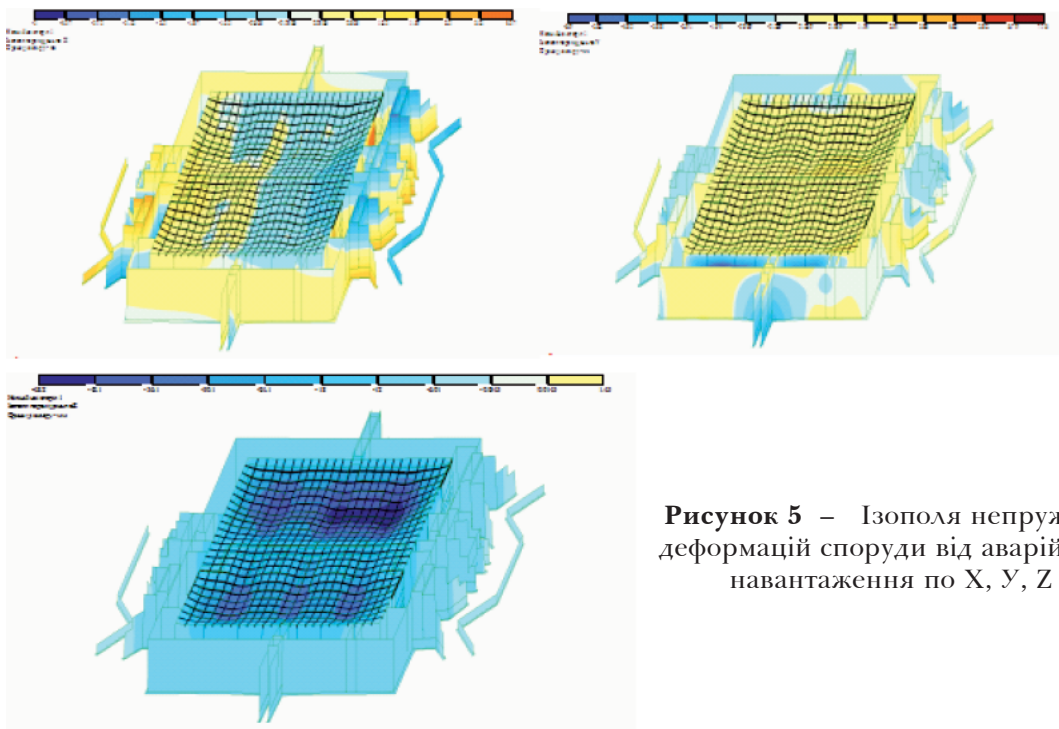


Рисунок 5 – Ізополя непружних деформацій споруди від аварійного навантаження по X, Y, Z

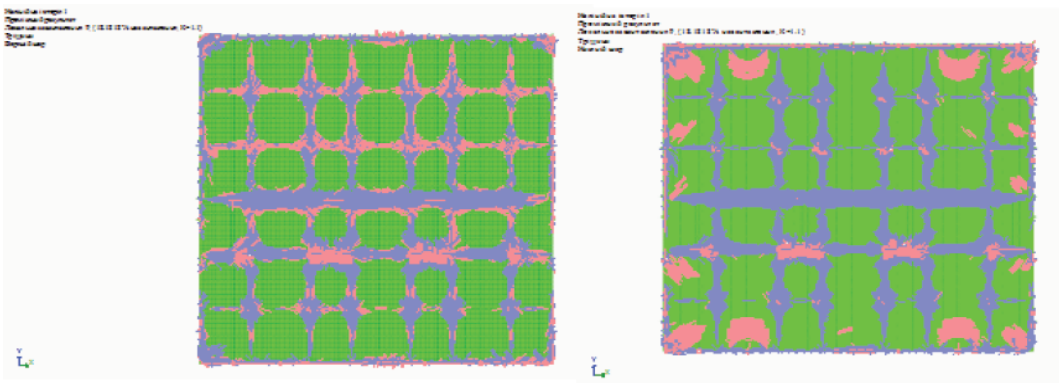


Рисунок 6 – Тривимірний вид моделі та розподілений вибуховий вплив на плиту покриття

$$\frac{f_{\max}}{H} = \frac{0,05524}{17,15} = 0,003156556 = \frac{1}{316,8} < \frac{1}{150},$$

що менше допустимого.

В плиті покриття розвиваються верхні та нижні зони тріщин та утворюються пластичні шарніри, але розрив арматури в нижній зоні плити та прогресуючого обвалення не зафіксовано (рис. 6). Тому можна стверджувати, що при такому аварійному вибуховому впливі на плиту покриття при наявності захисного «тюфяка» загальна стійкість до обвалення забезпечується.

ВИСНОВКИ ТА РЕКОМЕНДАЦІЇ

Розрахунок споруди при ударному впливі на плиту покриття на стійкість до прогресуючого обвалення при додатковому навантаженні до

20 тс/м² (при врахуванні демпфування ґрунтової основи до 20 %) на площі до 80,0 м² з коефіцієнтом динамічності 1,2 по ПК ЛІРА-САПР в фізично-нелінійній постановці свідчить, що в плиті розвиваються зони тріщин і утворюються пластичні шарніри, максимальні деформації плити перевищують 50 мм. При цьому розрив арматури в нижній зоні плити не зафіксовано. Отримані результати вказують, що експлуатаційна придатність плити не забезпечується, але подальше прогресуюче обвалення плит не відбувається при забезпеченні армування: в нижньому шарі плити в середині прольоту не менше 25,76 см²/пм (Ø 16 мм кроком 200 мм + Ø 20 мм кроком 200мм при товщині плити 60см); в верхньому шарі плити над стінами не менше 34,59 см²/пм (Ø 16 мм кроком 200 мм + Ø 25 мм кроком



200 мм) та при забезпеченні необхідної за розрахунком довжини зони анкерування арматури.

Максимальний непружний перекис споруди при аварійному вибуховому впливі на плиту покриття становить 55,24 мм (1/317), що менше допустимого по ДБН В.2.6-98:2009 для залізобетонних конструкцій.

БІБЛІОГРАФІЧНИЙ СПИСОК

1. Алмазов В.О. Залізобетонні каркаси без прогресуючої руйнації. Москва: МГСУ, 2008. 32 с.
2. Бирбраер А.Н. Екстремальні впливи на споруди. Санкт-Петербург: Издательство Политехнического университета, 2009. 594 с.
3. Барабаш М.С. Дослідження стійкості конструкцій будівель та споруд до прогресуючого руйнування при аварійних впливах. Науково-технічний журнал: Нові технології в будівництві. 2010. № 2 (20). С.19–23.
4. Varabash M.S., Kostyra N.O., Pysarevskiy V.Y. Strength-strain state of the structures with consideration of the technical condition and changes in intensity of seismic loads IOP Conference Series: Materials Science and Engineering. 2019. № 708. URL: <https://iopscience.iop.org/article/10.1088/1757-899X/708/1/012044>
5. Барабаш М.С., Костира Н.О., Томашевський А.В. Визначення напружено-деформованого стану та міцності пошкоджених несучих конструкцій інструментами ПК «LIRA-SAPR». Український журнал будівництва та архітектури. 2022. № 1(007). С. 7-14. URL: <https://doi.org/10.30838/J.VPSACEA.2312.220222.7.827>
6. Максименко В.П., Барабаш М.С., Писаревський Б.Ю. Методика оцінки напружено-деформованого стану конструкцій будівлі на основі методу підсистем. Науково техн. журнал «Будівельне виробництво». 2021. № 71.
7. Varabash M., Pisarevskiy V., Bashinsky Ya. Material damping in dynamic analysis of structures (with LIRA-SAPR program). Civil and Environmental Engineering, 2020. № 16 (1). P. 63-70.
8. Немчинов Ю.И. Природные и техногенные опасности. Аварии и их последствия. Київ: ДП НДІБК, 2020. 300с.
9. Немчинов Ю.И., Мар'єнков Н.Г. Хавкін А.К., Бабік К.М. Проектування будівель із заданим рівнем забезпечення сейсмостійкості. Київ: Гудименко С.В., 2012. 384 с.
10. Расторгуев Б.С. Деформування конструкцій перекриттів каркасних будівель після раптового руйнування однієї колони. Сейсмостійке будівництво. Безпека споруд, 2006. № 1. С. 12–15.

11. Powell, Graham. Progressive Collapse: Case Studies Using Nonlinear Analysis. SEAOC Annual Convention, Monterey, August, 2004. 14 p.
12. Gilmour J.R., Viridi K.S. Numerical modelling of the progressive collapse of framed structures as a result of impact or explosion. 2nd International PhD Symposium in Civil Engineering. Budapest, 1998.
13. Kaewkulchai G., Williamson E.B. Beam element formulation and solution procedure dynamic progressive collapse analysis. Journal "Computer and Structures". 2004. № 82. P. 639–651.
14. Pretlove A.J., Ramsden M. and Atkins A. G. Dynamic Effects in Progressive Failure of Structures. International Journal of Impact Engineering. 1991. № 11(4). P.539–546.
15. Izzudin B.A., Vlassis A.G., Elghazouli A.Y., Nethercot D.A. Progressive collapse of multi-storey buildings due to sudden column loss. Part I. Simplified assessment framework. Engineering structures. 2008. № 30 (5). P. 1308-1318.
16. Izzudin B.A., Vlassis A.G., Elghazouli A.Y., Nethercot D.A. Part II: Application. Engineering structures. 2008. № 30 (5). P. 1424–1438.
17. Садовский М.А. Выбранные работы. Геофизика та фізика вибуху. Москва: Наука, 2004. 440с.
18. ДБН В.1.1-7:2016. Пожежна безпека об'єктів будівництва. Загальні вимоги. Київ: Міністерство регіонального розвитку, будівництва та житлово-комунального господарства України, 2017. 39с.
19. ДСТУ-Н Б EN 1992-1-2:2012. Єврокод 2. Проектування залізобетонних конструкцій. Загальні положення. Київ: Міністерство регіонального розвитку, будівництва та житлово-комунального господарства України, 2013. 115с.
20. ДБН В.2.2-5:2023. Захисні споруди цивільного захисту. Київ: Міністерство розвитку громад, територій та інфраструктури України, 2023. 119с.
21. ДБН В.2.6-98:2009. Конструкції будинків і споруд. Бетонні та залізобетонні конструкції. Основні положення. Київ: Міністерство регіонального розвитку, будівництва та житлово-комунального господарства України, 2011. 71с.

REFERENCES

1. Almazov V. O. (2008). Reinforced concrete frames without progressive collapse. Moscow: MGSU.
2. Birbraer A. N. (2009). Extreme impacts on structures. St. Petersburg: Polytechnic University Publishing House.



3. Barabash M. S. (2010). Continuing the stability of structures built up before the progressive collapse during emergency inflows. *Scientific and technical journal: New technologies in everyday life*, 2(20), 19–23.
4. Barabash, M. S., Kostyra, N. O., & Pysarevskiy, B. Y. (2019). Strength-strain state of the structures with consideration of the technical condition and changes in intensity of seismic loads. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, 708, 012044. Retrieved from <https://iopscience.iop.org/article/10.1088/1757-899X/708/1/012044>
5. Barabash M.S., Kostyra N.O. & Tomashevsky A.V. (2022). The value of stress-strain resistance of damaged load-bearing structures using PC “LIRA-SAPR” tools. *Ukrainian magazine of everyday life and architecture*, 1(007), 7-14. <https://doi.org/10.30838/J.BPSACEA.2312.220222.7.827>
6. Maksymenko V. P., Barabash M. S. & Pisarevsky B. Yu. (2021). Methodology for assessing the stress-strain structure of a structure based on the Subsystem method. *Scientific and Technical Journal "Budivne Virobnitstvo"*, 71. ISSN: 2524-2555
7. Barabash M., Pisarevskiy B. & Bashinsky Ya. (2020). Material damping in dynamic analysis of structures (with LIRA-SAPR program). *Civil and Environmental Engineering*, 16 (1), 63-70.
8. Nemchynov, I. (2021). Building Science and Seismic Safety Provision in Ukraine Considering Eurocode Recommendations. *Science and Construction*, 29 (3), 3-14. Retrieved from <https://doi.org/10.33644/2313-6669-14-2021-12>.
9. Nemchinov, Y.I., Marienkov, N.G., Khavkin, A.K., Babik, K.M. (2012). *Design of Buildings with a Specified Level of Seismic Resistance*. Kyiv: Hudymenko S.V.
10. Rastorguev B. S. (2006). Deformation of the floor constructions of frame structures after rapt ruination of one column. *Seismic engineering. Safety of building objects*, 1, 12–15.
11. Powell, Graham. (2004). *Progressive Collapse: Case Studies Using Nonlinear Analysis*. Monterey: SEAOC Annual Convention.
12. Gilmour J.R., Viridi K.S. (1998). Numerical modelling of the progressive collapse of framed structures as a result of impact or explosion. 2nd International PhD Symposium in Civil Engineering, Budapest 1998.
13. Kaewkulchai G., Williamson E.B. (2004). Beam element formulation and solution procedure dynamic progressive collapse analysis. *Journal "Computer and Structures"*, 82, 639–651.
14. Pretlove A.J., Ramsden M. and Atkins A.G. (1991). *Dynamic Effects in Progressive Failure of Structures*. *International Journal of Impact Engineering*, 11 (4). P. 539–546.
15. Izzudin, B. A., Vlassis, A. G., Elghazouli, A. Y., & Nethercot, D. A. (2008). Progressive collapse of multi-storey buildings due to sudden column loss. Part I. Simplified assessment framework. *Engineering Structures*, 30(5), 1308-1318.
16. Izzudin, B. A., Vlassis, A. G., Elghazouli, A. Y., & Nethercot, D. A. (2008). Part II: Application. *Engineering Structures*, 30(5), 1424–1438.
17. Sadovsky M. A. (2004). *The selected works. Geophysics and physics of explosion*. Moscow: Nauka.
18. DBN V.1.1-7:2016. (2017). *Fire safety of Construction Objects. General Requirements*. Kyiv: Ministry of Regional Development, Construction and Housing and Communal Services of Ukraine.
19. DSTU N B EN 1992-1-2:2012. (2013). *Eurocode 2. Design of reinforced concrete structures*. Kyiv: Ministry of Regional Development, Construction and Housing and Communal Services of Ukraine.
20. DBN V.2.2-5:2023. (2023) *Civil defense protective structures*. Kyiv: Ministry of Community, Territories and Infrastructure Development of Ukraine.
21. DBN V.2.6-98:2009. (2011). *Constructions of buildings and structures. Concrete and reinforced concrete structures. Basic provisions*. Kyiv: Ministry of Regional Development, Construction and Housing and Communal Services of Ukraine.

Стаття надійшла до редакції 01.10.2023 року



Doi: <https://doi.org/10.33644/2313-6679-4-2023-4>

УДК 550.34:69.07:338.2



BEZUSHKO D.

Ph.D., associate professor, Odesa Polytechnic National University, associate professor of the Department of Design and Information Technologies, Ukraine,
tel.: +380630145394,
e-mail: dibezushko@gmail.com,
ORCID: 0000-0003-2215-1136



CHEN JIYE

Ph.D., Reader, School of Civil Engineering and Surveying, University of Portsmouth, UK,
ORCID: 0000-0002-2817-5211

A NUMERICAL INVESTIGATION OF THE INFLUENCE OF THE EXTERNAL FIBRE COMPOSITE REINFORCEMENTS ON DAMAGED CONCRETE ELEMENTS UNDER COMPRESSION

ABSTRACT

The need for restoration and reinforcement of building structures damaged as a result of war and combat activities is noted in the paper. It has been determined that one of the methods for reinforcing concrete and reinforced concrete structures is the use of external reinforcement with fiber-reinforced composite materials, particularly carbon fibers. The paper considers the advantages and disadvantages of using this method. The main part of the article deals with methodology of numerical research, in which the finite element method and a nonlinear concrete deformation model implemented in the LIRA-SAPR software complex are used. The aim of the work is to determine the influence of external carbon fiber reinforcement on the behavior of a compressed concrete element and the optimization of parameters for the minimum necessary amount of materials, namely the length and thickness of the reinforcement.

The main test specimens included: a control specimen without damage; a specimen with damage and without reinforcement; three series of specimens with damage and external reinforcement of different thicknesses and lengths. SikaWrap®-231 C carbon fiber fabric was used for reinforcement with Sikadur®-300 adhesive mixture. Loads were applied at nodes on the upper surface of the test specimen.

In the numerical studies, volumetric finite elements and a nonlinear concrete deformation model 21 - exponential sequence for concrete were used to model concrete and reinforcement material. The calculation was performed taking into account the physical nonlinearity of concrete with the implementation of the step-by-step method during loading, with a total of 20 steps and a load increment value of 0.05 for each step.

Using the linear programming method, the optimal reinforcement parameters were determined to achieve the minimal use of external reinforcement materials. As a result of the calculations, the required area of external reinforcement $A_y=206.4 \text{ mm}^2$ was obtained from four layers, with a total thickness of $t=0.516 \text{ mm}$, and the minimum size of the external reinforcement $B \geq 1.3A$.

KEYWORDS: reinforcement, carbon fiber, finite element method, stress-strain state, concrete.

ЧИСЛОВІ ДОСЛІДЖЕННЯ ВПЛИВУ ЗОВНІШНЬОГО ПІДСИЛЕННЯ КОМПОЗИТНИМИ МАТЕРІАЛАМИ СТИСНУТОГО БЕТОННОГО ЕЛЕМЕНТУ З ПОШКОДЖЕННЯМ

АНОТАЦІЯ

У роботі зауважується необхідність відновлення та підсилення будівельних конструкцій, пошкод-



жених внаслідок війни та бойових дій. Визначено, що одним із методів підсилення бетонних та залізобетонних конструкцій є застосування зовнішнього армування з волоконно-композитних матеріалів, зокрема вуглецевих волокон. У роботі розглянуто переваги та недоліки застосування цього методу. Основна частина статті присвячена методології числового дослідження, в якому використано метод скінченних елементів та модель нелінійної деформації бетону, що реалізовано в програмному комплексі LIRA-SAPR. Мета роботи – визначити вплив підсилення зовнішнім армуванням з вуглецевого волокна на роботу стиснутого бетонного елемента та оптимізацію параметрів за мінімально необхідною кількістю матеріалів, а саме довжину та товщину підсилення. Основні випробувальні зразки включали: контрольний зразок без пошкоджень; зразок з пошкодженням та без підсилення; три серії зразків з пошкодженнями та зовнішнім армуванням різної товщини та довжини. В якості армування використовувалася тканина з вуглецевого волокна SikaWrap®-231 C на клейовій суміші Sikadur®-300. Навантаження прикладалися у вузли по верхній грані дослідного зразка. У числових дослідженнях для моделювання бетону та матеріалу підсилення використано об'ємні скінченні елементи та нелінійну модель деформування бетону 21 – exponential sequence for concrete. Розрахунок виконувався з врахуванням фізичної нелінійності бетону з організацією крокового методу при навантаженні, всього 20 кроків зі значенням приросту навантаження 0,05 на кожен крок. За допомогою методу лінійного програмування було встановлено оптимальні параметри армування для досягнення мінімального використання матеріалів зовнішнього армування. В результаті розрахунків отримано необхідну площу зовнішнього армування $A_y=206.4 \text{ мм}^2$ з чотирьох шарів загальною товщиною $t=0,516 \text{ мм}$, при цьому мінімальний розмір зовнішнього армування $B \geq 1.3A$.

КЛЮЧОВІ СЛОВА: підсилення, вуглецеве волокно, метод скінченних елементів, напружено-деформований стан, бетон.

INTRODUCTION

The website of the "Russia will pay" project, published data on the material damage caused by Russia's war against Ukraine: "The largest share in the total amount of direct damage belongs to residential buildings (37.1 % or \$55.9 billion) and infrastructure (24.3 % or \$36.6 billion)" [1, 2]. A huge number of damaged buildings are in a state of emergency or not suitable for normal operation. There is an urgent need to restore and strengthen the load-bearing structures in such buildings. One of the methods of strengthening concrete and reinforced concrete structures is the applications

of carbon fiber composite materials as an external reinforcement. Among the normative documents in Ukraine, there are no standards for determining the physical and mechanical properties of carbon fiber products, and in the recommendations for the use of composite materials of the SIKA company for strengthening damaged concrete structures, little attention is paid to compressed elements. Therefore, we believe that numerical studies of the influence of the external fibre composite reinforcements on damaged concrete elements are needful and timely. Analyzing the works [3, 4, 5, 6, 7 etc.], the following advantages and disadvantages of using external composite reinforcement can be formulated: high strength, fatigue resistance, resistance to corrosion and aging, speed and ease of reinforcement work, the ability to perform reinforcement of any shape, and maintaining the aesthetic appearance of reinforced elements. However, despite these benefits, they have their drawbacks, such as high cost, anisotropy of properties, low strength in the transverse direction, and the complexity of manufacturing fibers and specialized equipment.

MAIN PART

The purpose of the work is to determine the influence of reinforcement with external carbon fiber composites on the operation of a compressed concrete element, and to optimize the parameters according to the minimum required amount of materials, namely the length and thickness of the reinforcement. The finite element method implemented in the LIRA-SAPR software complex was used to analyze the stress-strain state of concrete samples including damaged concrete samples with external fibre composite reinforcements.

In this investigation, volumetric finite elements and a nonlinear model of concrete deformation 21 - exponential sequence for concrete were used for concrete C 25/30. External reinforcement was also modeled by volumetric elements taking into account orthotropic properties. SikaWrap®-231 C carbon fiber fabric on Sikadur®-300 adhesive mixture was used as reinforcement.

Test samples:

- Control sample – a concrete prism measuring 100x100x500 mm, without damage;
- Sample 1 – a concrete prism measuring 100x100x500 mm, with damage along the length $A=200 \text{ мм}$, depth 20 mm and opening width $w = 2 \text{ мм}$;
- Sample 2 – a concrete prism measuring 100x100x500 mm, with damage along the length $A=200 \text{ мм}$, depth 20 mm and opening width $w=2 \text{ мм}$, with one layer of external reinforcement SikaWrap®-231C $t = 0.129 \text{ мм}$ (fibers along the axis of the element). Three variable lengths of the external reinforcement $B = 1.25A, 1.5A$ and $2A$ were considered.
- Sample 3 – a concrete prism measuring



100x100x500 mm, with damage along the length $A=200$ mm, depth 20 mm and opening width $w=2$ mm, with two layers of external reinforcement SikaWrap®-231C $t = 0.258$ mm (fibers at an angle of 00 and 900 to the axis of the element). Three variable lengths of the external reinforcement $B = 1.25A, 1.5A$ and $2A$ were considered

- Sample 4 – a concrete prism measuring 100x100x500 mm, with damage along the length $A=200$ mm, depth 20 mm and opening width $w=2$ mm, with four layers of external reinforcement SikaWrap®-231C $t = 0.516$ mm (fiber orientation in the layup: 00/900/900/00). Three variable lengths of the external reinforcement $B = 1.25A, 1.5A$ and $2A$ were considered.

The load was applied at the nodes on the upper face of the test sample and, accordingly, the total load was up to 100 kN. The calculation was performed taking into account the physical nonlinearity of concrete with the organization of the step method of applying loads, a total of 20 steps with a load increment value of 0.05 at each step.

The volumetric finite elements (FE 231 - Physically nonlinear parallelepiped) were used to model the concrete sample. FE is meant for the strength analysis of solid 3D structures taking into account physical nonlinearity of the material [8]. Non-linear properties of concrete are taken into account thanks to the use of the law of deformation 21 - exponential sequence for concrete Fig. 2. In the nonlinear stress-strain diagram area specify the following parameters: grade of concrete; type of concrete; modulus of elasticity; ultimate stress in compression (negative value); ultimate stress in tension.

Concrete is modeled by volume finite elements FE 231 each size 10x10x10 mm Fig. 3a, from which the entire element is assembled layer by layer. In the zone of artificial damage, the elements from the top and from the bottom have dimensions of 9x10x10 mm and an additional element with the size of 2x10x10 mm is introduced in Fig. 3b, showing the zone of the element without damage, and Fig. 3c, showing the same zone but with damage.

Carbon fiber reinforcement is modeled by volumetric finite elements FE 231, with dimensions of 10x10x0.129 mm, shown in Fig. 4 with orthotropic properties.

As a result of the performed numerical studies, we obtained data on the stress-strain state of the test samples. The dependence graph between loads and displacements is shown in Fig. 5. For the convenience of data analysis, results from 6 out of 11 samples in the study are presented in the diagram. The failure of the samples are considered to have reached such a load that corresponds to the relative deformations $\epsilon_u = 0.002$, 2 mm per 1 meter. From the deformation diagram, it can be seen that the sample 1 shows

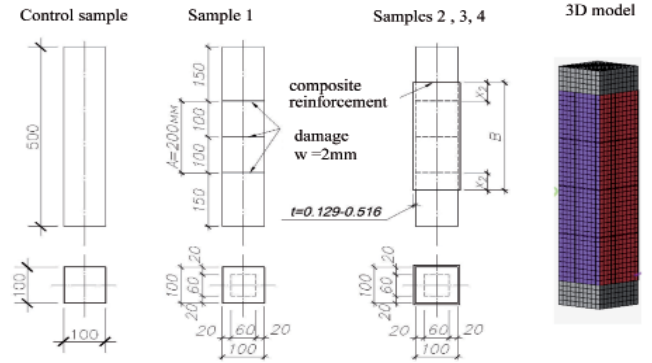


Figure 1 – Concrete column samples

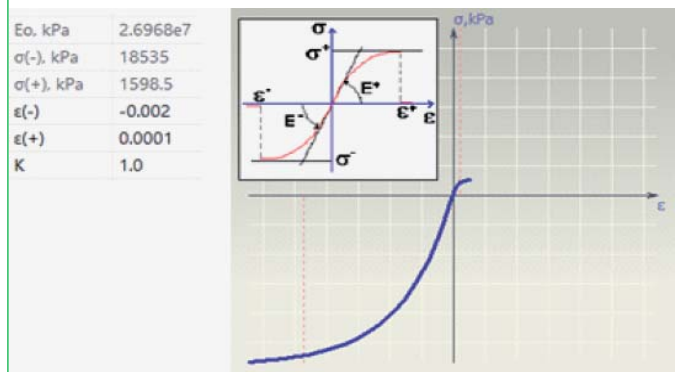


Figure 2 – Exponential sequence for concrete

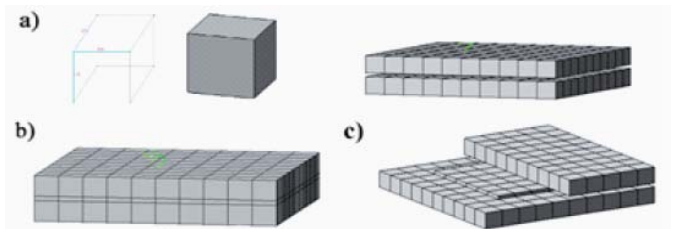


Figure 3 – Exponential sequence for concrete

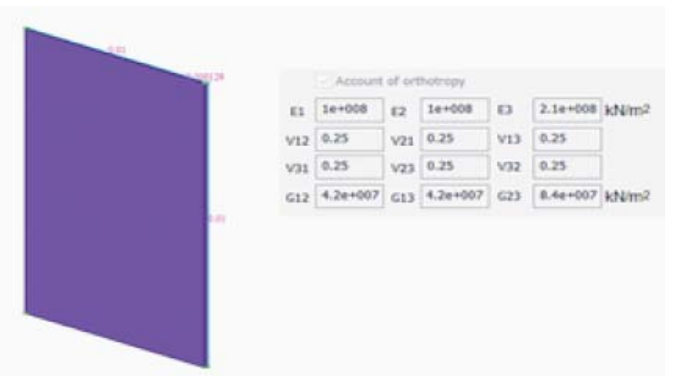


Figure 4 – Reinforcement with carbon fiber



significantly lower indicators and has a nonlinear ability at the level of 45 % of the control sample. Sample 4 with B=2A showed deformation characteristics even better than the undamaged control sample.

In order to determine the optimal parameters of reinforcement of a concrete prism based on the minimum consumption of materials, namely the length and thickness of the reinforcement, the regression equation of two variables was obtained and the optimization problem was solved.

To obtain a result in relative units, the following are accepted as input parameters:

1. The ratio of the area of the reinforcement material to the cross-sectional area of the control sample:

$$x_1 = \frac{A_{sf}}{A_c}, \quad (1)$$

where, $A_{sf} = t \times 4b$ is the area of the reinforcement material, mm²; A_c is the cross-sectional area of the prism, mm². x_1 - takes the following values (0.00516; 0.01032; 0.02064).

2. The ratio of the length of the anchoring zone to the side of the prism is defined as:

$$x_2 = \left(\frac{B - A}{2} \right) \div b, \quad (2)$$

where, A is the length of the damage zone 200 mm; B is the length of the reinforcement zone (mm); b is the edge size of the square of the prism 100 mm. x_2 - takes the following values (0.25, 0.5, 1).

The parameter Y is needed to determine the ratio of the load value of the test specimen to the corresponding load level of the control specimen at the limit values of deformations in concrete $\varepsilon_u = 0.002$, e.g., 2 mm per 1 meter length. Dependence can be sought by Eq. 3.

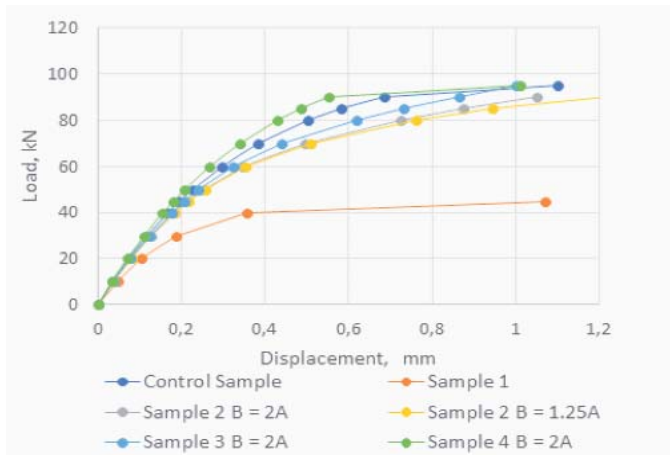


Figure 5 – Deformation diagram of test samples

$$A_1x_1 + A_2x_2 + A_3 = Y \quad (3)$$

Methodology for the analysis of the received numerical research data to obtain the regression equation in the form of (3). The results of mixing at each load step for all test samples are shown in Table 1.

Then, to obtain the dependence in the form (3), we will construct and present the matrix of the experiment in the following form Table 2. Where the parameter $X1$ takes into account the influence of the change in the thickness of the reinforcement (1), and the parameter $X2$ takes into account the change in the length of the anchoring of the reinforcement (2).

Coefficients $A1, A2, A3$ in Eq. 3 obtained by linear regression according to experimental data, calculations were performed in Excel. Substituting the Eqs. 1 and 2 into Eq. 3 results in Eq. 4.

$$0,951 + 2,136 \frac{A_{sf}}{A_c} + 0,0164 \frac{B - A}{2b} = Y \quad (4)$$

Table 1 – Displacement in test samples under load, mm

Load, kN	Control Sample	Sample 1	Sample 2 B = 1.25A	Sample 2 B = 1.5A	Sample 2 B = 2A	Sample 3 B = 1.25A	Sample 3 B = 1.5A	Sample 3 B = 2A	Sample 4 B = 1.25A	Sample 4 B = 1.5A	Sample 4 B = 2A
0	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
10	0.035	0.048	0.038	0.038	0.038	0.037	0.037	0.039	0.0348	0.034	0.034
20	0.073	0.105	0.081	0.080	0.080	0.079	0.078	0.078	0.073	0.072	0.070
30	0.117	0.186	0.125	0.128	0.127	0.123	0.125	0.123	0.116	0.114	0.110
40	0.167	0.356	0.185	0.184	0.182	0.180	0.179	0.176	0.164	0.161	0.155
45	0.195	1.070	0.218	0.217	0.214	0.211	0.210	0.206	0.191	0.187	0.180
50	0.225		0.256	0.255	0.252	0.247	0.245	0.241	0.22	0.216	0.206
60	0.295		0.352	0.350	0.345	0.334	0.331	0.324	0.288	0.281	0.266
70	0.384		0.509	0.504	0.496	0.456	0.450	0.439	0.375	0.363	0.340
80	0.503		0.760	0.741	0.725	0.658	0.640	0.619	0.492	0.467	0.430
85	0.582		0.943	0.899	0.873	0.801	0.763	0.733	0.577	0.535	0.486
90	0.686		1.220	1.100	1.050	1.020	0.914	0.865	0.709	0.620	0.553
95	3.380							3.580	3.480	3.290	3.200



Table 2 – Matrix for constructing the regression equation

	№	Y	x ₁	x ₂
Sample 2 B = 1.25A	1	0.94973	0.00516	0.25000
Sample 2 B = 1.5A	2	0.96610	0.00516	0.50000
Sample 2 B = 2A	3	0.97797	0.00516	1.00000
Sample 3 B = 1.25A	4	0.98853	0.01032	0.25000
Sample 3 B = 1.5A	5	0.99529	0.01032	0.50000
Sample 3 B = 2A	6	0.99631	0.01032	1.00000
Sample 4 B = 1.25A	7	0.99936	0.02064	0.25000
Sample 4 B = 1.5A	8	1.00142	0.02064	0.50000
Sample 4 B = 2A	9	1.00289	0.02064	1.00000

Table 3 – Comparison of the results of the experiment with the theoretical data of equation 4

	Y	X1	X2	Predicted Y	error
1	0.94973	0.00516	0.25000	0.9662	1.7%
2	0.96610	0.00516	0.50000	0.9703	0.4%
3	0.97797	0.00516	1.00000	0.9785	0.1%
4	0.98853	0.01032	0.25000	0.9772	1.1%
5	0.99529	0.01032	0.50000	0.9813	1.4%
6	0.99631	0.01032	1.00000	0.9895	0.7%
7	0.99936	0.02064	0.25000	0.9992	0.0%
8	1.00142	0.02064	0.50000	1.0034	0.2%
9	1.00289	0.02064	1.00000	1.0116	0.9%

To analyze the adequacy of the obtained dependence, we obtained the data of the regression analysis and compared the theoretical data obtained by equation 3 and the results of numerical studies Tab. 3.

The adequacy of the obtained dependence was checked by Fisher's test and R-squared distribution, which was 0.74. Equation (4) describes the obtained data well enough and can be used in solved optimization problems.

Formulation of the optimization problem. It is necessary to find such minimum values of the area of the external reinforcement and the anchorage zone that the right-hand side of equation (4) is equal to unity.

Objective function

$$F = A_{sf} \times B \rightarrow \min. \quad (5)$$

Restrictions imposed

$$\left\{ \begin{array}{l} 0,951 + 2,136 \frac{A_{sf}}{A_c} + 0,0164 \frac{B-A}{2b} \geq 1; \\ A = 200 \\ b = 100 \\ 1,25A < B \leq 2,0A; \\ A_{sf} = 51,6; 103,2; 206,4. \end{array} \right. \quad (6)$$

Solving the optimization problem by the graphic method of linear programming [9], a solution is obtained as: the area of the external reinforcement $A_{sf}=206.4 \text{ mm}^2$ with four layers, the total thickness $t = 0.516 \text{ mm}$, while the size of the external reinforcement is: $B \geq 1.3A$.

Conclusions and future work. Using the finite element method and a nonlinear model of concrete deformation, numerical studies of the influence of external composite material reinforcements on a compressed damaged concrete element were performed. Using the graphical method of linear programming, minimizing the objective function (Eq. 5) with the fulfillment of the constraints (Eq. 6), the optimal parameters of the reinforcement of the concrete prism were determined with the minimum consumption of materials. As a result of calculations, we obtained the required area of external reinforcement $A_{sf}=206.4 \text{ mm}^2$ with four layers, total thickness $t=0.516\text{mm}$, while the minimum size of external reinforcement is $B \geq 1.3A$.

In further research, it is planned to conduct physical experiments to validate the numerical investigation through comparing test work with modelling

results. And a basic benchmark for repairing damaged concrete elements using carbon fiber composites as external reinforcements will be conducted in terms of experimental and numerical work. In the future work, fundamental study of fatigue performance of damaged concrete samples with carbon fibre-adhesive composite repairs is required for some infrastructures under fatigue loading, e.g., bridges. Designing repairs in the structural level needs the advanced extended cohesive damaged element method to predict the damage/fracture performance of concrete structures with carbon fibre-adhesive composite repairs to provide optimised solutions. Therefore, development of the extended cohesive damaged element method with fatigue loading function to account for cyclic effects in accumulating damages is needed in the future.

ACKNOWLEDGMENT

This project was made possible through the UK-Ukraine R&I twinning grants scheme, funded by Research England with the support of Universities UK International and UK Research and Innovation.

REFERENCES

1. Kyiv School of Economics. Russia caused almost \$144 billion in damage to Ukraine's infrastructure during a year of full-scale war.



- <https://kse.ua/ua/about-the-school/news/za-rik-povnomasshtabnoyi-viyni-rosiya-zavdala-zbitkiv-infrastrukturi-ukrayini-na-mayzhe-144-mlrd/>. (date of access: 21.09.2023).
- Russia Pay. (6. д.). RussiaPay. <https://damaged.in.ua/> (date of access: 21.09.2023).
 - Onken, P., Berg, W., & Matzdorf, D. (2005). FRP Colonna Program jбliczeniowy do Wzmacniania slupow przy zastosowaniu mat kompozytowych S&P Sheets. Podrecznik uzytkownika. Tlumaczenie i komentarz Tomasz Bartosik. S&P Reinforcement.
 - Blaschko, M., & Zilch, K. (1999). Rehabilitation of concrete structures with CFRP strips glued into slits. Proceedings of the 12th International Conference of Composite Materials (с. 146–156).
 - Bartosik, T. (2006). Wzmacnianie konstrukcji materialami CFRP na bazie wlokien weglowych, szklanych i aramidowych. In *Materialy kompozytowe v budownictwie mostowym*. (с. 156–170).
 - Blikharskyi Z. (2008). Reconstruction and strengthening of buildings and structures. Lviv Polytechnic National University.
 - Bambura, A., Gurkivskyi, O., Dorohova, O., Sazanova, I., Melnik, T., Panchenko, O., & Sobko, Y. (2014). Recommendations for the use of Sika composite materials for strengthening reinforced concrete structures (ZNT-219-2167.13-001). State Enterprise "State Research Institute of Building Constructions".
 - Strelets–Streletsky, E., Zhuravlev, A., & Vodopyanov, R. (2019). Book I. Fundamentals (A. Gorodetsky, Ed.). LIRA-LAND.
 - Singh, A. (2022). Linear Programming Problem Solving Simplex Method. SSRN Electronic Journal. <https://doi.org/10.2139/ssrn.4043703>

БІБЛІОГРАФІЧНИЙ СПИСОК

- Київська Школа Економіки. За рік повномасштабної війни росія завдала збитків інфраструктурі України на майже \$144 млрд. URL: <https://kse.ua/ua/about-the-school/news/za-rik-povnomasshtabnoyi-viyni-rosiya-zavdala-zbitkiv-infrastrukturi-ukrayini-na-mayzhe-144-mlrd/> (дата звернення: 21.09.2023).
- Проект «Росія заплатить». URL: <https://damaged.in.ua/> (дата звернення: 15.11.2023).
- Онкен Р., Берг В., Мацдорф Д. Програма розрахунку колони FRP для посилення колон з використанням композитних матів S&P sheets. Посібник користувача. Варшава: S&P Reinforcement, 2005. 126 с.
- Блашко М., Зільч К. Відновлення бетонних конструкцій за допомогою смуг вуглепластика, вклеєних у щілини. Матеріали

- 12-ї міжнародної конференції з композитних матеріалів, Париж, 26 листопада 1999 р. С. 146–156.
- Бартосік Т. Зміцнення конструкції вуглепластиковими матеріалами на основі вуглецевих, скляних і арамідних волокон. Композитні матеріали в мостобудуванні: 2-а науково-технічна конференція, м. Лодзь, 21 лип. 2006 р. С. 156–170.
 - Бліхарський З. Екострукція та шдсилення будинків та споруд : навч. посіб. Львів: НУ "Львівська політехніка", 2008. 108 с.
 - Рекомендації щодо застосування композитних матеріалів фірми Sika для підсилення залізобетонних конструкцій / А. Бамбура та ін. Київ : ДП «НДІБК», 2014. 45 с.
 - Стрелец–Стрелецкий Е., Журавлев А., Водопьянов Р. Книга I. Основы / ред. А. Городецкого. Киев: LIRA-LAND, 2019. 154 с.
 - Сінгх А. Симплексний метод розв'язання задач лінійного програмування. Електронний журнал PCPH. 2022. URL: <https://doi.org/10.2139/ssrn.4043703> (дата звернення: 15.09.2023).

The article was received by Editor's Office on 20.11.2023



Doi: <https://doi.org/10.33644/2313-6679-4-2023-5>

УДК 691.32



КРОВ'ЯКОВ С.О.

Доктор техн. наук, професор,
проректор з наукової роботи,
Одеська державна академія
будівництва та архітектури,
м. Одеса, Україна,
тел.: +38 (048) 723-49-37,
e-mail: prorektor_nr@odaba.edu.ua,
ORCID: 0000-0002-0800-0123



ЧИСТЯКОВ А.О.

Аспірант, Одеська державна академія будівництва та архітектури,
м. Одеса, Україна,
тел.: +38 (050) 570-04-33,
e-mail: artemchis@gmail.com,
ORCID: 0000-0002-8424-842X

ВИКОРИСТАННЯ ВТОРИННИХ ЗАПОВНЮВАЧІВ ДЛЯ БЕТОНІВ ОСНОВИ ДОРОЖНЬОГО ОДЯГУ

АНОТАЦІЯ

Застосування вторинних заповнювачів в бетонах основи дорожнього одягу є доцільним з економічної та екологічної точок зору. Досліджено властивості бетонів на основі гранітного гравію, вторинного щебеню з залізобетонних конструкцій, вторинного щебеню з цегляної кладки та кварцового піску. Також змінювався тип піску: кварцовий, вторинний з залізобетонних конструкцій, вторинний з цегляної кладки та керамічної плитки. Досліджено дві серії зразків при кількості портландцементу СЕМ ІІ/В-С 42.5 N 300 кг/м³ і 350 кг/м³. У всі склади вводився суперпластифікатор полікарбоксилатного типу, рухомість всіх сумішей була 1..2 см. Показано можливість широкого використання бетонів на вторинних заповнювачах в основах жорсткого дорожнього одягу.

Встановлено, що при використанні кварцового піску найбільшу міцність мають бетони на вторинному щебені з залізобетонних конструкцій (до 53 МПа на стиск і до 3,8 МПа на розтяг при згині). Міцність таких бетонів на 2-6 % вище міцності бетонів на гранітному гравії. При використанні вторинного щебеню з цегляної кладки та керамічної плитки і кварцового піску міцність бетону стає меншою у порівнянні з бетонами на гранітному гравії на 7-15 %. При використанні

вторинного щебеню з залізобетонних конструкцій одночасно з вторинним піском міцність бетонів на стиск знижується на 20-26 %, а міцність на розтяг при згині знижується лише на 2-7 %. При використанні вторинного щебеню і піску з цегляної кладки та керамічної плитки міцність бетонів на стиск є на 44-56 % меншою за міцність «контрольних» бетонів, міцність на розтяг при згині – меншою на 20-21 %. Тобто бетони на вторинних заповнювачах характеризуються достатньо високою міцністю на розтяг при згині, що важливо для бетонів основи дорожнього одягу.

За прискореною методикою була визначена морозостійкість досліджених бетонів. Встановлено, що для всіх бетонів обох серій рівень морозостійкості складає F100. Таким чином, фактичні рівні міцності та морозостійкості отриманих у лабораторних умовах бетонів на вторинних заповнювачах є приблизно вдвічі вищими за вимоги ДБН В.2.3-4:2015.

КЛЮЧОВІ СЛОВА: вторинні заповнювачі бетону, вторинний щебінь, вторинний пісок, основа дорожнього одягу, бетон, міцність, морозостійкість.

THE USE OF SECONDARY AGGREGATES FOR CONCRETE PAVEMENT BASES



ABSTRACT

The use of secondary aggregates in the concrete bases of road clothing is expedient from an economic and ecological point of view. The properties of concrete based on granite gravel, secondary crushed stone from reinforced concrete structures, secondary crushed stone from brickwork and quartz sand were studied. The type of sand was also changed: quartz, secondary from reinforced concrete structures, secondary from brickwork and ceramic tiles. Two series of samples were studied with the different amount of Portland cement CEM II/B-S 42.5 N – 300 kg/m³ and 350 kg/m³. A superplasticizer of the polycarboxylate type was introduced into all compositions, the mobility of all mixtures was 1..2 cm. The possibility of wide use of concrete based on secondary aggregates in the bases of rigid road clothing is shown.

It was established that concrete based on secondary crushed stone from reinforced concrete structures and quartz sand has the greatest strength (up to 53 MPa in compression and up to 3.8 MPa in tension in bending). The strength of such concrete is 2-6% higher than the strength of concrete on granite gravel. When using secondary crushed stone from brickwork and ceramic tiles and quartz sand, compression strength of concrete becomes lower by 7-15% comparing with concrete on granite gravel. When using secondary crushed stone from reinforced concrete structures simultaneously with secondary sand, the compressive strength of concrete decreases by 20-26%, and the tensile strength in bending decreases by only 2-7%. When using secondary crushed stone and sand from brickwork and ceramic tiles, the compressive strength of concrete is 44-56% lower than the strength of "control" concrete, the tensile strength in bending is 20-21% lower. That is, concretes on secondary aggregates are characterized by sufficiently high tensile strength in bending, which is important for the concretes of the base of road clothing.

The frost resistance of the tested concretes was determined by the accelerated method. It was established that for all concretes of both series, the level of frost resistance is F100. Thus, the actual levels of strength and frost resistance of concrete obtained in laboratory conditions on secondary aggregates are approximately twice higher than the requirements of DBN B.2.3-4:2015.

KEYWORDS: secondary concrete aggregates, secondary crushed stone, secondary sand, pavement bases, concrete, strength, frost resistance.

ВСТУП

Розробка ефективних методів використання залишків демонтованих будівель і споруд вже багато років є актуальною задачею для більшості країн світу. Для сучасної України ця задача стоїть ще гостріше через наявність значної кількості спричинених агресією руйнувань.

При руйнуванні та демонтажі будівель і споруд виникають дуже різноманітні залишки, тип яких залежить насамперед від виду похідних конструкцій. Найбільш придатними для повторного використання є залишки залізобетонних конструкцій та цегляних стін. Ці залишки є достатньо якісною сировиною для виробництва вторинного щебеню і піску. Широке використання вторинних заповнювачів у бетонах дозволить вирішити проблему переробки більшої частини залишків будівель і споруд. Проте суттєвим недоліком вторинних заповнювачів є їх відносно низька однорідність [1]. Сортування та додаткова обробка вторинного щебеню або піску є складним процесом, який вимагає невиправдано високих витрат. Відповідно, подібні заповнювачі можуть бути ефективно використані у бетоні конструкцій, які мають великий об'єм при відносно невисоких вимогах щодо міцності та морозостійкості. Бетони, що використовуються для влаштування основи жорсткого дорожнього одягу, повністю відповідають таким критеріям. Використання жорстких основ дозволяє досягнути високої довговічності та якості доріг з цементобетонним покриттям, що є одним зі стратегічних завдань при відновленні транспортної інфраструктури країни.

Таким чином, застосування вторинних заповнювачів в бетонах для основи дорожнього одягу є доцільним з технічної, економічної та екологічної точок зору. Відповідно, актуальною є задача розробки ефективних дорожніх бетонів з максимально можливим використанням вторинних заповнювачів.

АНАЛІЗ ОСТАННІХ ДОСЛІДЖЕНЬ І ПУБЛІКАЦІЙ

Згідно з ГБН В.2.3-37641918-557 шари основи жорсткого дорожнього одягу влаштовуються з цементобетону низьких марок, переважно з класом за міцністю на розтяг при згині B_{fb} 1,0 і B_{fb} 1,2 [2]. Морозостійкість цих бетонів згідно з ДБН В.2.3-4:2015 має бути не менше F25 або F50, в залежності від температури найбільш холодного місяця [3]. При конструюванні жорсткого дорожнього одягу ДБН В.2.3-4:2015 рекомендує широко використовувати відходи промисловості [3].

В останні роки постійно зростають обсяги відходів від демонтажу будівель і споруд [4], при цьому міські звалища України заповнені на 90 %, через що вивозити будівельне сміття стає все дорожче [5]. Це стимулює розвиток технологій переробки будівельних відходів у вторинний щебінь та пісок [6].

Вторинні заповнювачі достатньо широко застосовуються в дорожньому будівництві, зокрема при виготовленні бетонів покриттів і основ. Наприклад, у [7] відходи демонтажу будинків ефективно використовувалися в бетонах основ



автомобільних доріг, які укладалися методом укладання. У [8] при використанні лише відходів, а саме вторинних заповнювачів і доменного шлаку у якості в'язучого, отримано бетон основи дорожнього одягу міцністю до 6 МПа.

У [9] при заміні до 30 % гранітного щебеню вторинним міцність бетону залишалася достатньою для влаштування жорстких дорожніх покриттів. У [10] використання дисперсного армування дозволило досягти міцності бетону на вторинних заповнювачах, яка відповідала вимогам для влаштування жорстких дорожніх покриттів.

Важливою для дорожнього будівництва перевагою бетонів на вторинному щебені є те, що їх міцність на розтяг при згині не суттєво відрізнялася від міцності бетонів на гранітному щебені [11]. Це пояснюється впливом пористої поверхні вторинних заповнювачів, яка забезпечує високу адгезію до цементно-піщаної матриці.

Таким чином, проведений аналіз показує, що бетон на вторинних заповнювачах може ефективно використовуватися для основ дорожнього одягу. Це підтверджує актуальність завдання вдосконалення складів і технології приготування таких бетонів.

ПОСТАНОВКА ЗАВДАННЯ

Метою роботи є визначення впливу вторинного щебеню і піску різних типів на міцність та морозостійкість бетонів основи дорожнього одягу.

Порівнювалися властивості бетонів на рядових і вторинних заповнювачах. Для виготовлення зразків використовувалися три види крупного заповнювача фракції 8-16 мм:

- гранітний річковий гравій, дунайський. Насипна густина гравію 1570 кг/м³, водопоглинання 0,70 %;
- вторинний щебінь з перероблених залізобетонних конструкцій. Насипна густин-

на даного щебеню 1260 кг/м³, водопоглинання 5,94 %;

- вторинний щебінь з переробленої цегляної кладки та керамічної плитки. Насипна густина даного щебеню 1150 кг/м³, водопоглинання 8,53 %.

Також використовувалися три види пісків фракції 0-4 мм:

- кварцовий. Модуль крупності піску 3,19, насипна густина 1935 кг/м³;
- вторинний з перероблених залізобетонних конструкцій. Модуль крупності даного піску 3,83, насипна густина 1500 кг/м³;
- вторинний з переробленої цегляної кладки та керамічної плитки. Модуль крупності даного піску 3,72, насипна густина 1375 кг/м³.

Використовувався портландцемент СЕМ П/В-S 42.5 N виробництва Cementaren Ladce (містить 21 % доменного шлаку) та добавка суперпластифікатор полікарбоксилатного типу Verament НТ28, виробництва Beton Racio. Кількість добавки становила 1,2 % від маси цементу. Рухомість всіх сумішей була ОК=1..2 см, що відповідає вимогам ДБН В.2.3-4:2015 [3] для технологій укладання з використанням бетоноукладача з ковзною опалубкою.

РЕЗУЛЬТАТИ ДОСЛІДЖЕННЯ ТА ЇХ ІНТЕРПРЕТАЦІЯ

Досліджено дві серії зразків, відповідно при кількості портландцементу 300 кг/м³ (№ 1a-5a) і 350 кг/м³ (№ 1b-5b). У кожній серії досліджено бетони на основі гранітного гравію та кварцового піску (як контрольні склади), по 2 склади з використанням вторинного щебеню і кварцового піску), а також по 2 склади з використанням вторинного щебеню і вторинного піску. Склади досліджених бетонів основи дорожнього одягу наведені у табл. 1.

Таблиця 1 – Склади досліджених бетонів основи дорожнього одягу (кг/м³)

№	Цемент	Крупний заповнювач	Пісок	Добавка	Вода
1a	300	гранітний гравій, 1252	кварцовий, 762	3,6	124
2a		вторинний з з/б конструкцій, 1122			138
3a		вторинний з цегляної кладки, 982			175
4a		вторинний з з/б конструкцій, 1070	вторинний з з/б конструкцій, 755		168
5a		вторинний з цегляної кладки, 803	вторинний з цегляної кладки, 765		229
1b	350	гранітний гравій, 1233	кварцовий, 727	4,2	136
2b		вторинний з з/б конструкцій, 1112			141
3b		вторинний з цегляної кладки, 968			183
4b		вторинний з з/б конструкцій, 992	вторинний з з/б конструкцій, 752		166
5b		вторинний з цегляної кладки, 789	вторинний з цегляної кладки, 704		232



З умов експерименту, які наближені до реальних технологічних особливостей влаштування бетонних основ дорожнього одягу, В/Ц сумішей залежало від їх складу. Найменше В/Ц очікувано мали бетони на основі гранітного гравію та кварцового піску. При використанні вторинного щебеню В/Ц зростало за рахунок поглинання частини води заповнювачем. При цьому використання щебеню з цегляної кладки та керамічної плитки викликало необхідність більшого підвищення В/Ц, ніж використання щебеню з залізобетонних конструкцій. При використанні вторинного щебеню одночасно зі вторинним піском В/Ц сумішей додатково підвищувалося. Відомо, що значна частина води в бетонах на вторинних заповнювачах витрачається на їх насичення, і це має неоднозначний вплив на структуру. Збільшення В/Ц підвищує сумарну пористість композиційного матеріалу, проте одночасно насичення заповнювача покращує умови твердіння бетону та адгезію між заповнювачем та цементною матрицею [11, 12].

Для всіх досліджених бетонів була визначена їх середня густина, водопоглинання, міцність на стик і на розтяг при згині (табл. 2).

На рис. 1 наведено діаграму, яка відображає середню густина досліджених бетонів для основ дорожнього одягу. Аналіз діаграми показує, що найбільшу густина мають бетони на гранітному гравії і кварцовому піску. При використанні вторинного щебеню з залізобетонних конструкцій середня густина знижується на 3-5 %, а при використанні вторинного щебеню з цегляної кладки та керамічної плитки – на 8-9 %. Бетони на основі

вторинного щебеню і піску з залізобетонних конструкцій мають на 6-9 % меншу середню густина у порівнянні з «контрольними» складами. Найменшу середню густина мають бетони на основі вторинного щебеню і піску з переробленої цегляної кладки та керамічної плитки (на 14-17 % менше середньої густини «контрольних» бетонів). Такий вплив заповнювачів пояснюється їх власною середньою густиною та пористістю. Це підтверджується визначеними значеннями водопоглинання досліджених бетонів, яке є фактично їх відкритою пористістю та наведено у табл. 2.

Для обох серій експерименту вплив типу заповнювача на міцність бетонів був аналогічним (рис. 2). При використанні кварцового піску

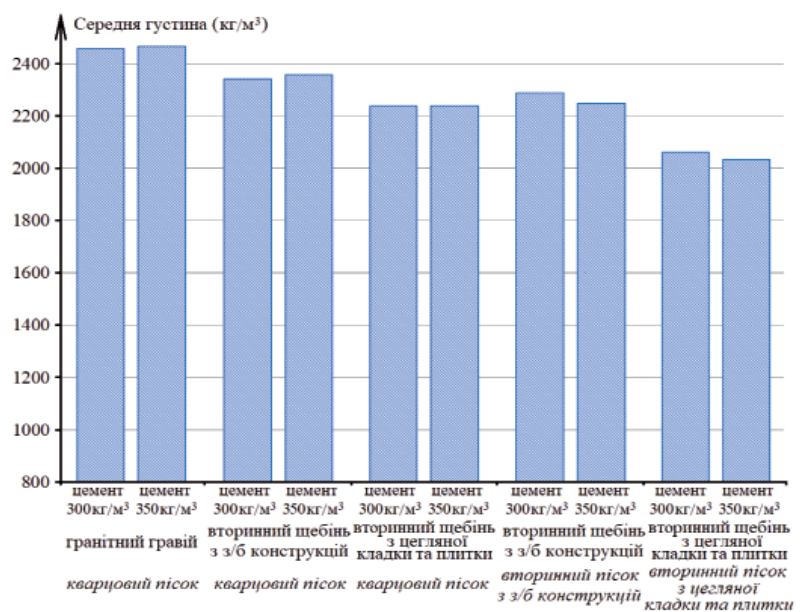


Рисунок 1 – Середня густина досліджених бетонів

Таблиця 2 – Властивості досліджених бетонів основ дорожнього одягу

№	Середня густина, кг/м ³	Водопоглинання, %	Міцність на стик, МПа	Міцність на розтяг при згині, МПа
1a	2458	6,2	47,99	3,61
2a	2341	7,6	49,16	3,77
3a	2238	9,7	41,63	3,18
4a	2288	7,8	35,47	3,37
5a	2061	13,9	27,05	2,82
1b	2465	5,6	50,18	3,62
2b	2358	7,6	53,41	3,84
3b	2238	8,7	42,66	3,35
4b	2247	7,7	39,77	3,57
5b	2034	12,4	27,65	2,89

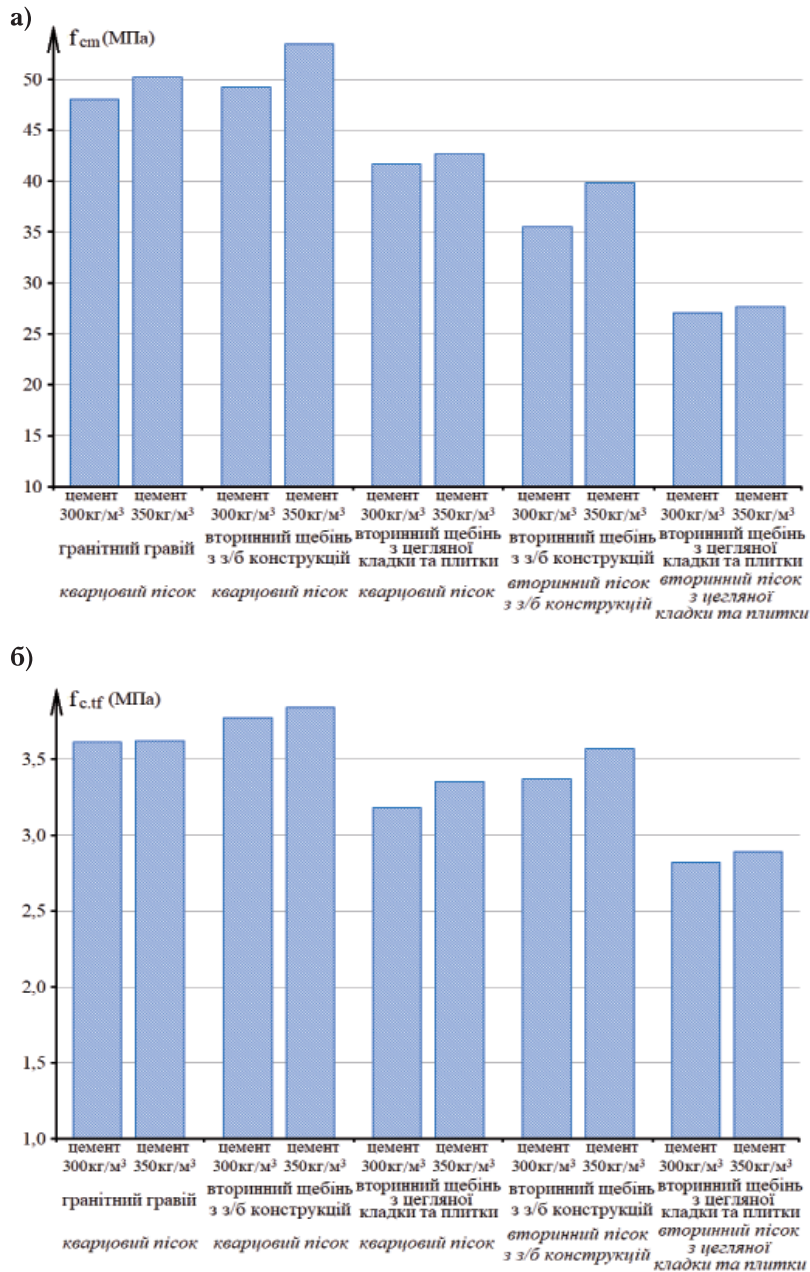


Рисунок 2 – Міцність досліджених бетонів на стиск (а) і на розтяг при згині (б)

найбільшу міцність на стиск і на розтяг при згині мали бетони на щебені з залізобетонних конструкцій (№ 2а, № 2б). Міцність бетонів на такому вторинному щебені на 2-6 % вище міцності бетонів на гранітному гравії, що пояснюється застосуванням у «контрольних» бетонах гранітного гравію обкатаної форми. При використанні вторинного щебеню з цегляної кладки та керамічної плитки і кварцового піску (№ 3а, № 3б) міцність бетону стає меншою у порівнянні з бетонами на гранітному гравії на 7-15 %.

При використанні вторинного щебеню з залізобетонних конструкцій одночасно з вторинним піском (№ 4а, № 4б) міцність бетонів на стиск знижується на 20-26 % у порівнянні з

бетонами «контрольних» складів. Але міцність на розтяг при згині при цьому змінюється лише на 2-7 %. При використанні вторинного щебеню і піску з цегляної кладки та керамічної плитки (№ 5а, № 5б) міцність бетонів на стиск є на 44-56 % меншою за міцність аналогічних «контрольних» бетонів, а міцність на розтяг при згині – меншою на 20-21 %. Тобто, бетони на вторинних заповнювачах характеризуються достатньо високою міцністю на розтяг при згині, що обумовлено пористою структурою заповнювача. Така структура забезпечує високу адгезію до піщано-цементної матриці і сприяє підвищенню стійкості до дії напружень розтягування [12]. Слід зазначити, що для бетонів дорожнього одягу рівень міцності на розтяг при згині є важливішим, ніж рівень міцності на стиск.

Також в рамках даних досліджень за прискороною методикою згідно з ДСТУ Б В.2.7-49-96 [13] була визначена морозостійкість досліджених бетонів основ дорожнього одягу (третій метод при заморожуванні та відтаюванні у солоній воді при температурі заморожування до -50 °С). Необхідно зауважити, що точність даного методу обмежена, проте точніші методи є занадто довгими і трудомісткими у реалізації. Для бетонів дорожніх і аеродромних покриттів прискорений метод розрізняє лише марки F100, F150, F200 і так далі [14]. Відповідно було встановлено, що для всіх досліджених бетонів обох серій рівень морозостійкості складає F100, що вдвічі більше за мінімальний необхідний рівень F для монолітної основи, визначений вимогами ДБН В.2.3-4:2015 [3].

ВИСНОВКИ ТА ПЕРСПЕКТИВИ ПОДАЛЬШИХ РОЗРОБОК

Всі досліджені бетони на вторинних заповнювачах характеризувалися достатньо високою міцністю, зокрема на розтяг при згині. Також, дані бетони забезпечували достатню для основ дорожнього одягу морозостійкість. Фактичні рівні міцності та морозостійкості отриманих у лабораторних умовах бетонів на вторинних заповнювачах є приблизно вдвічі вищими за вимоги ДБН В.2.3-4:2015 [3] для монолітної основи. Це дозволяє зробити висновок про можливість широкого використання таких бетонів в основах жорсткого дорожнього одягу. Як зазначалося вище, це



актуальне економічне і екологічне завдання для сучасної України.

Слід зауважити, що завдяки використанню якісного цементу та суперпластифікатору бетони на основі вторинного щебеню і піску з залізобетонних конструкцій, а також на основі щебеню з цегляної кладки та керамічної плитки і кварцового піску мають міцність, яка дозволяє розглядати такі матеріали також як альтернативу «традиційним» бетонам при влаштуванні нижнього шару двошарового жорсткого покриття. Але для виявлення технічної доцільності такого рішення слід провести додаткові дослідження, зокрема щодо однорідності властивостей бетонів на вторинних заповнювачах при їх промислово-му застосуванні.

БІБЛІОГРАФІЧНИЙ СПИСОК

1. Dokić O., Radević A., Zakić D., Dokić B. Potential of natural and recycled concrete aggregate mixtures for use in pavement structures. *Minerals*, 2020, 10, 744. <https://doi.org/10.3390/min10090744>
2. ГБН В.2.3-37641918-557:2016. Автомобільні дороги. Дорожній одяг жорсткий. Проектування. К: Міністерство інфраструктури України, 2016 р. 71 с.
3. ДБН В.2.3-4:2015. Автомобільні дороги. Споруди транспорту. Частина I. Проектування. Частина II. Будівництво. К.: Мінрегіонбуд України, 2015. 112 с.
4. Zheng H., Li X., Zhu X., Huang Y., Liu Z., Liu Y., Liu J., Li X., Li Y., Li C. Impact of recycler information sharing on supply chain performance of construction and demolition waste resource utilization. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 2022, 19(7), 3878. <https://doi.org/10.3390/ijerph19073878>
5. Морковська Н.Г., Абделрахем А. Переробка будівельних відходів, що утворюються в Україні. *Комунальне господарство міст*, 2019, том 1, випуск 147. С. 210-214. <https://doi.org/10.33042/2522-1809-2019-1-147-210-214>
6. Белобородов Р.О., Шейніч Л.О. Використання подрібненого бетону в будівництві. *Наука та будівництво*, 2023, 2 (36), С.83-86. <https://doi.org/10.33644/2313-6679-2-2023-9>
7. Courard L., Michel F., Delhez P. Use of concrete road recycled aggregates for Roller Compacted Concrete. *Construction and Building Materials*, 2010, 24(3), P. 390-395. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2009.08.040>
8. Juveria F., Rajeev P., Jegatheesan P., Sanjayan J. Impact of stabilisation on mechanical properties of recycled concrete aggregate mixed with waste tyre rubber as a pavement material. *Case Studies in Construction Materials*, 2023, 18, e02001. <https://doi.org/10.1016/j.cscm.2023.e02001>
9. Jindal A., G.D. Ransinchung R.N., Kumar P. Study of pavement quality concrete mix incorporating beneficiated recycled concrete aggregates. *Road Materials and Pavement Design*, 2017, 18 (5), P. 1159-1189. <https://doi.org/10.1080/14680629.2016.1207556>
10. Chan R., Santana M.A., Oda A.M., Paniguel R.C., Vieira L.D., Figueiredo A.D., Galobardes I. Analysis of potential use of fibre reinforced recycled aggregate concrete for sustainable pavements. *Journal of Cleaner Production*, 2019, 218, P. 183-191. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2019.01.221>
11. Kroviakov S.O., Chystiakov A.O., Bershadskyi A.O., Shevchenko T.I. Concretes on secondary crushed stone as a promising material for the rigid pavement base. *Вісник Одеської державної академії будівництва та архітектури*, 2022, №87, С.85-91 <https://doi.org/10.31650/2415-377X-2022-87-85-91>
12. Volchuk V., Kroviakov S., Kryzhanovskiy V. Strength assesment of lightweight concrete considering metric variance of the structural elements. *Romanian Journal of Materials*, 2022, 52(2), P. 185-193
13. ДСТУ Б В.2.7-49-96. Будівельні матеріали. Бетони. Прискорені методи визначення морозостійкості при багаторазовому заморожуванні та відтаванні. К.: Державний комітет України у справах містобудування і архітектури, 1996. 9 с.
14. ДСТУ Б В.2.7-47-96. Будівельні матеріали. Бетони. Методи визначення морозостійкості. К.: Державний комітет України у справах містобудування і архітектури, 1996. 15 с.

REFERENCES

1. Dokić O., Radević A., Zakić D., Dokić B. Potential of natural and recycled concrete aggregate mixtures for use in pavement structures. *Minerals*, 2020, 10, 744. <https://doi.org/10.3390/min10090744>
2. GBN V.2.3-37641918-557:2016. Automobile roads. Rigid pavement. Designing. Kyiv: Ministry of Infrastructure of Ukraine, 2016.
3. DNB V.2.3-4:2015. Automobile roads. Transport facilities. Part I. Design. Part II. Construction. Kyiv: Ministry of Regional Construction of Ukraine, 2015.
4. Zheng H., Li X., Zhu X., Huang Y., Liu Z., Liu Y., Liu J., Li X., Li Y., Li C. Impact of recycler information sharing on supply chain performance of construction and demolition waste resource utilization. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 2022, 19(7), 3878. <https://doi.org/10.3390/ijerph19073878>



5. Morkovska N., Abdelrahem A. Recycling construction waste generated in Ukraine. *Communal management of cities*, 2019, volume 1, issue 147. P. 210-214. <https://doi.org/10.33042/2522-1809-2019-1-147-210-214>
6. Beloborodov R.O., Sheinich L.O. Use of crushed concrete in construction industry. *Science and Construction*, 2023, 2 (36), P.83-86. <https://doi.org/10.33644/2313-6679-2-2023-9>
7. Courard L., Michel F., Delhez P. Use of concrete road recycled aggregates for Roller Compacted Concrete. *Construction and Building Materials*, 2010, 24(3), P. 390-395. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2009.08.040>
8. Juveria F., Rajeev P., Jegatheesan P., Sanjayan J. Impact of stabilisation on mechanical properties of recycled concrete aggregate mixed with waste tyre rubber as a pavement material. *Case Studies in Construction Materials*, 2023, 18, e02001. <https://doi.org/10.1016/j.cscm.2023.e02001>
9. Jindal A., G.D. Ransinchung R.N., Kumar P. Study of pavement quality concrete mix incorporating beneficiated recycled concrete aggregates. *Road Materials and Pavement Design*, 2017, 18 (5), P. 1159-1189. <https://doi.org/10.1080/14680629.2016.1207556>
10. Chan R., Santana M.A., Oda A.M., Paniguel R.C., Vieira L.D., Figueiredo A.D., Galobardes I. Analysis of potential use of fibre reinforced recycled aggregate concrete for sustainable pavements. *Journal of Cleaner Production*, 2019, 218, P. 183-191. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2019.01.221>
11. Kroviakov S.O., Chystiakov A.O., Bershadskyi A.O., Shevchenko T.I. Concretes on secondary crushed stone as a promising material for the rigid pavement base. *Bulletin of Odessa State Academy of Civil Engineering and Architecture*, 2022, №87, C.85-91 <https://doi.org/10.31650/2415-377X-2022-87-85-91>
12. Volchuk V., Kroviakov S., Kryzhanovskiy V. Strength assesment of lightweight concrete considering metric variance of the structural elements. *Romanian Journal of Materials*, 2022, 52(2), P. 185-193
13. DSTU B V.2.7-49-96. Building materials. Concretes. Accelerated methods of determining frost resistance during repeated freezing and thawing. Kyiv: State Committee of Ukraine for Urban Planning and Architecture, 1996.
14. DSTU B V.2.7-47-96. Building materials. Concretes. Methods of determining frost resistance. Kyiv: State Committee of Ukraine for Urban Planning and Architecture, 1996.

Стаття надійшла до редакції 16.10.2023 року



Doi: <https://doi.org/10.33644/2313-6679-4-2023-6>

УДК 697.3



САВЧЕНКО О. О.

Канд. техн. наук, доцент, доцент кафедри теплогазопостачання і вентиляції Національного університету «Львівська політехніка», м. Львів, Україна, e-mail: olena.o.savchenko@lpnu.ua, тел. +38 (032) 258-27-05, +38 (050) 868-18-14 ORCID: 0000-0003-3767-380X

ПІДВИЩЕННЯ ЕНЕРГЕТИЧНОЇ ЕФЕКТИВНОСТІ БУДІВЕЛЬ В УМОВАХ ВІДНОВЛЕННЯ ТА ВІДБУДОВИ ШЛЯХОМ ВПРОВАДЖЕННЯ ЦЕНТРАЛІЗОВАНИХ СИСТЕМ ТЕПЛОПОСТАЧАННЯ

АНОТАЦІЯ

Енергетична ефективність будівель безпосередньо залежить від їх енергопотреб та викидів парникових газів при функціонуванні інженерних мереж. Одним з напрямків підвищення енергетичної ефективності будинків є використання систем централізованого теплопостачання. Вони дозволяють зменшити використання викопних видів палива та викиди парникових газів, спростити експлуатацію та технічне обслуговування будівель, забезпечити робочими місцями висококваліфікованих працівників. Існуючі нормативно-правові документи, які об'єднують вимоги до проектування, експлуатації та обслуговування систем централізованого теплопостачання, не містять кількісних показників енергетичної ефективності, яких необхідно дотримуватися при реконструкції та новому будівництві.

В умовах післявоєнної відбудови теплоенергетичної галузі основна концепція повинна бути налаштована на проектуванні нової інфраструктури за новими технологіями. Це потребує прийняття нового покоління нормативних документів щодо систем теплопостачання, які б сприяли впровадженню централізованих систем теплопостачання при новому будівництві, зокрема при відбудові зруйнованих під час бойових дій міст.

В статті розглянуті показники оцінювання енергетичної ефективності централізованого теплопостачання при їх проектуванні згідно з

вимогами європейських стандартів. Обґрунтовано необхідність введення національних стандартів, які би запропонували кількісні показники енергетичної ефективності систем централізованого теплопостачання, які пов'язані з прагненням України дотримуватися виконання міжнародних зобов'язань у питаннях декарбонізації. Крім того, у статті наведені заходи для підвищення енергетичної ефективності систем централізованого теплопостачання для забезпечення тепловою енергією старих будинків, будинків після термомодернізації та нових будинків, зокрема при відбудові зруйнованих населених пунктів.

КЛЮЧОВІ СЛОВА: енергетична ефективність будівель, системи централізованого теплопостачання, енергоощадні заходи, показники енергетичної ефективності, термомодернізація

INCREASING THE ENERGY EFFICIENCY OF STRUCTURES IN RECONSTRUCTION THROUGH THE USE OF DISTRICT HEATING SYSTEMS

ABSTRACT

The energy efficiency of buildings directly depends on its energy consumption and greenhouse gas emissions during the operation of its engineering networks. One of the ways to increase the energy efficiency of buildings is the use of district heating



systems. They make it possible to reduce the use of fossil fuels and greenhouse gas emissions, simplify the operation and maintenance of buildings, and provide jobs for highly qualified workers. Existing regulatory documents that combine requirements for design, operation and maintenance of district heating systems do not contain quantitative indicators of energy efficiency, which must be observed during reconstruction and new construction.

In the conditions of the post-war reconstruction of the thermal energy industry, the main concept should be focused on the design of new infrastructure using new technologies. This requires the adoption of a new generation of regulatory documents regarding heat supply systems, which would facilitate the implementation of district heating systems in new construction, in particular, in the reconstruction of cities destroyed during hostilities.

The article examines indicators of energy efficiency assessment of district heating systems during their design in accordance with the requirements of European standards. The need to introduce national standards that would offer quantitative indicators of the energy efficiency of district heating systems, which are related to Ukraine's desire to comply with international obligations in matters of decarbonization, is substantiated. In addition, the article provides measures to increase the energy efficiency of district heating systems to provide thermal energy to old buildings, buildings after thermal modernization, and new buildings, in particular, during the reconstruction of destroyed settlements.

KEYWORDS: energy efficiency of building, district heating system, energy saving measure, energy efficiency indicator, thermal modernization

ПОСТАНОВКА ПРОБЛЕМИ

Енергоефективність є невід'ємним компонентом енергетичної безпеки держави та її сталого інноваційного розвитку. Ще у 2014 році Україна підписала Угоду про асоціацію з Європейським Союзом, що зобов'язує реалізувати Директиву ЄС про енергоефективність. З того часу відбувається поступове усвідомлення ролі енергоефективності, як інструменту забезпечення надійного енергопостачання, зменшення впливу на навколишнє середовище та залежності від імпортованих енергетичних ресурсів. Тому, підвищення енергетичної ефективності в усіх галузях народного господарства є одним з пріоритетних напрямків державної політики України. У житлово-комунальному господарстві для оцінки енергетичної ефективності будівель використовують показники оцінювання кількості енергії, що необхідна для створення належних умов проживання та життєдіяльності людей. Відповідно до наказу Міністерства регіонального розвитку, будівництва

та житлово-комунального господарства України № 169 від 11.07.2018, показниками енергетичної ефективності будівель є питома енергопотреба на опалення, охолодження, постачання гарячої води та значення питомого енергоспоживання на опалення, охолодження, постачання гарячої води, вентиляцію, освітлення, питома енергоспоживання первинної енергії та викидів парникових газів. Отже, одним з напрямків підвищення енергетичної ефективності будівлі є зменшення енергоспоживання на потреби систем опалення та гарячого водопостачання, а відповідно, використання енергоефективних систем теплопостачання.

У країнах Євросоюзу для виконання Директиви про енергоефективність та Зеленої угоди щодо досягнення кліматичної нейтральності одним із потужних заходів є використання систем централізованого теплопостачання, які дозволяють зменшити використання викопних видів палива та викиди парникових газів, спростити експлуатацію та технічне обслуговування будівель, забезпечити робочими місцями висококваліфікованих працівників. В Україні системи централізованого теплопостачання станом на 2019 рік забезпечували теплом близько 60 % систем опалення та понад 40% систем гарячого водопостачання житлових будинків у 121-му населеному пункті [1]. Тому, підвищення енергетичної ефективності існуючих систем централізованого теплопостачання та побудова нових енергоефективних систем централізованого теплопостачання безпосередньо впливають на енергетичну ефективність будівель та є особливо важливими при повоєнній відбудові.

АНАЛІЗ ОСТАННІХ ДОСЛІДЖЕНЬ І ПУБЛІКАЦІЙ

В Україні одна з найвищих у світі насиченість міст тепловими мережами. Загальна протяжність теплопроводів станом на 2018 рік становила 20,6 тис. км у двотрубному обчисленні [2]. Переважна більшість українських теплових мереж та установок генерації теплоти побудована у 1970-1980-х роках, основним джерелом енергії в них є природний газ (74 %), в якості теплоносія використовується перегріта вода, облік та диспетчеризація споживання теплової енергії майже відсутні [3]. Крім того, системи централізованого теплопостачання характеризуються зношенням частини основного обладнання. Так, за даними річного звіту Національної комісії, що здійснює державне регулювання у сферах енергетики та комунальних послуг (НКРЕКП), 44,5 % котлів з терміном експлуатації понад 30 років і 83,9 % теплових мереж з терміном експлуатації понад 25 років підлягають реконструкції або модернізації [4], а втрати теплової енергії в існуючих теплових мережах становлять в серед-



ньому 30 % [5]. Такий стан систем централізованого теплопостачання не сприяє поширенню його впровадження у населення та забудовників. Так, при новому будівництві централізоване теплопостачання передбачається лише у 23,4 % проєктів, причому більшість будинків будується у м. Київ та м. Харків [6]. російсько-Українська війна ще більш поглибила проблеми централізованих систем теплопостачання. Станом на 1 листопада 2022 р. внаслідок масованих ударів по енергетичних об'єктах в Україні пошкоджено 585 об'єктів критичної інфраструктури у сфері теплопостачання, зокрема ТЕЦ, ТЕС, котельні та центральні теплові пункти [7], знищено та пошкоджено велику кількість житлових будинків, інженерні мережі яких були споживачами систем централізованого теплопостачання (рис. 1) [8]. Крім того, існують населені пункти, в яких понад 60 % інфраструктури було зруйновано в ході російського вторгнення в Україну [9].

Тому, у післявоєнній відбудові для підвищення енергетичної ефективності будівель та теплоенергетичної галузі основна концепція повинна бути налаштована на проектування нової інфраструктури за новими технологіями та європейськими стандартами.

В Євросоюзі для визначення енергоефективності систем централізованого теплопостачання було розроблено класифікацію залежно від типу джерела енергії, параметрів теплоносія, наявності теплоакumuлюючого обладнання, типу та якості утеплення трубопроводів теплових мереж. Вперше таку класифікацію було представлено у 2014 році [10], а потім доповнено у 2018 році [11]. Відповідно до даної класифікації, системи централізованого теплопостачання розрізняються за чотирма поколіннями: 1GDH, 2GDH, 3GDH, 4GDH. В Україні більшість систем централізованого теплопостачання відповідають



Рисунок 1 – Пошкоджений будинок з тепловим пунктом (фото з відкритих джерел)

критеріям систем другого покоління 2GDH. Джерелом теплоти є ТЕЦ або опалювальні водогрійні котельні на викопних видах палива, а у якості теплоносія застосовується перегріта вода з параметрами теплоносія $T_1/T_2 = 150/70$ °C; $130/70$ °C; $115/70$ °C; $105/70$ °C; $95/70$ °C. Трубопроводи теплової мережі переважно виготовлені з електрозварних труб з нелегованої сталі, утеплених мінераловатними матами. Трубопроводи прокладалися підземно, переважно у залізобетонних непрохідних каналах [12].

Для підвищення енергетичної ефективності будівель під час післявоєнної відбудови України доцільно орієнтуватися на системи централізованого теплопостачання четвертого покоління 4GDH. Це системи, в яких для вироблення теплової енергії використовуються відновлювальні та вторинні джерела енергії, застосовується обладнання для акумуляції теплоти, низькотемпературний теплоносій ($65/45$ °C), попередньо ізольовані трубопроводи, засоби обліку теплоти та прилади для регулювання відпуску теплової енергії [11, 12].

Для можливості реалізації таких систем в Україні необхідно передбачити відповідну систему нормативно-правових документів. В Україні в галузі теплопостачання діють наступні основні документи: Закон України «Про теплопостачання», Концепція реалізації державної політики у сфері теплопостачання та Національний план дій з енергоефективності на період до 2030 року. Всі вони сходяться на думці, що пріоритетними шляхами розвитку систем централізованого теплопостачання є використання відновлювальних та вторинних джерел енергії, застосування технологій комбінованого виробництва теплової та електричної енергії та використання вискоєфективного теплогенерувального обладнання та матеріалів. Проте, в даних документах не вказані кроки для впровадження таких заходів, зокрема план модернізації систем централізованого теплопостачання та послідовність технічних заходів для досягнення параметрів системи теплопостачання 4GDH, відсутні показники для оцінки ефективності технічних заходів та фінансово-економічні механізми стимулювання підвищення енергетичної ефективності систем централізованого теплопостачання. Тому, існує необхідність на національному рівні прийняття нового покоління нормативно-правових документів щодо систем теплопостачання, які повинні містити конкретні кроки для підвищення енергетичної ефективності систем централізованого теплопостачання, мінімально допустимі значення показників енергетичної ефективності систем, вказівки щодо зонування систем теплопостачання. Крім того, ці нові документи повинні акцентувати на пріоритетності впровадження централізованих систем теплопо-



стачання під час нового будівництва, зокрема при відбудові зруйнованих під час бойових дій міст.

При оцінці енергетичної ефективності системи централізованого теплопостачання доцільно використати показники КРІ (Key Performance Indicator), які застосовують у країнах Євросоюзу. До них належать: частка відновлювальної енергії, %, коефіцієнт невідновлюваної первинної енергії, %, кількість викидів CO₂, г/(кВт·год), кількість викидів інших забруднюючих речовин, г/(кВт·год), капітальні витрати, грн/кВт, експлуатаційні витрати, грн/кВт, екологічно-соціальні витрати, грн/кВт [13]. На значення КРІ значно впливають тип та потужність джерела тепла, вид енергетичних ресурсів, графік споживання теплової енергії, діаметр та теплова ізоляція трубопроводів теплових мереж, параметри зовнішнього повітря, показники енергетичної ефективності споживачів теплоти. Тому, для можливості порівняння різних систем централізованого теплопостачання доцільно використовувати питомі значення показників, наприклад, на одиницю потужності або попиту (1кВт).

Крім того, для можливості впровадження параметрів систем теплопостачання 4GDH в Україні необхідно розробити базу даних місцевих відновлювальних та вторинних енергетичних ресурсів. Такі статистичні дані дозволять оцінити кількість локальних енергетичних ресурсів та проаналізувати можливості заміни ними викопних видів палива. Автором статті була здійснена спроба просторового аналізу відновлювальних джерел Львівщини [14], проте, як показали дослідження, інформація щодо наявного потенціалу біомаси, зокрема паливної деревини, гною сільськогосподарських тварин, осаду стічних вод є відома для Львівської області загалом, а інформація для кожного району області – відсутня, що ускладнює вибір відновлювальних джерел енергії в конкретному населеному пункті.

Різними авторами вже розглядалися шляхи підвищення енергетичної ефективності систем централізованого теплопостачання [15, 16]. Зокрема, було оцінено можливість переходу систем централізованого теплопостачання на низькотемпературний теплоносій [17]. Проте виявилось, що перехід існуючих (незруйнованих) систем централізованого теплопостачання на параметри 4GDH є ускладненим через низькі теплофізичні характеристики огорожувальних конструкцій житлових будинків, зокрема опір теплопередачі. Хоча у 2022 році відбулося чергове збільшення значення мінімально-допустимого значення опору теплопередачі огорожувальних конструкцій [18], проте через підвищення температури внутрішнього повітря для приміщень житлових будинків, яка має підтримуватися системою опалення [19], потужність системи опалення зменшилася лише на 7 % [17]. Крім того, пода-

ча низькотемпературного теплоносія у будинки неможлива без реконструкції теплових мереж та системи опалення цих будинків. Як показали попередні дослідження, при зменшенні температури теплоносія у подавальному трубопроводі системи теплопостачання з 150 до 70 °С втрати тиску збільшилися у понад 5 разів, що призводить до збільшення потужності циркуляційних насосів, та, відповідно, до збільшення споживання електричної енергії та собівартості цих насосів [16].

Ось чому, впровадження параметрів систем теплопостачання 4GDH в Україні безпосередньо залежать від енергетичної ефективності споживачів теплової енергії. По-різному відбувається перехід до енергоефективних систем централізованого теплопостачання в старих будинках, будинках після термомодернізації та у нових будинках, зокрема при відновленні зруйнованих міст.

Метою даної роботи є встановлення заходів для підвищення енергетичної ефективності будівель шляхом впровадження систем централізованого теплопостачання в існуючих та нових будинках у післявоєнній відбудові.

ВИКЛАД ОСНОВНОГО МАТЕРІАЛУ ДОСЛІДЖЕНЬ

Перехід централізованих систем теплопостачання України на показники систем теплопостачання четвертого покоління 4GDH потребує цілісного підходу, який спирається на синергію основних зацікавлених сторін, зокрема теплогенерувальних організацій, споживачів, органів державної та місцевої влади, кожна з яких має різне бачення розвитку систем централізованого теплопостачання, яке ґрунтується на власних знаннях, життєвому досвіді та потребах [20]. Саме від їх згуртованої роботи залежить швидкість та якість прийняття оптимальних рішень.

Тому, першим кроком до підвищення енергетичної ефективності систем теплопостачання є встановлення на законодавчому рівні мінімальних значень показників, які б описували енергетичні, екологічні, економічні та соціальні їх характеристики для модернізованих та нових будівель. Після цього потрібно розробити покрокову інструкцію для поступового досягнення цих показників існуючими теплогенерувальними організаціями. Проектування нового теплогенерувального обладнання та нових теплових мереж повинно відбуватися з дотриманням запропонованих мінімально допустимих вимог до енергетичної ефективності систем теплопостачання. У державному та міському бюджеті обов'язково передбачати кошти для підвищення енергетичної ефективності систем теплопостачання до мінімальних нормативних вимог, а також розробити привабливі для інвесторів умови залучення коштів. Крім того, необхідно розробити показники доцільності впровадження систем



централізованого теплопостачання, так зване «територіальне зонування теплопостачання населеного пункту» [16].

Для можливості впровадження системи теплопостачання 4GDH існує необхідність підвищувати енергетичну ефективність існуючих будівель та проектувати нові енергоощадні будинки, зокрема при післявоєнній відбудові.

Підвищення енергетичної ефективності існуючих будівель, перш за все, полягає в їх термомодернізації. Термомодернізаційні заходи включають утеплення зовнішніх стін, горищного та підвального переkritтя, використання енергоефективних покрівель [21], заміну вікон та дверей, зменшення інфільтрації зовнішнього повітря через нещільності у зовнішніх огороженнях будинку. Після досягнення огорожувальними конструкціями мінімально-допустимих теплофізичних показників можна переходити до наступних етапів підвищення енергетичної ефективності системи теплопостачання, зокрема модернізації систем опалення, модернізації (встановлення) індивідуального теплового пункту, модернізації джерела теплоти та модернізації теплових мереж. Енергоощадні заходи, які можна використати під час таких етапів, наведено на рис. 2. Послідовність та повнота вка-

заних етапів має визначатися відповідно до нових нормативно-правових документів та показників їх енергетичної ефективності. Якщо ж термомодернізація будинку вже проведена, тоді при підвищенні енергоефективності систем теплопостачання цей етап пропускають.

Для нових будинків, зокрема при відбудові зруйнованих населених пунктів, ще на стадії проектування потрібно встановити зонування систем теплопостачання, тобто визначити частини міста, будинки і споруди яких будуть підключені до систем централізованого теплопостачання. Після цього, досягнення показників системи теплопостачання 4GDH відбувається за наступною послідовністю. При проектуванні нових будинків, зокрема при повоєнній відбудові, ще на стадії проектування будинку потрібно закладати енергоощадні рішення. Особлива увага приділяється вибору будівельного майданчика, розташування будинку відносно інших будинків, Сонця та переважаючого вітру у місцевості та енергоощадним конструкціям зовнішніх огорожень будинку. Правильні проектні рішення цих параметрів можуть дозволити зменшити споживання енергії будівлями на 80 % [22].

Для енергоощадного будинку розробити енергоощадну систему теплопостачання наба-



Рисунок 2 – Етапи підвищення енергетичної ефективності систем централізованого теплопостачання старих будинків та будинків після термомодернізації



гато простіше. За рахунок низьких енергопотреб на систему опалення є можливість у системах централізованого теплопостачання використовувати низькотемпературний теплоносіє, а, відповідно, в якості джерела тепла використовувати теплові насоси. При цьому джерелом енергії для теплових насосів можуть бути поверхневі шари ґрунту, вода річок та озер, зовнішнє повітря, геотермальні води, скидне тепло від громадських та виробничих споруд. При використанні низькотемпературного теплоносія особливою має бути і система опалення будинку. У таких випадках доцільно використовувати панельно-променісті системи опалення, в яких в якості нагрівальних приладів використовуються будівельні конструкції будинку (стіни та перекриття) з вмонтованими трубопроводами [23]. Крім того, такі будівельні конструкції можна використовувати і для обігрівання, і для охолодження приміщень. Для цього робоча рідина в холодний та теплий періоди року подається від різних джерел, відповідно, тепло- та холодопостачання. Тому, при проектуванні будинку спочатку визначаються зі споживачами енергії, а вже потім приймають рішення про джерело енергії та енергетичні ресурси, які можна використати. Так, при потребі у тепловій та електричній енергії

при проектуванні нових житлових мікрорайонів необхідно віддавати перевагу когенераційним установкам, які в якості палива використовують біомасу різного походження.

Послідовність етапів для проектування енергоощадних систем теплопостачання нових будинків, зокрема при повоєнній відбудові, та енергоощадні заходи для їх реалізації наведено на рис. 3. Показники енергетичної ефективності запроєктованих систем теплопостачання мають відповідати показникам нових нормативно-правових документів.

ВИСНОВКИ

Енергетична ефективність будівель безпосередньо залежить від її енергопотреб та викидів парникових газів при функціонуванні інженерних мереж. Одним з напрямків підвищення енергетичної ефективності будинків є використання систем централізованого теплопостачання. Тому, в умовах післявоєнної відбудови необхідно віддавати пріоритет проектуванню таких систем, а основна концепція повинна бути налаштована на будівництво нової інфраструктури за новими технологіями. В статті розглянуті показники оцінювання енергетичної ефективності централізованого

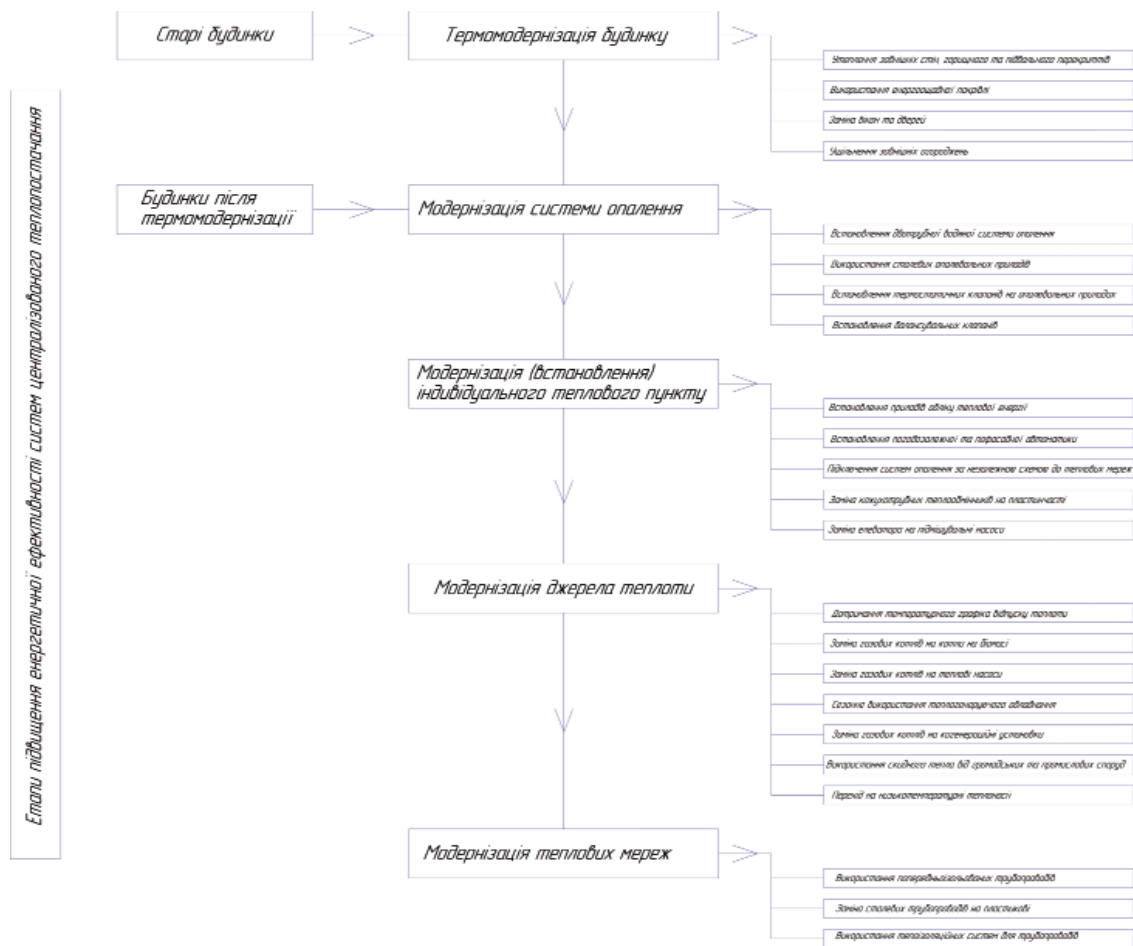


Рисунок 3 – Етапи досягнення енергетичної ефективності систем централізованого теплопостачання нових будинків (зокрема при післявоєнній відбудові)



теплопостачання згідно з європейськими вимогами та обґрунтовано необхідність введення національних стандартів, які би запропонували кількісні показники енергетичної ефективності систем централізованого теплопостачання. Крім того, у статті наведені заходи для підвищення енергетичної ефективності систем централізованого теплопостачання для забезпечення тепловою енергією старих будинків, будинків після термомодернізації та нових будинків, зокрема при післявоєнній відбудові.

БІБЛІОГРАФІЧНИЙ СПИСОК

1. Сістані Е. М., Ковальчук І., Ушилайтешульте Л., фон Краузе-Кон М., Кабакова М., Жук О., Шмельхер С., Бондарук В. Посібник для України. Трансформація системи теплопостачання. Частина А: Цілі та загальні умови. Переклад: Д-р Юрій Сильвестров, Вид-во: Німецьке енергетичне агентство ГмБХ Deutsche Energie-Agentur GmbH (dena), 2020. 48 с.
2. Карп, І. М., Нікітін, Є. Є., П'яних, К. Є. та ін. Стан та шляхи розвитку системи централізованого теплопостачання в Україні. Київ: Наукова думка, 2021. Книга 1. 264 с.
3. Фіалко Н. М., Тимченко М. П. Особливості систем централізованого теплопостачання України. Міжнародний науковий журнал «Інтернаука». 2023. № 3. 9 с.
4. Звіт про результати діяльності Національної комісії, що здійснює державне регулювання у сферах енергетики та комунальних послуг у 2019 р. Київ, 2020. 354 с.
5. Теплозабезпечення великих міст України: поточний стан і напрями модернізації: кол. моногр. / за ред. М. О. Кизима, Є. І. Котлярова. Харків: ФОП Лібуркіна Л. М., 2021. 340 с.
6. Кизим М. О., Хаустова В. Є., Котляров Є. І. Специфіка господарських відносин у теплоенергетиці України. Бізнесінформ. 2023. № 8. С. 157-170.
7. Нинько Д. Опалювальний сезон під час війни: чи буде в українців тепло? URL: <https://p.dw.com/p/4IycM> (дата звернення: 25.10.2023).
8. Фаренюк Г. Г. Вплив екстремальних дій на експлуатаційну придатність та надійність конструкцій фасадної теплоізоляції. Наука та будівництво. 2023. № 2. С.3-11.
9. Туди прийшов «руський мир»: які міста України були повністю або частково зруйновані під час війни. URL: <https://www.slovoidilo.ua/2023/02/03/infografika/suspilstvo/tudy-pryshov-ruskyj-myryaki-mista-ukrayiny-buly-povnistyu-abo-chastkovo-zruynovani-vijny> (дата звернення: 25.10.2023).
10. Lund, H.; Werner, S.; Wiltshire, R.; Svendsen, S., Thorsen, J.E.; Hvelplund, F. 4th Generation District Heating (4GDH). Integrating smart thermal grids into future sustainable energy systems. Energy. 2014. № 68. Pp. 1-11.
11. Lund, H.; Østergaard, P.A.; Chang, M.; Werner, S.; Svendsen, S.; Sorknæs, P. The status of 4th generation district heating: research and results. Energy. 2018. № 164. Pp. 147-159.
12. Гламаздін П. М., Баранчук К. О., Приймак О. В. Нові підходи до організації централізованого теплопостачання. Вентиляція, освітлення та теплогазопостачання. 2021. № 39. С. 38-46.
13. Ivančić, A.; Romanić, J.; Salom, J.; Cambronero, M.V. Performance assessment of district energy systems with common elements for heating and cooling. Energies. 2021. № 14. Pp. 2334.
14. Savchenko, O.; Yurkevych, Y.; Liubuska, I. Spatial analysis of renewable energy sources in Lviv region. Energy Engineering and Control Systems. 2023. № 9(1). Pp. 22 – 30.
15. Кизим М. О., Котляров Є. І., Хаустова В. Є. Аналіз тенденцій розвитку централізованого теплопостачання в Україні. Бізнесінформ, 2023. № 8. С. 68-81.
16. Керівництво з розробки схем теплопостачання. Проєкт енергетичної безпеки (ПЕБ). Київ: USAID, 2021. 264 с.
17. Savchenko, O.; Yurkevych, Y.; Voznyak, O.; Savchenko, Z. Assessment of the possibility of transferring Ukrainian district heating systems to low-temperature coolants. Theory and Building Practice. 2023. № 5 (1). Pp. 28–36.
18. ДБН В.2.6-31:2021. Теплова ізоляція та енергоефективність будівель. Київ: Міністерство розвитку громад та територій України, 2022. 27 с.
19. ДБН В.2.2-15:2019. Житлові будинки. Основні положення. Київ: Міністерство регіонального розвитку, будівництва та житлово-комунального господарства України, 2019. 42 с.
20. Angelidis, O.; Ioannou, A.; Friedrich, D.; Thomson, A. & Falcone, G. District heating and cooling networks with decentralised energy substations: Opportunities and barriers for holistic energy system decarbonisation. Energy. 2023. № 269.
21. Savchenko, O. A review of energy saving and energy effective roofings. Zeszyty Naukowe Politechniki Częstochowskiej. Budownictwo. 2021. № 27. Pp. 219–224.
22. Lechner, N. Heating, cooling, lighting: sustainable design methods for architects.



- New Jersey: Wiley, 2020. 40 p.
23. Villar-Ramos, M. M.; Hernández-Pérez, I.; Aguilar-Castro, K. M.; Zavala-Guillén, I.; Macias-Melo, E.V.; Hernández-López, I.; Serrano-Arellano, J. A review of thermally activated building systems (TABS) as an alternative for improving the indoor environment of buildings. *Energies*. 2022. № 15. Pp. 61-79.

REFERENCES

1. Sistanii, E. M., Kovalchuk, I., Ushylaytite-Shulte, L., von Krauze-Kon, M., Kabakova, M., Zhuk, O., Shmelkher, S., & Bondaruk, V. (2020). Handbook for Ukraine: Transformation of the heating system. Part A: Objectives and General Conditions. German Energy Agency GmbH Deutsche Energie-Agentur GmbH.
2. Karp, I. M., Nikitin, Y. Y., Pyanykh, K. Y., et al. (2021). State and Development Paths of the Centralized Heating System in Ukraine (Book 1). Kyiv: Naukova dumka.
3. Fialko, N. M., & Tymchenko, M. P. (2023). Features of centralized heating systems in Ukraine. *International Scientific Journal "Internauka,"* 3, 9.
4. National Commission for State Regulation in the Energy and Utilities Sectors. (2020). Report on the Results of Activities in 2019. Kyiv.
5. Kyzim, M. O., & Kotlyarov, Y. I. (Eds.). (2021). Heat Supply in Large Cities of Ukraine: Current State and Modernization Directions. Kharkiv: FOP Liburkina L. M.
6. Kyzim, M. O., Haustova, V. Ye., & Kotlyarov, Y. I. (2023). Specifics of Economic Relations in the Thermal Power Industry of Ukraine. *Biznesinform*, 8, 157-170.
7. Nynko, D. (2022). Heating season during the war: Will Ukrainians have warmth? Retrieved from <https://p.dw.com/p/4IycM>
8. Farenjuk, G. G. (2023). Impact of extreme actions on the operational suitability and reliability of facade thermal insulation structures. *Science and Construction*, 2, 3-11.
9. SlovoDilo.ua. (2023). The "Russian world" came there: which cities of Ukraine were completely or partially destroyed during the war. Retrieved from <https://www.slovoidilo.ua/2023/02/03/infografika/suspilstvo/tudy-pryjshov-ruskyj-myr-yaki-mista-ukrayiny-buly-povnistyu-abo-chastkovo-zrujnovani-vijny>
10. Lund, H.; Werner, S.; Wiltshire, R.; Svendsen, S.; Thorsen, J.E.; Hvelplund, F. et al. (2014) 4th Generation District Heating (4GDH). Integrating smart thermal grids into future sustainable energy systems. *Energy*, 68, 1-11.
11. Lund, H.; Østergaard, P.A.; Chang, M.; Werner, S.; Svendsen, S.; Sorknæs, P. et al. (2018) The status of 4th generation district heating: research and results. *Energy*, 164, 147-159.
12. Glamazdin, P. M., Baranchuk, K. O., & Priymak, O. V. (2021). New approaches to the organization of centralized heating. *Ventilation, Lighting, and Heat Gas Supply*, 39(4), 38-46.
13. Ivančić, A.; Romanić, J.; Salom, J.; Cambro-nero, M.V. (2021) Performance assessment of district energy systems with common elements for heating and cooling. *Energies*, 14, 2334.
14. Savchenko, O.; Yurkevych, Y.; Liubuska, I. (2023) Spatial analysis of renewable energy sources in Lviv region. *Energy Engineering and Control Systems*, 9 (1), 22 – 30.
15. Kyzym, M. O., Kotlyarov, Y. I., & Haustova, V. Ye. (2023). Analysis of trends in the development of centralized heating in Ukraine. *Biznesinform*, 8(68-81).
16. USAID. (2021). Guidelines for the development of district heating schemes. Energy Security Project (ESP). Kyiv.
17. Savchenko, O.; Yurkevych, Y.; Voznyak, O.; Savchenko, Z. (2023) Assessment of the possibility of transferring Ukrainian district heating systems to low-temperature coolants. *Theory and Building Practice*, 5 (1). 28–36.
18. DBN V.2.6-31:2021. (2022). Thermal insulation and energy efficiency of buildings. Kyiv: Ministry of Community and Territorial Development of Ukraine.
19. DBN V.2.2-15:2019. (2019). Residential buildings. Basic provisions. Kyiv: Ministry of Regional Development, Construction, and Housing and Communal Services of Ukraine.
20. Angelidis, O.; Ioannou, A.; Friedrich, D.; Thomson, A. & Falcone, G. (2023). District heating and cooling networks with decentralised energy substations: Opportunities and barriers for holistic energy system decarbonisation. *Energy*, 269.
21. Savchenko, O. (2021) A review of energy saving and energy effective roofings. *Zeszyty Naukowe Politechniki Częstochowskiej. Budownictwo*. 27. 219–224.
22. Lechner, N. (2020). Heating, Cooling, Lighting: Sustainable Design Methods for Architects. New Jersey: Wiley.
23. Villar-Ramos, M. M.; Hernández-Pérez, I.; Aguilar-Castro, K. M.; Zavala-Guillén, I.; Macias-Melo, E.V.; Hernández-López, I.; Serrano-Arellano, J. (2022) A review of thermally activated building systems (TABS) as an alternative for improving the indoor environment of buildings. *Energies*, 15, 61-79.

Стаття надійшла до редакції 10 листопада 2023 р.



Doi: <https://doi.org/10.33644/2313-6679-4-2023-7>

УДК 691.32



АРСІРІЙ В. А.

Доктор техн. наук, професор, професор кафедри, Одеська державна академія будівництва та архітектури, м. Одеса, Україна, тел.: +38 (067) 559-89-85, e-mail: arsirij@odaba.edu.ua ORCID: 0000-0003-3617-8487



КРОШКА О. В.

Аспірант, Одеська державна академія будівництва та архітектури, м. Одеса, Україна, тел.: +38 (096) 767-38-38, e-mail: Kolvi@epg.kolvi.com ORCID: 0000-0003-0975-3079

ТЕРМО- І АЕРОМОДЕЛІ ПРОЦЕСІВ ГАЗОТРУБНИХ КОТЛІВ

АНОТАЦІЯ

Забезпечення житлових комплексів електричною та тепловою енергією стає одним із пріоритетних завдань України. Руйнування інфраструктури житлових комплексів потребують оперативного відновлення енергетичних систем. Газотрубні котли є хорошим варіантом швидкої установки теплової генерації як житлового, так і промислового комплексів. Головна особливість таких котлів – організація динаміки термо- та аеропроектів у трубах з гарячими димовими газами. Численні дослідження вказують на проблеми із забезпеченням інтенсифікації теплообміну на кордоні газ – метал та аналізу результатів при зіставленні змін термо- та аеропроектів. Неоднозначності при аналізі енергетичних змін дають суперечливі рекомендації щодо розробки нових конструкцій котлів.

Метою роботи є підвищення потужності та покращення енергетичних показників газотрубних котлів за рахунок інтенсифікації теплообміну при передачі тепла на кордоні газ – метал із забезпеченням помірних змін опорів елементів газового тракту котлів. Потреба масового відновлення систем забезпечення житлових комплексів теплом робить актуальним питання вдосконалення котельного обладнання із простими конструктив-

ними елементами та забезпеченням високих енергетичних показників.

Для підвищення наочності термо- та аеропроектів та можливості аналізу результатів досліджень з метою вдосконалення обладнання запропоновано дві графічні моделі подання динаміки термо- та аеропроектів на основі коефіцієнтів опорів та коефіцієнтів динамічності. Нові моделі вимагають переосмислення та переробки законів, що описують процеси динаміки різного роду енергетичних процесів. Забезпечення подібності та уніфікації динаміки електро-, термо- та аеропроектів дозволять коректно поєднувати зміни енергетичних параметрів та коефіцієнтів пропорційності динаміки та потенціалів при виконанні завдань удосконалення каналів обладнання та систем. Наочні енергетичні моделі повинні спростити аналіз результатів під час пошуку рішень, які забезпечують підвищення теплової потужності різного енергетичного устаткування.

КЛЮЧОВІ СЛОВА: котли газотрубні, потужність, термо- та аеропроекти, опори та динамічність, вдосконалення.

THERMAL AND AERO MODELS OF GAS TUBE BOILER PROCESSES



ABSTRACT

Providing residential complexes with electrical and thermal energy is becoming one of the priorities of Ukraine. Destruction of the infrastructure of residential complexes requires prompt restoration of energy systems. Gas-tube boilers are a good option for quickly installing thermal generation in both residential and industrial complexes. The main feature of such boilers is the organization of the dynamics of thermal and aero processes in pipes with hot flue gases. Numerous studies indicate problems with ensuring the intensification of heat transfer at the gas-metal interface and analyzing the results when comparing changes in thermal and aero processes. Ambiguities in the analysis of energy changes provide conflicting recommendations for the development of new boiler designs.

The aim is to increase the power and improving the energy performance of gas-tube boilers by intensifying heat exchange during heat transfer at the gas-metal interface, ensuring moderate changes in the resistance of the elements of the gas path of the boilers. The need for massive restoration of heat supply systems for residential complexes makes the issue of improving boiler equipment with simple structural elements and ensuring high energy performance relevant.

To increase the visibility of thermal and aero processes and the possibility of analyzing research results in order to improve equipment, two graphical models for representing the dynamics of thermal and aero processes based on resistance coefficients and dynamism coefficients are proposed. New models require rethinking and reworking of laws representing the dynamics of various types of energy processes. Ensuring similarity and unification of the dynamics of electrical, thermal and aero processes will make it possible to correctly combine changes in energy parameters and proportionality coefficients of dynamics and potentials when performing tasks of improving equipment channels and systems. Visual energy models should simplify the analysis of results when searching for solutions to increase the thermal power of various energy equipment.

KEYWORDS: gas-tube boilers, power, thermal and aero processes, resistance and dynamics, improvement.

ВСТУП

Забезпечення житлових комплексів електричною та тепловою енергією стає одним із пріоритетних завдань України. Перерви електро- та теплопостачання через природні катаклізми ще кілька десятиліть тому розглядалися як форс-мажор. Однак, у період воєнної агресії масова руйнація енергетичної інфраструктури міст потребує оперативного відновлення систем опалення. Швидким та економічним варіантом виготовлення та встановлення обладнання для

генерації тепла можна вважати газотрубні котли (ГТК).

Відмінності газотрубних котлів від водотрубних згідно з ГОСТ 23172-78 [1] у тому, що в трубах необхідно забезпечити рух продуктів згоряння палива з високою температурою. Рух та нагрівання води необхідно організовувати у міжтрубному просторі. Головними перевагами ГТК є швидке виготовлення; використання простих видів сталі, що знижує собівартість виготовлення у поєднанні зі швидкою установкою та простою управління та обслуговування. Історія використання ГТК налічує вже кілька століть від паровозів та пароплавів до сучасних котельні різних фірм: Veretta, Ferroli, Lamborghini в Італії, Bosch у Німеччині та Колві в Україні. Незважаючи на довгу історію використання ГТК, залишається низка проблем, які потребують наукових досліджень з метою покращення енергетичних процесів.

Однією з головних проблем ГТК є необхідність інтенсифікації теплообміну під час передачі тепла на межі газу – металу. Перешкодою вирішення цієї проблеми є непропорційно велике зростання опорів елементів газового тракту котлів, особливо у місцях, де виконуються технічні заходи з метою інтенсифікації коефіцієнтів тепловіддачі. Незважаючи на численні дослідження з метою інтенсифікації теплообміну, рекомендації для вдосконалення газотрубних котлів мають багато різночитань [2] та невизначеностей [3, 4].

АНАЛІЗ ОСТАННІХ ДОСЛІДЖЕНЬ І ПУБЛІКАЦІЙ

Потреба масового відновлення систем забезпечення житлових комплексів теплом робить актуальним питання вдосконалення котельного обладнання із простими конструктивними елементами та забезпеченням високих енергетичних показників [5]. Огляд результатів досліджень на тему збільшення теплової потужності котлів за рахунок інтенсифікації теплообміну дозволив виділити чотири види заходів та використання пристроїв для підвищення коефіцієнта тепловіддачі на межі метал – газ: 1 – у трубі виконується внутрішнє ребро; 2 – вставка в газотрубний простір кручених стрічок, петель та інших турбулізаторів; 3 – труби виконують гофрованою або крученою геометрією; 4 – труби всередині або зовні можуть мати виступи чи заглиблення [5].

У статті розглянуто питання збільшення теплопередачі та зміни коефіцієнта тертя для простих методів використання скручених стрічок або спіралей у трубах. У більшості випадків коефіцієнти збільшення тепловіддачі для газів знаходяться в межах 2 - 4, при цьому збільшення коефіцієнта тертя зазвичай істотно вище, ніж коефіцієнт тепловіддачі [6, 7] і може бути більше 10. Всі чотири варіанти інтенсифікації



теплообміну пов'язані зі зміною геометрії проточних частин, але поки що найпростіший варіант використання спіралей дає найбільше збільшення коефіцієнта тертя [8, 9]. Це приводить до збільшення витрат енергії на роботу нагнітача повітря. Результати численних досліджень теплообміну зазвичай є відношенням отриманих коефіцієнтів тепловіддачі при використанні турбулізації α_i до коефіцієнтів звичайних труб α_0 , а також ставленням коефіцієнтів аероопорів R або f . У табл. 1 показано збільшення динаміки тепла та, відповідно, коефіцієнтів тепловіддачі (α_i / α_0) та коефіцієнтів тертя (f_i / f_0) у трубах.

Можна виділити два основні висновки з аналітичних оглядів різних варіантів інтенсифікації теплообміну:

- 1 – кількість досліджень кручених стрічок і простих спіралей у кілька разів перевищує сумарну кількість інших варіантів посилення теплообміну.
- 2 – широкий діапазон невизначеності при спробах визначити кореляцію співвідношення коефіцієнта теплопередачі та коефіцієнта тертя для різних режимів як для вставлених стрічок, так і для вихрових генераторів.

При представленні всіх варіантів досліджень фіксується поліпшення теплообміну як головний фактор, а значне збільшення аероопорів і підвищення витрат енергії на втрати тиску – як супутня проблема. Отже, важливо кількісно та наочно уявити спільні зміни параметрів динаміки термо- та аеропроектів даного методу поліпшення.

Окремо слід зазначити роботи про можливість збільшення інтенсивності теплообміну в 2 рази і більше за незначного збільшення втрат в аеросистемі [10, 11]. Результати успішного використання запропонованого методу збільшення динаміки теплових процесів представлені у трубах змінного перерізу [12, 13].

ПОСТАНОВКА ЗАВДАННЯ

Метою роботи є розробка моделей представлення параметрів термо- та аеропроектів в еле-

Таблиця 1 – Діапазон збільшення динаміки у вигляді зміни коефіцієнтів перенесення теплоти α_i / α_0 та зміни коефіцієнтів опорів f_i / f_0 руху газів

	Метод збільшення теплообміну	Діапазон зміни α_i / α_0	Діапазон зміни f_i / f_0
1	Внутрішнє ребріння труб	1 - 6	1,5 - 14
2	Кручені стрічки або спіралі в трубі	1,5 - 6	2 - 200
3	Гофрування труб	1 - 3	1,5 - 10
4	Виступи або поглиблення у трубах	1 - 4	1 - 8

ментах котлів для спрощення та наочного аналізу зміни динамічних процесів у рамках одного виду енергії.

Зміна питомої потужності котлів у межах певних конструктивних розмірів може виконуватися за допомогою вдосконалення геометрії проточних частин, що впливає на термо- і аеропараметри. Тому головним завданням досліджень є забезпечення сумісності змін термо- та аероопорів (при зміні геометрії проточних частин) для формування позитивних змін балансу енергетичних процесів у котлах.

Для аналізу процесів котлів доцільно вирішити задачу розробки порівняних термо- та аеромоделей, які зможуть уявляти (описувати) динаміку процесів різного енергетичного призначення. Пріоритетом виконання поставлених завдань має бути пошук наочної та логічної подоби математичного та графічного зображень динаміки різних видів енергії.

РЕЗУЛЬТАТИ ДОСЛІДЖЕННЯ ТА ЇХ ІНТЕРПРЕТАЦІЯ

Для можливості наочного аналізу результатів розв'язання задач покращення теплообміну з одночасною помірною зміною аероопорів у газотрубному просторі котлів розроблено дві моделі енергетичних процесів: 1 – модель перенесення тепла через металеву стінку; 2 – модель руху газів. На рис. 1 представлена схема котла Колві, де позначені етапи динамічних процесів різної природи (термо- та аеропроекти).

Вхід і вихід води в котлі позначені цифрою 1, оскільки необхідно обґрунтування напрямку руху води в корпусі. Подача газу 2 і повітря 3 формують зону горіння 4. Об'єктом досліджень є тракт 5 – 11 руху продуктів горіння в котлі від жарової труби до виходу 12 до димової труби.

У статті розглянуто два процеси: 1 – теплообмін області точки 10 від димових газів із температурою 200°C через стінку труби до води температурою 50°C; 2 – рух димових газів від ділянки 7 – 8 (тертя газів об стінку жарової труби), поворот потоку на 180°C (точки 8 – 9) та ділянка 9 – 10 у трубі, де необхідно вирішити проблему покращення теплообміну на межі газ – метал.

Аналіз численних досліджень на тему інтенсифікації теплообміну в газотрубних котлах показав, що у трубах з димовими газами часто встановлюють вставки зміни динаміки потоків, що збільшує коефіцієнт тепловіддачі межі газ – стінка. Однак це призводить до непропорційного збільшення коефіцієнта тертя. На рис. 2 показаний розріз котла Колві, де основним проблемним елементом можна вважати труби зі спіральними вставками для покращення теплообміну на межі газ – стінка.

Вже є достатній досвід зниження опорів в елементах аеросистем із використанням

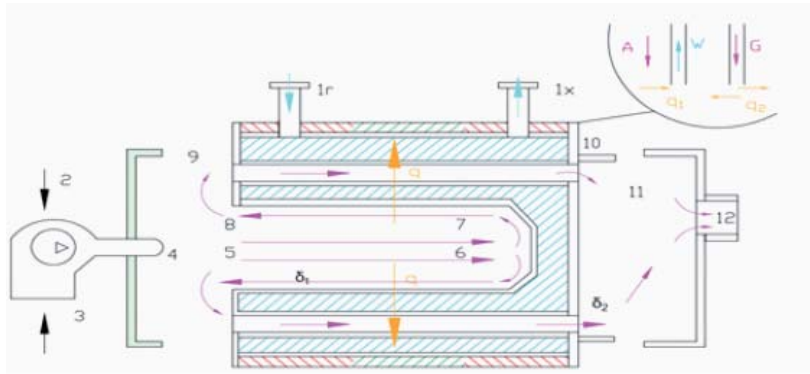


Рисунок 1 – Схема газотрубного котла та динаміки аеро- та термопроцесів



Рисунок 2 – Спіральні вставки для покращення теплообміну в газотрубних котлах:

- а – розріз термочастини котла Колві;
- б – вставка-спіраль для інтенсифікації теплообміну

візуальної діагностики структури потоків [14]. Зниження аероопорів допоможе вирішити поставлене завдання вдосконалення котлів. Важливим чинником, який може прискорити впровадження пропозицій, можна вважати розробку наочних графічних моделей та методів представлення енергетичних процесів та технологій, які наочно представляють позитивний вплив зниження термо- і аероопорів на енергетичні показники котлів. Графічні моделі повинні відображати суть енергетичних явищ різної природи та показувати логіку та сумісність математичних та графічних уявлень процесів.

У сучасних уявленнях про енергії різної природи завжди можна виділити дві компоненти: потенціал P та динаміку D . Потенціалами P у гідро- та аеросистемах є тиск P ; для змін теплоти – температура T ; для електрики напруга – U . Саме потенціали є першопричиною формування руху тепла, потоків, електрики. Динамікою D (грецька - робота, рух) або динамічною складовою енергії сьогодні є: кількість руху у вигляді подачі Q [м³/с] або маси, що переміщується, M [кг/с]; для термічних змін повинна пред-

ставлятися на основі кількості речовини з урахуванням теплоємності c ; для електрики – сила струму – I [Ампер]. В рамках закону збереження енергії показник потужності N розраховується як добуток потенціалу та динаміки $N = P \cdot D$ (рис. 3а).

Уніфікація одиниць вимірювання потужності (Ватт – W) дала можливість розробити коефіцієнт ефективності як відношення початкової N_1 і кінцевої N_2 величин потужності різних видів енергії (рис. 2б). Коефіцієнт ефективності $\eta = N_2 / N_1$ забезпечує наочність розв'язання задачі підвищення якості роботи енергетичних технологій, тому ефективності котлів, турбін, насосів мають значення $\eta > 0,85$.

Багато проблем енергетичних технологій можна пов'язати з впливом на якість енергетичних процесів коефіцієнтів опору, що залишаються невиправдано великими. У ряді випадків виконання робіт з метою зниження опорів призводить до парадоксального зниження ефективності головного елемента системи (вентилятори, компресори)

за межі допустимих значень, призначених у правилах проектування [15]. У розрахунках показника потужності і ККД або ефективності коефіцієнти опорів відсутні. Для відображення впливу опорів на енергетичні процеси доцільно виконати аналіз поняття динаміки D , яка прямо пропорційна сумі сил чи потенціалів P та обернено пропорційна величинам опорів R :

$$D = P / (R + 1) \quad (1)$$

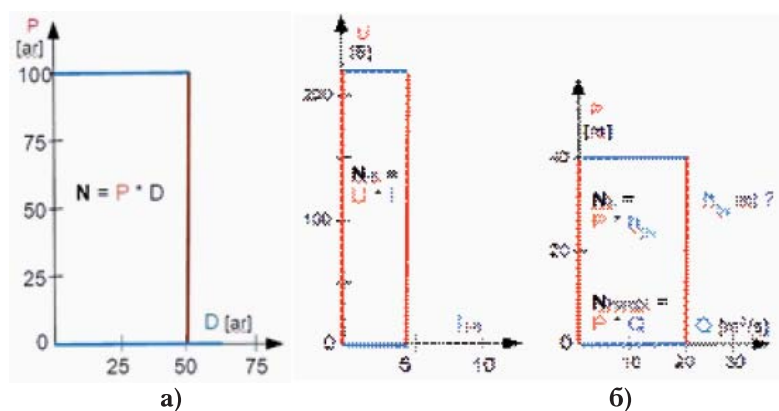


Рисунок 3 – Модель розрахунку та зіставлення потужності – енергії різної природи

- а – модель розрахунку потужності як добуток потенціалу та динаміки;
- б – аналіз трансформації енергії в компресорі з використанням показника потужності



У існуючих моделях, гіпотезах, законах (на відміну від закону збереження енергії, де потенціал Π і динаміка D перемножуються) опір R показує обернено пропорційну залежність двох основних компонент. Для електрики це закон Ома $I = U / R_{ef}$; для теплових процесів – гіпотеза Фур'є та закон Ньютона $q = \Delta T / R_r$. Для представлення динаміки в гідро- та аеросистемах використовують формулу Торрічеллі:

$$V = \frac{\sqrt{2k\Delta P}}{\sqrt{R+1}} \quad (2)$$

На відміну від законів Ньютона та Ома у формулі Торрічеллі нелінійна залежність між величиною швидкості та компонентом потенціалу. Однак, якщо формулу Торрічеллі виразити через складові рівняння Бернуллі, можна буде виділити динамічний компонент питомої енергії $h_{dy} = kV^2/2$. Динамічна складова енергії h_{dy} лінійно співвідноситься з потенціалом. Ще одна особливість формули розрахунку динамічної складової гідрота аеросистем – опір використовується з різними коефіцієнтами, близькими до одиниці:

$$h_{dy} = \Delta P / (R + I) \quad (3)$$

Використання коефіцієнта гідроопорів разом з одиницею $(R + I)$ можна пояснити тим, що при зниженні опору до нуля показник динаміки не буде прагнути нескінченності, як це відбувається в електриці, де при малих опорах можливе явище короткого замикання. Але потрібне пояснення – чому немає одиниці у законі Ньютона.

Коефіцієнти опорів, як термічні, так і в аеросистемі, відіграють важливу роль при розрахунках та виконанні аналізу динаміки процесів в обладнанні. Для поліпшення наочності моделювання як теплових, так і аеропроектів доцільно розділити поняття коефіцієнт опорів і коефіцієнт динамічності. Коефіцієнти тепловіддачі α [W/m²K] наочно показують кількість тепла на одиницю простору та на одиницю вимірювання потенціалу (температури). Їх можна назвати провідністю чи динамізмом перенесення теплоти. Однак, для розрахунку питомого потоку теплоти q [W/m²] використовують коефіцієнти опорів усіх елементів $R_i = I / \alpha_i$. Тільки після розрахунку теплового потоку можна розрахувати значення температур у проміжних точках процесу з використанням коефіцієнтів тепловіддачі α або коефіцієнтів теплопровідності λ . На рис. 4 показано два варіанти моделі теплових процесів на основі закону Ньютона: 1 модель – з використан-

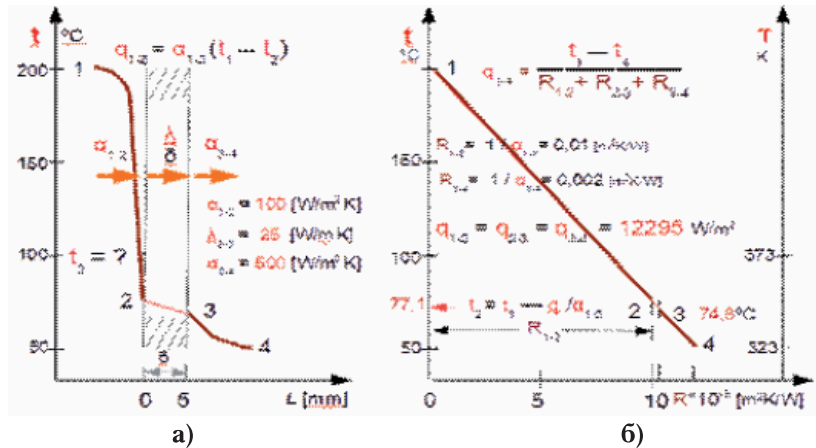


Рисунок 4 – Модель перенесення руху тепла через стінку при $\alpha_{1,2} = 100$ Вт/м²К

а – модель динаміки з коефіцієнтами провідності тепла;

б – модель динаміки з коефіцієнтами опорів під час руху тепла

ням коефіцієнтів тепловіддачі α ; 2 модель – з використанням коефіцієнтів опорів $R = I / \alpha$.

Тобто, використовуючи коефіцієнти тепловіддачі $\alpha_{1,2}$ та $\alpha_{3,4}$ теплопровідності $\lambda_{2,3}$ під час руху тепла через стінку, немає можливості розрахувати кількість тепла та розподіл температур у різних точках переміщення теплової енергії (рис. 4а). Модель закону Ньютона до розрахунку потоку теплоти передбачає використання суми опорів $R = R_{1,2} + R_{2,3} + R_{3,4}$. Представлена графічна модель теплових процесів, що складається з двох графіків, може використовуватися як комплекс графічного методу визначення значень потоку теплоти та розподілу температур у різних точках процесу. Модель теплових процесів може використовуватись для моделювання зміни параметрів (ув'язування параметрів теплової системи). У разі використання турбулізатора – спіралі для інтенсифікації теплообміну – коефіцієнт тепловіддачі з боку димових газів може бути збільшений до $\alpha_{1,2} = 200$ Вт/м²К і більше. Модель динаміки тепла дозволяє виявити перерозподіл температур у різних точках теплового процесу без додаткових розрахунків. При зниженні термоопору від $R_{1,2} = 10 \cdot 10^{-3}$ до величини $R_{1,2} = 5 \cdot 10^{-3}$ динаміка тепла збільшиться від $q = 12295$ Вт/м² до $q = 20833$ Вт/м².

Для можливості спільного аналізу змін динаміки теплих та аеропроектів розроблена модель динаміки аеропроектів, подібна до моделі динаміки теплових процесів (подібна до двох різних видів прояву енергії). Як модель гідрота аеропроектів використаний метод професора Ботука Б.О. [16, 17], де на основі законів руху води (рівняння Бернуллі та формула Торрічеллі) сформульовано метод розрахунку динаміки потоків з урахуванням опорів та розрахунку втрат тиску (графічна ув'язка параметрів гідросистеми). У моделі аеросистеми досліджено процес руху димо-

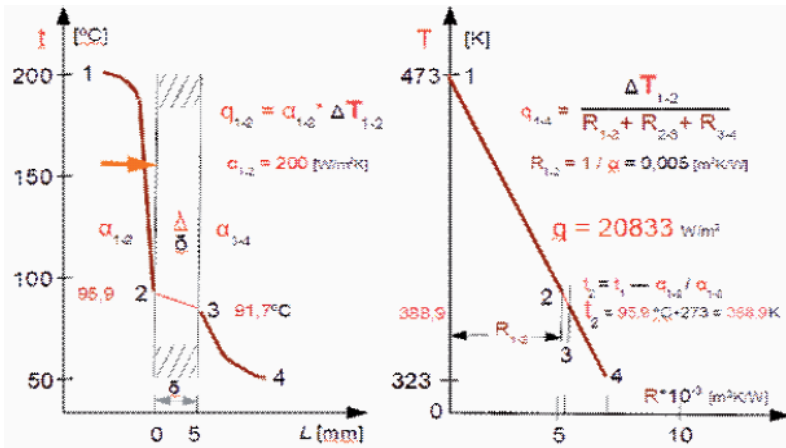


Рисунок 5 – Модель динаміки перенесення тепла через стінку 1-2 = 200 Вт/м²К

а) б)

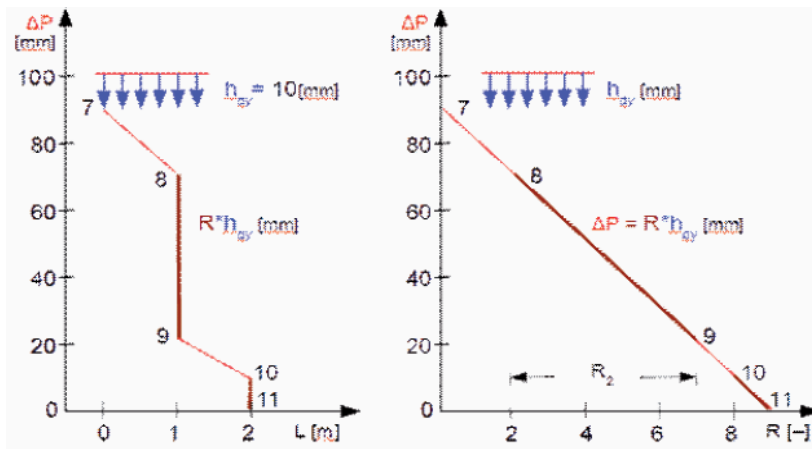


Рисунок 6 – Модель динамічних процесів в аеросистемі при $\Sigma R = 9$:

а – модель втрат тиску (місцевих та за довжиною);
б – модель динаміки з коефіцієнтами опорів.

вих газів у котлі: тертя газів об стінку жарової труби між струмами 7 – 8, поворот потоку на 180° між струмами 8 – 9 та рух газів у трубі на ділянці 9 – 10, де сумарний термоопір $R = 9$.

Аналіз представленої моделі дає змогу визначити те, що кожна одиниця коефіцієнта опору показує кратність втрати динамічної складової енергії. При сумарному опорі $\Sigma R = 9$ динамічна складова енергії становить лише 10 % від вихідного потенціалу $P = 100$ [мм = ДаПа]. Використання вставки-турбулізатора для інтенсифікації тепловіддачі може призвести до збільшення аероопорів. Для збереження балансу в аеросистемі можна використовувати метод удосконалення геометрії повороту потоку, який може зменшити опір у повороті потоку на 180° (т. 8 – 9) від $R_{2,1} = 5$ до $R_{2,2} = 2$ і менше. Таке зни-

ження опору компенсує збільшення сумарного опору аеросистеми через вставку. Модель динамічних процесів дає можливість виконати моделювання та наочний аналіз зміни термо- та аеропараметрів системи.

При зниженні опору повороту 180° від $R_{2,1} = 5$ до величини $R_{2,2} = 2$ динамічна складова збільшиться на 40 % і становитиме 14 % від величини повного тиску $P = 100$ мм. Така зміна динаміки системи дозволить використовувати вставки в газовій трубі для інтенсифікації теплообміну без змін балансів теплової, аеро- та електричної енергії під час роботи котла. Використання запропонованих моделей динаміки може дозволити моделювати та аналізувати заходи з метою збільшення потужності котла із забезпеченням покращення комплексу енергетичних параметрів.

ВИСНОВКИ ТА ПЕРСПЕКТИВИ ПОДАЛЬШИХ РОЗРОБОК

Пошук варіантів підвищення теплової потужності котлів забезпечується зміною геометрії проточних частин, що має позитивно впливати на динаміку як термо-, так і аеропроцесів. Збільшення потужності котлів виражають формули розрахунку у межах закону збереження енергії. При цьому досягти результату збільшення потужності легше зменшенням опорів. Опір є коефіцієнтами пропорційності між двома компонентами енергії: потенціал Π та динаміка D . Потенціалом можна вважати суму сил, а динаміка може представляти результуючу кількість руху. Тому, основою подальшої розробки моделей динаміки термо- та аеропроцесів можуть

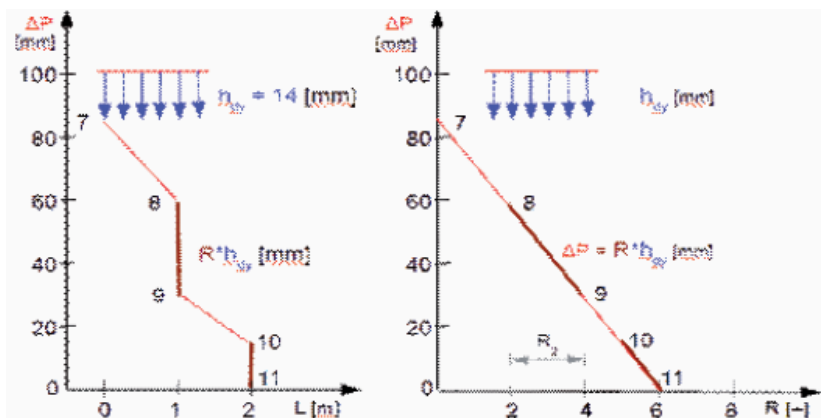


Рисунок 7 – Модель динамічних процесів в аеросистемі при $\Sigma R = 6$



бути базові положення закону імпульсів.

Для представлення та аналізу процесів в окремих елементах котлів розроблено дві графічні моделі термо- та аеропроектів, які спільно становлять енергетичні та динамічні зміни параметрів. Подібність графічних термо- та аеропроектів дозволить прогнозувати та наочно аналізувати варіанти технічних рішень збільшення теплової потужності котлів за рахунок інтенсифікації теплообміну, при збереженні прийняттого рівня витрат енергії на роботу вентиляторів.

БІБЛІОГРАФІЧНИЙ СПИСОК

1. Поверхня нагріву котла. Вікіпедія. Вільна енциклопедія. https://uk.wikipedia.org/wiki/Поверхня_нагріву_котла
2. Бонар Л.А. Енергетична та екологічна ефективність водогрійних котлів малої потужності: автореферат. Київ: Вінницький національний технічний університет., 2010. 21с.
3. W.T. Ji, A.M. Jacobi, Y.L. He, W.Q. Tao. Summary and evaluation on single-phase heat transfer enhancement techniques of liquid laminar and turbulent pipe flow. *International Journal of Heat and Mass Transfer*. 2015. № 88. С. 735–754.
4. Nikulin A., Moita A.S., Moreira A.L.N., Murshed S.M.S., Huminic A., Grosu Y., Faik A., Nieto-Maestre J., Khliyeva O. Effect of Al₂O₃ nanoparticles on laminar, transient and turbulent flow of isopropyl alcohol. *International Journal of Heat and Mass Transfer*. 2019. № 130. С. 1032-1044.
5. R.M. Manglik, A.E. Bergles. Heat transfer and pressure drop correlations for twisted-tape inserts in isothermal tubes: part I—laminar flows. *Journal of Heat Transfer-transactions of The Asme*. 1993. № 115. С. 881–889.
6. R.M. Manglik, A.E. Bergles. Heat transfer and pressure drop correlations for twisted-tape inserts in isothermal tubes: Part II—Transition and turbulent flows. *Journal of Heat Transfer-transactions of The Asme*. 1993. № 115 (4). С. 890–896.
7. S.W. Chang, T.L. Yang, J.S. Liou. Heat transfer and pressure drop in tube with broken twisted tape insert. *Experimental Thermal and Fluid Science*. 2007. № 32 (2). С. 489–501.
8. S.W. Chang, Y.J. Jan, J.S. Liou. Turbulent heat transfer and pressure drop in tube fitted with serrated twisted tape. *International Journal of Thermal Sciences*. 2007. № 46 (5). С. 506–518.
9. M. Bhuiya, M. Chowdhury, M. Saha, M. Islam. Heat transfer and friction factor characteristics in turbulent flow through a tube fitted with perforated twisted tape inserts. *International Communications in Heat and Mass Transfer*.

2013. № 46. С. 49–57.

10. A. Harleß, E. Franz, M. Breuer, Experimental investigation of heat transfer and friction characteristic of fully developed gas flow in single-start and threestart corrugated tubes. *International Communications in Heat and Mass Transfer*. 2016. № 103. С. 538–547.
11. Барон В.Г. Кожухотрубные теплообменные аппараты конца XX века. Нетрадиционные и возобновляемые источники энергии. Одесса. 2000. № 2(5). С. 34-36.
12. Дрейцер Г.А. Современные проблемы интенсификации теплообмена в каналах. *Инженерно-физический журнал*. 2000. Т. 74. № 4. С. 33-40.
13. Барон В.Г. Тонкостенные теплообменные аппараты интенсифицированные. *Общий анализ ситуации. «Энергосбережение»*. 2002. № 7. С. 20-22.
14. Vasyi Arsirii, Oleg Kravchenko, Bohdan Savchuk and Olena Arsirii. The influence of the structure of laminar flows on the characteristics of equipment. 26th Scientific Conference on Power Engineering and Power Machines (PEPM'2021). E3S Web Conf. Volume 327. 2021. Article Number 05003.
15. Vasyi Arsirii. Reconstruction of turbomachines on the basis of the flow structure visual diagnostics. *Mechanics and Mechanical Engineering*. 2018 № 2. Volume 22. С. 397-404
16. Ботук Б.О. Гидравлика. Москва: «Высшая школа», 1962.
17. Ботук Б.О., Федорів Н. Ф. Каналізаційні мережі. Навчальний посібник для студентів вузів. Видання 2. 1977.

REFERENCES

1. Wikipedia. (2017). Boiler heating surface. https://en.wikipedia.org/wiki/Boiler_heating_surface
2. Bonar, L.A. (2010). Energy and environmental efficiency of small-capacity water boilers. Kyiv: Vinnytsia National Technical University.
3. Ji, W. T., Jacobi, A. M., He, Y. L., & Tao, W. Q. (2015). Summary and evaluation on single-phase heat transfer enhancement techniques of liquid laminar and turbulent pipe flow. *International Journal of Heat and Mass Transfer*, 88, 735–754.
4. Nikulin, A., Moita, A. S., Moreira, A. L. N., Murshed, S. M. S., Huminic, A., Grosu, Y., Faik, A., Nieto-Maestre, J., & Khliyeva, O. (2019). Effect of Al₂O₃ nanoparticles on laminar, transient, and turbulent flow of isopropyl alcohol. *International Journal of Heat and Mass Transfer*, 130, 1032–1044.
5. Manglik, R. M., & Bergles, A. E. (1993). Heat transfer and pressure drop correlations for



- twisted-tape inserts in isothermal tubes: part I—laminar flows. *Journal of Heat Transfer-Transactions of The Asme*, 115, 881–889.
6. Manglik, R. M., & Bergles, A. E. (1993). Heat transfer and pressure drop correlations for twisted-tape inserts in isothermal tubes: Part II—Transition and turbulent flows. *Journal of Heat Transfer-Transactions of The Asme*, 115(4), 890–896.
 7. Chang, S. W., Yang, T. L., & Liou, J. S. (2007). Heat transfer and pressure drop in a tube with broken twisted tape insert. *Experimental Thermal and Fluid Science*, 32(2), 489–501.
 8. Chang, S. W., Jan, Y. J., & Liou, J. S. (2007). Turbulent heat transfer and pressure drop in a tube fitted with serrated twisted tape. *International Journal of Thermal Sciences*, 46(5), 506–518.
 9. Bhuiya, M., Chowdhury, M., Saha, M., & Islam, M. (2013). Heat transfer and friction factor characteristics in turbulent flow through a tube fitted with perforated twisted tape inserts. *International Communications in Heat and Mass Transfer*, 46, 49–57.
 10. Harleß, A., Franz, E., & Breuer, M. (2016). Experimental investigation of heat transfer and friction characteristics of fully developed gas flow in single-start and three-start corrugated tubes. *International Communications in Heat and Mass Transfer*, 103, 538–547.
 11. Baron, V.G. (2000). Shell-and-tube heat exchange apparatus at the end of the 20th century. *Non-Traditional and Renewable Energy Sources*, 2(5), 34-36.
 12. Dreytser, G.A. (2000). Modern problems of heat transfer intensification in channels. *Engineering Physics Journal*, 74(4), 33-40.
 13. Baron, V.G. (2002). Thin-walled heat exchange apparatus: intensification and general analysis of the situation. *Energy Conservation*, 7, 20-22.
 14. Arsirii, V., Kravchenko, O., Savchuk, B., & Arsirii, O. (2021). The influence of the structure of laminar flows on the characteristics of equipment. In 26th Scientific Conference on Power Engineering and Power Machines (PEPM'2021) (Vol. 327, Article Number 05003). E3S Web Conf.
 15. Arsirii, V. (2018). Reconstruction of turbomachines on the basis of flow structure visual diagnostics. *Mechanics and Mechanical Engineering*, 22(2), 397-404.
 16. Botuk, B.O. (1962). *Hydraulics*. Moscow: "Higher School".
 17. Botuk, B.O., & Fedoriv, N.F. (1977). *Sewage Networks*. Educational manual for university students. 2nd Edition.

Стаття надійшла до редакції 15.11.2023 року



Doi: <https://doi.org/10.33644/2313-6679-4-2023-8>

УДК 624.042.7; 699.841



МУРАШКО О.В.

Доктор техн. наук, доцент,
Одеська державна академія
будівництва та архітектури
м. Одеса, Україна;
e-mail: alexeymurashko@gmail.com,
тел.: +38 (077) 733503
ORCID: 0000-0002-2812-5951



ВОЛОЩУК В.В.

Одеська державна академія
будівництва та архітектури
м. Одеса, Україна
e-mail: vadims9202@gmail.com
тел.: +38 (067) 1033370
ORCID: 0000-0001-6259-7090



КРЮЧКОВ К.А.

Аспірант,
Одеська державна академія
будівництва та архітектури
м. Одеса, Україна
e-mail: Latand666@gmail.com
тел.: +38 (050) 0765028
ORCID: 0009-0007-4846-0259

КОМПЛЕКСНЕ УРАХУВАННЯ ВПЛИВУ ОТВОРІВ У СТІНАХ ТА ТИПУ ПЕРЕКРИТТІВ ПРИ ВІЗУАЛЬНОМУ ОЦІНЮВАННІ СЕЙСМОСТІЙКОСТІ БУДІВЕЛЬ З ЦЕГЛЯНОГО МУРУВАННЯ

АНОТАЦІЯ

В статті наведені результати аналізу існуючих систем візуального оцінювання сейсмостійкості будівель зі стінами з кам'яного мурування. Після аналізу наявних методів візуального оцінювання будівель з кам'яного мурування виявилось, що вони не дозволяють у повній мірі оцінити актуальний стан будівель. Метод візуального оцінювання, що розробляється, у свою чергу дозволяє врахувати такі важливі фактори, як конфігурація та розташування отворів у стінах, а також вплив виду та конструкції перекриттів.

Міцність та несуча здатність цегляних стін у площині зменшується зі збільшенням розміру отвору, але конкретне співвідношення між боковою міцністю стін і відсотком отвору залежить від використовуваного методу аналізу та розташування отвору. Розташування отворів у стінах з кам'яного мурування впливає на їхню несучу

здатність в площині. Для стін із однаковою конфігурацією отвору неправильна форма або розташування може призвести до зниження бічної міцності та здатності до зсуву. Вплив виду та типу перекриття, особливо його жорсткості та симетричності, значно впливає на загальну стійкість будівлі під час сейсмічних впливів.

В ході літературного аналізу було розглянуто методики візуального оцінювання будівель у сейсмічних районах різних країн. Такі методики знайшли широке застосування в багатьох країнах світу: FEMA 154 (США), Швейцарська, Новозеландська, Індійська, Турецька системи [1-5]. Ця процедура вимагає попереднього обстеження будівель з метою оцінки наступних аспектів: наявність нерегулярностей, рік будівництва, кількість поверхів, наявність чи відсутність гнучких поверхів тощо. На основі аналізу приклад-



ного світового досвіду використання систем РВС з'ясувалося, що за американською Fema 154 та багатьма іншими зарубіжними методиками при візуальній оцінці не враховується вплив типу підлоги, а також отворів у несучих стінах та їх конфігурація. Тому було ухвалено рішення, що використання цих зарубіжних систем в Україні є недоцільним і необхідно розробити власну систему, яка може бути застосована як в Україні, так і в країнах зі схожими будівельними традиціями, де такі системи недоступні.

За результатами дослідження було зроблено висновки щодо необхідності врахування конфігурації отворів та їх розташування, а також типу перекриттів та запропоновано розробку методу оперативного візуального оцінювання сейсмостійкості будівель з кам'яного мурування.

КЛЮЧОВІ СЛОВА: сейсміка, сейсмостійкість будівель, кам'яна кладка, метод візуального обстеження, отвір

COMPREHENSIVE CONSIDERATION OF THE INFLUENCE OF OPENINGS IN WALLS AND TYPE OF FLOORS IN THE VISUAL ASSESSMENT OF SEISMIC RESISTANCE OF BRICK MASONRY BUILDINGS

ABSTRACT

The article presents the results of the analysis of existing systems for visual assessment of seismic resistance of masonry buildings. Having analysed the existing methods of visual assessment of masonry buildings, it was found that they do not allow to fully assess the current state of buildings. The visual assessment method under development, allows to take into account such important factors as the configuration and location of openings in the walls, as well as the impact of the type and design of the floors.

Specifically, it is true that the strength and load-bearing capacity of brick walls decreases with increasing opening size, but the specific relationship between the lateral strength of walls and the percentage of opening depends on the analysis method used and the location of the opening. The location of openings in masonry walls affects their in-plane load-bearing capacity. For walls with the same opening configuration, improper shape or placement can result in reduced lateral strength and shear capacity. The impact of the type and type of floor, especially its stiffness and symmetry, has a significant impact on the overall stability of the building during seismic actions.

During the analysis, methods for visual assessment of buildings in seismic regions of different countries were considered. Such methods are widely used in many countries of the world: FEMA 154 (USA), Swiss, New Zealand, Indian, Turkish systems. This procedure requires a preliminary survey of

buildings to assess the following aspects: presence of irregularities, year of construction, number of floors, presence or absence of flexible floors, etc. Based on the analysis of the applied global experience of using RVS systems, it turned out that according to the American Fema 154 and many other foreign methods, the visual assessment does not take into account the influence of the floor type, as well as openings in the load-bearing walls and their configuration. Therefore, it was decided that the use of these foreign systems in Ukraine is inappropriate and it is necessary to develop our own system that can be applied both in Ukraine and in countries with similar building traditions where such systems are not available.

Based on the results of the analysis, conclusions were drawn about the need to take into account the configuration of the openings and their location, as well as the type of floors, and the development of a method for rapid visual assessment of the seismic resistance of masonry buildings was proposed.

KEYWORDS: seismicity, seismic resistance of buildings, masonry, method of visual inspection, opening

ВСТУП

На сьогоднішній день в Україні не існує чіткого порядку та алгоритму визначення сейсмостійкості існуючих будівель з кам'яного мурування, тому назріла необхідність у створенні методики візуального оцінювання сейсмостійкості (ВОС) цих будівель, яка поєднувала б і можливість масового спрощеного оцінювання сейсмостійкості, і детальне дослідження окремих об'єктів з урахуванням сучасного рівня розвитку методів обстеження, вібродіагностики й чисельного моделювання.

Проаналізувавши світовий досвід у сфері оцінювання сейсмостійкості будівель та споруд, ми прийшли до висновку, що у цьому є гостра необхідність у багатьох країнах світу, зокрема: FEMA 154 (USA) [1], Новозеландська RVS [2], Турецька RVS [3], Швейцарська RVS [4].

Візуальне оцінювання сейсмостійкості – це система оцінювання будівель, в основі якої є висновок експерта, що виконується за результатами візуального обстеження будівлі чи споруди, що зводиться до заповнення на його основі спеціальної форми, при цьому на обстеження виділяється короткий проміжок часу (до 4 годин) [4].

До того ж, майбутня методика оцінювання сейсмостійкості будівель з кам'яними стінами має поєднувати можливість масового спрощеного візуального оцінювання сейсмостійкості (ВОС), паспортизації сейсмостійкості та детального дослідження в рамках розробленої методології оцінювання сейсмостійкості будівель [6-8].



АНАЛІЗ ДОСЛІДЖЕНЬ І ПУБЛІКАЦІЙ

В ході літературного аналізу було розглянуто методики візуального оцінювання будівель у сейсмічних районах різних країн. Такі методики знайшли широке застосування в багатьох країнах світу: FEMA 154 (США), Швейцарська, Новозеландська, Індійська, Турецька системи [1-5]. Ця процедура вимагає попереднього обстеження будівель з метою оцінки наступних аспектів: наявність нерегулярностей, рік будівництва, кількість поверхів, наявність чи відсутність гнучких поверхів тощо.

Проаналізувавши світовий досвід використання систем ВОС, ми виявили, що за американською «FEMA 154» та багатьма іншими закордонними методиками при візуальному оцінюванні не враховується вплив виду перекриттів, а також розташування отворів у несучих стінах та їхня конфігурація.

На етапі аналізу, який наданий у даній роботі, розглянуті показники, які дають найбільш сильний вплив на сейсмостійкість будівель з кам'яного мурування [1-3].

МЕТА ОБ'ЄКТА ПРЕДМЕТ ДОСЛІДЖЕННЯ

Мета роботи – на основі аналітичного аналізу найбільш відомих систем візуального оцінювання сейсмостійкості будівель з несучими стінами з кам'яного мурування виявити фактори, які найбільше впливають на сейсмостійкість будівлі.

ОБ'ЄКТ ДОСЛІДЖЕННЯ: системи візуального оцінювання сейсмостійкості будівель з кам'яного мурування.

ПРЕДМЕТ ДОСЛІДЖЕННЯ: основні фактори, що впливають на сейсмостійкість будівель з кам'яного мурування.

МАТЕРІАЛИ ТА МЕТОДИКА ДОСЛІДЖЕННЯ

В основу методики дослідження було покладено результати закордонних та вітчизняних вчених з урахуванням результатів власних розробок. Нижче наведено лише частковий аналіз факторів за «FEMA 154» та Новозеландською методикою ВОС, що впливають на сейсмостійкість будівлі з кам'яного мурування.

Так, за «FEMA 154» для визначення сейсмостійкості будівлі при зборі даних використовують 3 форми для кожної з областей сейсмостійкості: низьку (L), помірну (M) та високу (H), враховують тип ґрунту по сейсмічним властивостям, кількість поверхів, базовий рейтинг будівлі, імовірність руйнування будівлі, сейсмічність майданчика, нерегулярність в плані, наявність небезпечних неконструктивних елементів (неармовані димоходи, парапети тощо), призначення будівлі та кількість мешканців.

Всі дані, визначені при оцінюванні сейсмостійкості будівель, вносяться у спеціальну форму (рис.1), у якій надано висновок експерта щодо теперішнього стану будівлі. У свою чергу, при розробці вітчизняної системи оцінювання сейсмостійкості будівель пропонується розробити власний бланк, згідно з вимогами нормативної бази та враховуючи зручність та інформативність інформації, викладеної в ньому (форма бланку перебуває у стадії розробки).

Якщо аналізувати Новозеландську RVS, то тут пропонується двоетапний процес оцінювання. Перший процес оцінювання ISA (Initial Seismic Assessment) задуманий як загальна оцінка з використанням найменшого числа ресурсів і є рекомендуємим першим кроком в загальному процесі оцінювання. Процес, прийнятий для ISA, буде в значній мірі залежати від конкретних цілей оцінювання. Наприклад, ISA може бути використаний як виключно на основі зовнішнього огляду будівлі, так і може розповсюджуватись на детальний огляд креслень, що, в свою чергу, дозволить ретельно розглянути внутрішні деталі, вузли, тип перекриття та загальні прийняті рішення.

Другий етап процесу оцінювання DSA (Detail Seismic Assessment) призначений для забезпечення більш точної оцінки стану конструкцій, що дозволяє детально вивчити характеристики будівлі, її реакцію на землетруси та змогу задовольняти вимогам по сейсмостійкості, зберігаючи конструктивну цілісність. Основними цілями детального оцінювання є:

Occupancy	Soil	Type										Falling Hazards						
		A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	Unroofed	Parapets	Cladding	Other			
Assembly	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
Commercial	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2
Office	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3
Industrial	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4
School	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5

Рисунок 1 – Форма бланку для внесення даних при візуальному оцінюванні сейсмостійкості будівлі



- забезпечення засобів для оцінки рівня, при якому досягається граничний стан для існуючих будівель при сейсмічних впливах;
- визначення, чи досягає будівля свого максимального граничного стану або перевищує його при впливі сили землетрусу на третину більшою ніж та, що потрібна для проектування нової будівлі на даній ділянці;
- надання інформації та рекомендацій, які допоможуть в оцінці міцності та пластичності конструкцій, компонентів, елементів та систем.

Таким чином, другий етап відповідає вітчизняному підходу по повноцінному технічному обстеженню. Основними факторами, що впливають при оцінюванні сейсмостійкості будівель при Новозеландській RVS, є: базовий рейтинг, податливість конструкцій, категорія ґрунтів за сейсмічними властивостями, сейсмічність майданчика.

При цьому, при аналізі даних систем оцінювання сейсмостійкості будівель було виявлено, що у них не враховується як вплив від виду перекриття, так і наявність і конфігурація отворів у несучих стінах, що, в свою чергу, призводить до похибок при використанні цих систем.

АНАЛІЗ ВПЛИВУ РОЗТАШУВАННЯ ОТВОРІВ ТА ЇХ КОНФІГУРАЦІЇ У БУДІВЛЯХ З ЦЕГЛЯНОЇ КЛАДКИ ПРИ СЕЙСМІЧНИХ ВПЛИВАХ

За результатами дослідів, проведених департаментом цивільного будівництва брістольського університету [9], було показано, що вплив від отворів, включаючи розмір і положення отвору, впливають на ступінь пошкодження та руйнування стін. Отвори зменшують жорсткість кладки стін і навіть можуть змінити механізми руйнування кладки стін. Крім того, асиметричне розташування отворів створює несучі стіни, а коли отвори мають великі габарити, тоді нерівномірний розподіл гравітаційних навантажень може розвинути в стінах з кам'яної кладки, що призводить до концентрації напружень, які впливають на міцність та зсув в локальних частинах стін. Це може призвести до локального руйнування та збільшити сейсмічну вразливість усєї конструкції.

Для аналізу характеристик цегляних стін використовували як метод аналізу на основі горизонтального рівномірно розподіленого, так і горизонтального зосередженого навантаження. У першому випадку аналіз на основі навантаження виконувався шляхом прикладання поступово зростаючого горизонтального навантаження до усєї стіни, для створення ефекту поштовху, коли кожна цегла сприймає силу, пропорційну її масі. Спочатку прикладалось вертикальне гравітаційне навантаження, потім до кладки стіни прикладалось покрокове рівномірне горизонтальне наван-

таження, до тих пір, поки не відбулось її руйнування. Для визначення руйнівного навантаження необхідно було контролювати горизонтальні сили при кожному кроці навантаження. Цей метод навантаження імітує інерційні навантаження, які виникають при сейсмічних впливах. Аналіз зсуву на основі переміщення проводився шляхом прикладання постійної швидкості до блоку навантаження у верхній частині стіни після того, як до неї було прикладено вертикальні навантаження. При цьому методі аналізу важливо було перевірити, чи процес деформування та руйнування був плавним, чи не виникали штучні вібраційні рухи, щоб навантаження було фактично квазістатичним. Стіни з кам'яної кладки, проаналізовані за допомогою методу на основі зміщення (стандартний метод натискання), були чутливі до локальних руйнувань і, як правило, показали нижчу міцність у площині порівняно з ідентичними стінами, проаналізованими з використанням процедури на основі навантаження.

Використання аналізу на основі зміщення призводить до локалізованого розтріскування під отвором, тоді як для аналізу на основі навантаження тріщина проходить по одній діагоналі через стіну. Ці результати знову підкреслюють важливість урахування способу навантаження на стіни. Для аналізу на основі навантажень, де на кожен цеглину діє сила, пропорційна її масі, розподілене навантаження, прикладене до усєї стіни, призводить до більш розподіленого розтріскування. Однак, для методу аналізу на основі зміщення, де навантаження прикладається поперек стіни в цілому, це призводить до меншої кількості локальних тріщин. Ці відмінності підкреслюються, коли отвір переміщується ближче до країв стіни, оскільки будь-яка зміна локальної структури руйнування призводить до значної зміни несучої здатності стіни.

За результатами досліджень, наведеними у статі М. Shariq та Н. Abbas [10], найбільш критичний напрямок впливу від сейсмічної сили для розвитку максимальних напружень у стінах з прорізами в приміщеннях будівлі знаходиться вздовж коротших сторін приміщення. Збільшення співвідношення сторін приміщення за рахунок збереження однієї стіни нерухомою призводить до збільшення максимальних головних напружень та максимальних напружень при зсуві.

У дослідженнях, проведених Індійським технологічним інститутом Дханбат [11], розглядалась спрощена скінченно-елементна модель для вивчення поведінки стін з кам'яного мурування під дією плоского бічного навантаження. Запропонована модель включає поверхневу поведінку для врахування пружної та пластичної роботи кладки, а також модель пластичності Друкера Прагера для аналізу руйнувань кладки під дією вертикальних навантажень. За резуль-



татами досліджень виявилось, що при пластичній роботі стін при розташуванні отвору у центрі, коли його площа становить менше 25 % від площі стіни, стіна може зберігати до 80 % несучої здатності при аналогічній роботі стіни без отвору. Коли розмір отвору становить 50 % від площі стіни, тоді залишається близько 20 % від залишкової несучої здатності стіни. Також за результатами досліджень було визначено, що положення отвору в нижньому куті стіни є найбільш вразливим, тоді як розташування отвору у верхньому куті не так суттєво впливає на її роботу. Отже, варіації кількості, форми та положення отворів суттєво впливають на механізм руйнування стіни, при цьому різко зніжуючи її міцність.

АНАЛІЗ ВПЛИВУ ВІД ВИДУ ПЕРЕКРИТТІВ НА БУДІВЛІ З ЦЕГЛЯНОЇ КЛАДКИ ПРИ СЕЙСМІЧНИХ ВПЛИВАХ

З'єднання між цегляними стінами та перекриттям є ще однією вразливою зоною в цегляних будівлях. Поштовхи під час землетрусу можуть спричинити відшарування або руйнування з'єднань між стінами та перекриттями. Це може призвести до того, що перекриття обвалиться на розташовані нижче поверхи або стіни втратять свою стійкість, збільшуючи ризик руйнування конструкції.

Пошкодження такого типу виникають в результаті сил, що передаються між стінами і перекриттям, в основному через позаплощинне горизонтальне колювання стін, а також через вертикальні прискорення ґрунту, які можуть бути дуже високими в місцях, розташованих дуже близько до епіцентру. Верхня частина стіни може вислизнути з-під перекриття та/або зруйнуватися під дією динамічного навантаження, особливо у випадку неякісної кладки (бутовий камінь) та відносно важких і жорстких перекриттів, які не з'єднані належним чином.

Також за результатами дослідження, наведеними у статті Kunnath S.K. та співавторів [12], виявилось, що дослідження впливу гнучкості перекриттів на сейсмічну поведінку будівель, зокрема будівель з кам'яного мурування, зосереджувались на малоповерхових будівлях (до 5 поверхів). В основі цих досліджень переважно розглядались загальні геометричні змінні, такі як

кількість поверхів, співвідношення сторін, і в рамках досліджень дійшли висновку, що гнучкість системи перекриття має найбільший вплив на сейсмічну поведінку при найнижчій висоті та при найбільшому співвідношенні сторін будинку.

Аналіз досліджень, наведених у статті Juan Jiménez-Racheco та співавторів [13], також підтвердив гіпотезу про необхідність врахування впливу виду перекриттів при сейсмічних впливах. В контексті роботи було підбито підсумки дослідження, основними завданнями якого була розробка моделі для нелінійного статичного аналізу поведінки будівель з кам'яного мурування з урахуванням гнучкості системи перекриттів і аналіз впливу жорсткості системи перекриттів на глобальну сейсмічну реакцію цих будівель. В якості об'єкту дослідження була прийнята шестиповерхова житлова будівля з складеним композитним перекриттям зі сталевих балок і цегляних склепінь (рис. 2).

Аналіз впливу жорсткості системи перекриття на глобальну сейсмічну реакцію ґрунтувався на застосуванні традиційних заходів з посилення жорсткості до перекриття. Дослідження було зосереджено на трьох основних випадках:

- 1) вихідний нежорсткий варіант (базовий варіант перекриття);
- 2) вибраний варіант з підвищеною жорсткістю (варіант, при якому відбувалось підвищення жорсткості перекриття за рахунок улаштування діагональних в'язів до сталевих балок шляхом приварювання);
- 3) варіант з повністю жорсткою підлогою (варіант улаштування, при якому перекриття додатково заливається шаром бетонного розчину для формування повної жорсткості підлоги).

Загальна сейсмічна реакція оцінювалася з точки зору модальних параметрів, характеристик кривих поштовхів і деформованої форми перекриттів.

За результатами дослідження можна зробити висновок, що для будівель з кам'яного мурування з високим ступенем симетрії в плані підвищення жорсткості гнучкої системи перекриття (до напівжорсткого стану) є доцільним для виправлення проблем міжповерхового зсуву, без створення при цьому проблем з крученням.

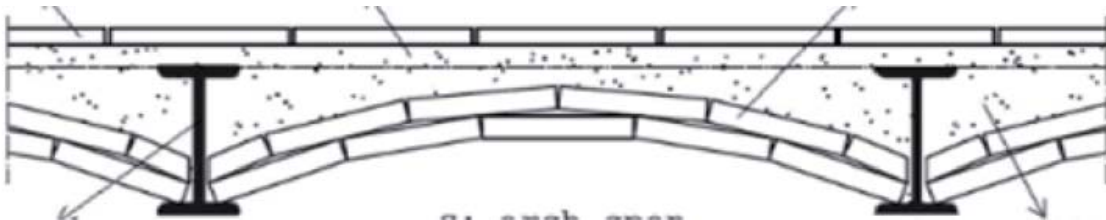


Рисунок 2 – Складене композитне перекриття



ВИСНОВКИ

За результатами аналізу застосовуваного світового досвіду використання систем ВОС виявилось, що за американською «FEMA 154», Новозеландською RVS та багатьма іншими закордонними методиками при візуальному оцінюванні не враховується вплив виду перекриттів, а також розташування отворів у несучих стінах та їхня конфігурація. Міцність та несуча здатність цегляних стін у площині зменшується зі збільшенням розміру отвору, але конкретне співвідношення між боковою міцністю стін і відсотком отвору залежить від використовуваного методу аналізу та розташування отвору. У свою чергу, розташування отворів у стінах з кам'яного мурування мають значний вплив на несучу здатність стіни в площині. Для стін з однаковою конфігурацією отвору неправильна форма або розташування отвору може призвести до зниження бічної міцності та здатності до зсуву. Вплив виду та типу перекриття, зокрема жорсткості, а також симетричності будівлі значним чином впливає на загальну стійкість будівлі при сейсмічних впливах.

Тому було вирішено, що використання цих іноземних систем в Україні недоцільне, й необхідно розробити власну систему візуального оцінювання сейсмостійкості з урахуванням сумісної дії отворів у муруванні та типу перекриттів, яка може бути застосована в Україні і в країнах зі схожими традиціями будівництва, де немає таких систем.

БІБЛІОГРАФІЧНИЙ СПИСОК

1. FEMA. FEMA 154, A Hand Book on Rapid Visual Screening of Buildings for Potential Seismic Hazards. USA: Federal Emergency Management Agency, 2002.
2. NZS 1170.5-2004. Earthquake actions. New Zealand. Standards New Zealand, 2016. 86 p. URL: <http://wenku.baidu.com/view/67b025681eb91a37f1115cf3.html>
3. Yakut, A., Aydogan, V., Ozcebe, G., and Yucement, M. S. Preliminary seismic vulnerability assessment of existing reinforced concrete buildings in Turkey – Part II. *Nato Science Series IV/29*, 2005. P. 43-58.
4. Vérification de la sécurité parasismique des bâtiments existants Concept et directives pour l'étape 1 Richtlinien des BWG. Directives de l'OFEG. Directive dell'UFAEG Berne, 2005. 24 p.
5. O. Murashko, I. Benradi. Analysis of world experience in the field of rapid visual screen. *Visnyk Odeskoi derzhavnoi akademii budivnytstva ta arkhitektury*. 2015. № 58. С. 275–282.
6. Handbook on seismic retrofit of buildings central public works department Indian

- building congress in association with Indian Institute of technology. Madras. 2007. 617 p.
7. Дорофеев В. С., Мурашко А. В. Система оценки фактической сейсмостойкости зданий в свете действующей нормативной базы. *Вісник ОДАБА*. 2015. № 56. С. 245–248.
 8. V.Dorofeev, K.Yegupov, A.Murashko, O.Adamov. A new approach to buildings seismic resistance assessment in Ukraine: proceedings of the 2-nd European Conference on Earthquake Engineering and Seismology, Istanbul, Turkey, August 24-29, 2014. P. 138-143.
 9. Дорофеев В. С., Мурашко А. В., Бенради И. Использование мирового опыта при определении факторов украинской системы визуальной оценки сейсмостойкости. *Будівельні конструкції : міжвід. наук.-техн. зб. наук. пр.* Київ: НДІБК, 2015. № 82. С. 118–124.
 10. Liu Z., Crewe A. Effects of size and position of openings on in-plane capacity of unreinforced masonry walls. *Bulletin of Earthquake Engineering*. 2020. № 21. P. 4783-4812.
 11. M. Shariq, H. Abbas. Influence of openings on seismic performance of masonry building walls. *Building and Environment*. 2008. № 43, Issue 7. P. 1232-1240.
 12. Kunnath, S.K., N. Panahshahi, and A. M. Reinhorn. Seismic response of RC buildings with inelastic floor diaphragms. *Journal of Structural Engineering*. 1991. № 117 (4). P. 1218–37.
 13. Juan Jiménez-Pacheco, Ramón González-Drigo, Luis G. Pujades Beneit, AlexH. Barbat & José Calderón-Brito. Traditional High-rise Unreinforced Masonry Buildings: Modeling and Influence of Floor System Stiffening on Their Overall Seismic Response. *International Journal of Architectural Herita*. 2021. № 15 (10). P.1547-1584

REFERENCES

1. FEMA (2002). FEMA 154, A Hand Book on Rapid Visual Screening of Buildings for Potential Seismic Hazards, Federal Emergency Management Agency, Washington DC, USA.
2. Standards New Zealand. (2016). NZS 1170.5-2004: Earthquake actions. Retrieved from <http://wenku.baidu.com/view/67b025681eb91a37f1115cf3.html>
3. Ozcebe, G., Yucemen, M. S., Aydogan, V., & Yakut, A. (2003). Preliminary Seismic Vulnerability Assessment of Existing RC Buildings in Turkey-Part 1: Statistical Model Based on Structural Characteristics. In *Seismic Assessment and Rehabilitation of Existing*



- Buildings, NATO Science Series IV/29 (pp. 29-42).
4. Richtlinien des BWG. (2005). Vérification de la sécurité parasismique des bâtiments existants: Concept et directives pour l'étape 1. Berne: Directives de l'OFEG – Directive dell'UFAEG. 24 p.
 5. Murashko, O., & Benradi, I. (2015). Analysis of world experience in the field of rapid visual screen. *Visnyk Odeskoi derzhavnoi akademii budivnytstva ta arkhitektury*, 58, 275–282.
 7. Central Public Works Department, Indian Building Congress in association with Indian Institute of Technology. (2007). Handbook on Seismic Retrofit of Buildings. Madras.
 8. Dorofeev, V., Yegupov, K., Murashko, A., & Adamov, O. (2014). A new approach to buildings seismic resistance assessment in Ukraine. In Proceedings of the 2nd European Conference on Earthquake Engineering and Seismology, Istanbul, Turkey, August 24-29, 2014 (pp. 138-143).
 9. Dorofeev, V. S., Murashko, A. V., & Benradi, I. (2015). Use of world experience in determining the factors of the Ukrainian system of visual assessment of seismic resistance. In Building Constructions: Interdisciplinary Science and Technology Collection of Scientific Papers, 82, 118–124. Kyiv: NIISK.
 10. Liu, Z., & Crewe, A. (2020). Effects of size and position of openings on in-plane capacity of unreinforced masonry walls. *Bulletin of Earthquake Engineering*, 21, 4783–4812.
 11. Shariq, M., & Abbas, H. (2008). Influence of openings on seismic performance of masonry building walls. *Building and Environment*, 43(7), 1232-1240.
 12. Kunnath, S.K., Panahshahi, N., & Reinhorn, A.M. (1991). Seismic response of RC buildings with inelastic floor diaphragms. *Journal of Structural Engineering*, 117(4), 1218–1237.
 13. Jiménez-Pacheco, J., González-Drigo, R., Pujades Beneit, L.G., Barbat, A.H., & Calderón-Brito, J. (2021). Traditional High-rise Unreinforced Masonry Buildings: Modeling and Influence of Floor System Stiffening on Their Overall Seismic Response. *International Journal of Architectural Heritage*, 15(10), 1547-1584.

Стаття надійшла до редакції 28.11.2023



Doi: <https://doi.org/10.33644/2313-6679-4-2023-9>

УДК 620.9:504



КРИВОМАЗ Т. І.

Доктор техн. наук, професор кафедри охорони праці та навколишнього середовища, Київський національний університет будівництва і архітектури, м. Київ, Україна
тел.: +38 (044) 241-55-98,
e-mail:kryvomaz.ti@knuba.edu.ua,
ORCID: 0000-0002-4161-9702



ГАМОЦЬКИЙ Р. О.

Аспірант кафедри охорони праці та навколишнього середовища, Київський національний університет будівництва і архітектури, м. Київ, Україна
тел.: +38 (068) 526-97-01,
e-mail:roman.hamotskyi@gmail.com,
ORCID: 0000-0002-5469-8606

ДИВЕРСИФІКАЦІЯ ЕНЕРГЕТИЧНИХ РИЗИКІВ ЖИТЛОВИХ БАГАТОПОВЕРХОВИХ БУДІВЕЛЬ ЗА ДОПОМОГОЮ АЛЬТЕРНАТИВНИХ ДЖЕРЕЛ ЕНЕРГІЇ

АНОТАЦІЯ

Предметом статті є диверсифікація енергетичних ризиків для житлових будівель. Темою статті є диверсифікація енергетичних ризиків житлових багатоповерхових будівель за допомогою альтернативних джерел енергії. Мета роботи – аналіз робочого інструментарію альтернативної енергетики для диверсифікації енергетичних ризиків житлових багатоповерхових будівель. Методологія проведення роботи: у роботі застосовані методи аналізу та синтезу, причинно-наслідкового зв'язку, логічного, системного та історичного аналізів, метод аналогій, графічний метод, різні прийоми статистичного аналізу. Результати роботи: у статті висвітлено основні проблеми енергетики на сьогодні. Серед них провідну роль посідає військова агресія Росії, яка включає систематичні обстріли енергетичного сектору України. Руїнування, припинення або перешкоджання нормальній роботі великих потужностей електропостачання. Висвітлено ймовірні проблеми підключення до європейської енергетичної системи ENTSO-E.

Основою розвитку нашої держави завжди буде підвищення власної енергетичної незалежності, яка має базуватися на відновлюваних джерелах

енергії (ВДЕ). Це не лише зелений європейський курс, а й чудова альтернатива втраченим під час війни потужностям. Виявлено особливості еволюційного розвитку відповідної галузі.

Вибудовано перспективні для українських умов напрямки постачання та використання енергоресурсів. Досить корисну роль відіграють відновлювані джерела енергії безпосередньо для забезпечення власних потреб багатоповерхових житлових будинків. Вони не лише підвищують рівень енергетичної безпеки, а й відіграють роль інструменту диверсифікації енергетики за всіма її цільовими напрямками. Розглянуто стан енергетичного сектору України та поточні ризики для енергозабезпечення житлових будинків. Запропоновано шляхи їх зменшення за допомогою альтернативних джерел енергії.

Було розглянуто та рекомендовано варіанти власних джерел альтернативної енергії, які можна використовувати в багатоповерхових житлових будинках. Наголошено на важливості розвитку зеленої енергетики та автономії будівель у відбудові України. Науковою новизною статті є диверсифікація енергетичних ризиків для житлових будівель в умовах війни та ймовірних енерге-



тичних криз у майбутньому України.

Практична значимість заключається у розробці рекомендацій для диверсифікації енергетичних ризиків та підвищення загального рівня енергетичної безпеки.

КЛЮЧОВІ СЛОВА: енергетична безпека, диверсифікація енергопостачання, енергетичний сектор, альтернативна енергетика, післявоєнна відбудова.

DIVERSIFICATION OF ENERGY RISKS OF RESIDENTIAL HIGH-STORY BUILDINGS WITH THE HELP OF ALTERNATIVE ENERGY SOURCES

ABSTRACT

The article deals with the diversification of energy risks for residential buildings. The article's topic is the diversification of energy risks of residential high-rise buildings using alternative energy sources. The article touches upon the analysis of the working tools of alternative energy for the diversification of energy risks of residential high-rise buildings. Concerning the methodology of the work, it uses the methods of analysis and synthesis, causality, logical, systemic and historical analyses, the method of analogies, the graphic method, various methods of statistical analysis. The main problems of energy today are highlighted, as the main purpose of the article. The main problem is caused by Russia's military aggression, which includes systematic shelling of Ukraine's energy sector. Destruction, termination or obstruction of the normal operation of large power supply capacities. Probable problems of connection to the European energy system ENTSO-E are highlighted.

The basis of the development of our state will always be based on increasing its own energy independence, which should be based on REI. This is not only a green European course, but also an excellent alternative to the capacities lost during the war. Peculiarities of the evolutionary development of the relevant industry have been revealed.

Prospective directions for the supply and use of energy resources for Ukrainian conditions have been developed. A rather useful role is played by renewable energy sources directly to meet the own needs of multi-story residential buildings. They not only increase the level of energy security, but also play the role of a tool for energy diversification in all its target areas. The state of the energy sector of Ukraine and current risks for the energy supply of residential buildings are considered. Ways to reduce them using alternative energy sources are proposed.

Options of own sources of alternative energy, which can be used in multi-storey residential buildings, were considered and recommended. The importance of the development of green energy and the autonomy of buildings in the reconstruction of Ukraine was emphasized. The scientific novelty of the article is the

diversification of energy risks for residential buildings in conditions of war and probable energy crises in the future of Ukraine.

The practical significance lies in the development of recommendations for diversifying energy risks and increasing the overall level of energy security.

KEYWORDS: energy security, diversification of energy supply, energy sector, alternative energy, post-war reconstruction.

ВСТУП

Енергетичні ресурси впливають на всі аспекти розвитку, економіки та життя населення будь-якої країни. Насамперед, енергетична система – це основне джерело забезпечення функціонування різних секторів економіки країни. Від енергетичного становища країни залежить діяльність у сфері промислового виробництва, технологій, розвитку малого та середнього бізнесу і зовнішньої торгівлі. Енергетична сфера лежить в основі економічної і політичної незалежності в умовах глобальних викликів, які постають перед нашою державою. Крім того, безперебійний доступ до енергії відіграє ключову роль не тільки у підтримці комфорту та життєвого рівня громадян, а й у оборонній здатності країни та спроможності реагувати на кризові ситуації. Енергетичні ресурси є стратегічно важливими для національної безпеки та гарантій стабільності країни. Шлях до енергетичної безпеки лежить у напрямку формування енергонезалежності України, широкомасштабного застосування технологій енергоефективності та скорочення вуглецевих викидів.

АНАЛІЗ ДОСЛІДЖЕНЬ І ПУБЛІКАЦІЙ

Визначення складових, ролі, й проблем підвищення енергетичної безпеки є предметом дослідження таких учених, як В. Бараннік, Г. Балюк, О. Власюк, А. Гетьман, Ю. Драчук, О. Прокопенко, А. Качинський, М. Хилько, М. Шульга, А. Шидловський, О. Юспін та інші. Окрім того, теоретичні основи та проблеми енергетичної безпеки досліджували В. Геєць, В. Горбулін, Я. Жаліло, С. Пирожков, Є. Сухін, В. Шлемко. Серед іноземних дослідників слід виділити М. Браун, Г. де Вріс, Д. ван Вурен, Г. Грененберг, Дж. Джеуелл, Д. Джонссон, Б. Йоханссон та інших. Дослідженнями у галузі альтернативної енергетики активно займалися J. Lowitzsch, J. Maliszewska-Nienartowicz, О. Акименко, Є. Бойко, Г. Варламова, Ю. Гаврилюк, Х. Григор'єва, П. Лежнюк, М. Хоменко, М. Цалан та багато інших.

Однак, незважаючи на ґрунтовні дослідження попередників, війна в Україні стала джерелом безпрецедентних викликів, з якими ще не стикалася жодна країна, в тому числі і у сфері енер-



гетики, будівництва та екології. Для відбудови українських міст необхідно розробляти нові підходи до планування багатоповерхових житлових будівель для диверсифікації ризиків по енергозабезпеченню.

ПОСТАНОВКА ЗАВДАННЯ

В умовах сучасних викликів значна увага приділяється реалізації політики диверсифікації енергозабезпечення як невід'ємної складової енергетичної безпеки країни. Багаторічний російський шантаж енергоресурсами та початок повномасштабної війни з агресором зробили питання енергетичної безпеки України особливо актуальним.

Система енергетичної безпеки держави представляє собою комплекс заходів, націлених на мінімізацію впливу загроз енергетичній безпеці: забезпечення безперебійності в поставках енергетичних ресурсів, формування та підтримку раціональної політики ціноутворення на них та мінімізацію екологічного впливу енергетичних факторів. Основним і практично безальтернативним напрямом забезпечення енергетичної безпеки України в умовах військової агресії та післявоєнної кризи є диверсифікація енергетичних ризиків, суттєвою складовою якої є диверсифікація ризиків енергозабезпечення житлових багатоповерхових будівель в процесі їх відбудови, реконструкції та планування.

ВИКЛАД ОСНОВНОГО МАТЕРІАЛУ

Зовнішня політика всіх розвинених країн і більшості країн, що розвиваються, спрямовується на гарантоване забезпечення своїх економік стратегічними ресурсами. Питання підвищення енергетичної незалежності стало актуальним для країн Європи вже давно. Європейський зелений курс визначає цілі, методи та нові рівні у досягненні енергоефективності, а відповідно й у досягненні підвищення енергетичної безпеки для країн ЄС. Прагнення України стати повноцінним членом

ЄС супроводжується певними зобов'язаннями у сфері енергетичної політики, яких наша країна має дотримуватись задля успішного вступу. Серед цих зобов'язань провідне місце займає розвиток альтернативних й відновлюваних джерел енергії.

Екологічна й енергетична криза у світі викликає все більше занепокоєння у все більшій кількості європейських держав. Постає необхідність у розробці поновлюваних джерел різних видів енергії, які б можна було застосовувати для вироблення електрики і тепла. Так, наприклад, Європейська комісія на Брюссельському саміті поставила перспективні плани скорочення викидів парникових газів на 80% протягом наступних 40 років за рахунок використання альтернативних екологічно чистих джерел енергії. Зокрема, 12 вересня 2023 року, у рамках Європейського зеленого курсу, планів REPowerEU та «Готові до 55», Європарламент схвалив оновлення Директиви про відновлювані джерела енергії з метою стимулювання використання ВДЕ в ЄС. Оновлена Директива (REDIII) встановлює обов'язкову цільову частку ВДЕ в кінцевому споживанні енергії на рівні 42,5 % до 2030 року, але з індикативним збільшенням до 45 %. Попередня ціль становила 32%, втім, згідно з останніми статистичними даними, у 2021 році частка ВДЕ в енергоспоживанні ЄС складала лише 21,8 %. Таким чином, нова ціль закладає практично подвоєння частки ВДЕ в ЄС до 2030 року. [1].

Довоєнна енергосистема України також пройшла значний шлях у розвитку альтернативної зеленої енергетики. До війни в Україні було прийнято низку нормативних документів та національних стратегій, які визначали майбутній напрямок розвитку відновлюваних джерел енергії в Україні протягом цього та майбутніх десятиліть. Значно підвищилось й запровадження зелених програм та будівництво енергетичних потужностей. У довоєнні часи український енергетичний мікс на 70 % складався з чистої електроенергії,

Таблиця 1 – Встановлена потужність електростанцій України, по роках, ГВт
Джерело: ГС «УВЕА», НЕК «Укренерго», 2021

РІК	Сумарна встановлена потужність	АЕС	%	ТЕС ГК	%	ТЕЦ та інші ТЕС	%	ГЕС та ГАЕС	%	ВЕС, СЕС та БіоЕС	%
2014	55,1	13,8	25,1	27,7	50,3	6,6	12,0	5,9	10,6	1,1	2,0
2015*	54,8	13,8	25,2	27,8	50,7	6,5	11,8	5,9	10,7	0,8	1,5
2016	55,3	13,8	25,0	27,8	50,3	6,5	11,8	6,2	11,2	1,0	1,7
2017**	51,7	13,8	26,7	24,6	47,5	5,9	11,5	6,2	12,0	1,2	2,3
2018	49,7	13,8	27,8	21,8	43,9	6,1	12,3	6,2	12,6	1,7	3,4
2019	54,4	13,8	25,4	21,8	40,0	6,1	11,2	6,3	11,6	6,4***	11,8
2020	54,7	13,8	25,2	21,8	39,8	6,1	11,1	6,3	11,5	6,6	12,1
2021	56,1 ¹	13,8	24,6	21,8	38,8	6,1	10,8	6,3	11,2	8,1	14,3



виробництво якої не призводить до викидів CO₂. Цим ми завдячуємо великою часткою виробництва електроенергії атомними й гідроелектростанціями та стрімкому розвитку відновлюваних джерел енергії, частка яких на 2021 рік склала 14,3 % (табл. 1) [2].

Однак, агресивна політика та повномасштабне російське вторгнення відчутно погіршили стан енергетичної безпеки у країні. З перших же годин після вторгнення російські війська масовано обстрілюють не лише українські міста і села, але й намагаються знищити критичні об'єкти енергетичної інфраструктури: високовольні мережі, трансформаторні підстанції, диспетчерські пункти, а також безпосередньо електростанції, включно з об'єктами відновлюваної енергетики. Загалом, після об'єктів атомної енергетики та ліній електропередачі, електростанції відновлюваної енергетики стали другими по пріоритетності знищення для російських загарбників (рис. 1) [2].

Переважна більшість встановлених на території країни об'єктів відновлюваної енергетики зосереджена у південних та південно-східних областях України, де вже протягом останніх 6 місяців безупинно точаться активні бойові дії [2]. Додатково постраждали атомна енергетика й гідроенергетика, прикладом чого служать повна зупинка ЗАЕС та руйнування КГЕС.

Ще один важіль впливу Росії на Україну – вугілля, адже більшість українських теплоелектростанцій

та теплоелектроцентралей працюють на цьому паливі, крім того воно забезпечує металургійну промисловість. У 2020 і 2021 роках понад 60 % (за вартістю) імпортованого до України вугілля надходило з Росії [3]. При цьому РФ, як завжди, шантажувала зупинками поставок напередодні опалювального сезону. Водночас, Україна втратила видобуток і практично втратила експорт вугілля через те, що РФ у 2014 році окупувала частини Донецької та Луганської областей. Після повної заборони на торгівлю з РФ, ухваленої у квітні 2022 року, напередодні опалювального сезону, Україні потрібно отримати достатньо вугілля з інших країн [4].

Вихід з об'єднаної енергосистеми з Росією і Білоруссю та приєднання до енергосистеми ЄС ENTSO-E – це значний крок у посиленні енергетичної незалежності від РФ. Енергосистема ENTSO-E готова перекрити потреби для української у разі повторних блекаутів чи нових ракетних обстрілів зі сторони Росії. Втім, це не забезпечує повну енергонезалежність нашої країни, оскільки виникають проблеми з ціновою політикою енергозабезпечення. В Україні, на відміну від ринкової системи у Європі, ціни на енергію контролюються урядом. У сусідніх країнах тарифи значно більші, зокрема середня ціна у Польщі і Румунії становить близько 140 євро за МВт/год, в той час як в Україні вона складає близько 80 євро за МВт/год. У зв'язку із значною різницею ціни транспортува-



Рисунок 1 – Пошкоджені російськими військами українські об'єкти ВДЕ
Джерело: ГС «УВЕА», компанії з ВДЕ, 2022



ти велику кількість електрики європейцям буде не вигідно. Таким чином, курс на підвищення енергонезалежності завжди буде залишатись незмінним до повної реалізації його завдань.

Перебуваючи в активній фазі війни, важко передбачити її кінцеві наслідки для країни. Для відновлення енергопотужностей не доцільно чекати на остаточне повернення окупованих територій, тому що підвищення енергетичної безпеки актуально вже зараз, оскільки це – основа функціонування країни зараз та у майбутньому.

Можна припустити, що нові, адаптовані до сьогодення цілі з ВДЕ вже закладені в нещодавно схваленій Енергетичній стратегії України до 2050 року, проте сам документ відсутній у публічному доступі [1]. У будь-якому разі, при відновленні й подальшій побудові енергосистем вже зараз доцільно передбачити її одночасну диверсифікацію, як обов'язкову складову енергетичної безпеки.

Енергетична безпека країни – це впевненість у наявності, доступності та можливості стабільно отримувати паливо та енергію належної якості як за звичайних умов, так і у випадку надзвичайних обставин. Іншими словами, енергетична безпека – це захищеність держави, її громадян та економіки від дефіциту енергії [5]. Наявність та безперервна доступність до енергоресурсів, ефективність їх використання з одночасним дотриманням принципів екологічної безпеки – обов'язкові складові енергетичної безпеки. Саме тому екологічна безпека відіграє важливу роль в зеленій концепції сталого розвитку країн.

З точки зору наявності енергоносіїв, концепція енергетичної безпеки враховує супутню безпеку (надійність) та диверсифікацію джерел енергоносіїв та енергетичних послуг. Супутніми аспектами наявності енергоносіїв є диверсифікація енергопостачання та впровадження різноманітних заходів по запобіганню фізичному пошкодженню критичної енергетичної інфраструктури (електростанцій, розподільчих мереж, трубопроводів) для безперервного надання послуг [6, 7].

У загальному вигляді диверсифікація охоплює три аспекти [8, 9]:

- диверсифікацію джерел постачання енергії (енергоносіїв);
- диверсифікацію постачальників енергоносіїв;
- диверсифікацію локацій окремих енергетичних об'єктів за просторовим (географічним, територіальним) принципом.

Диверсифікація джерел постачання енергії передбачає використання комбінації та можливості взаємозаміни різноманітних джерел енергії, видів енергоресурсів, паливних циклів по виробленню енергії чи тепла.

Диверсифікація постачальників енергоносіїв передбачає використання декількох точок вироб-

ництва енергії, унеможливаючи монополізацію ринку однією компанією чи постачальником енергоносіїв. Це ж стосується не тільки сфери безпосереднього виробництва енергії, але й обслуговування всієї системи її постачання до споживачів.

Просторова диверсифікація, або ж географічна, передбачає територіальний розподіл локацій окремих енергетичних об'єктів таким чином, щоб їх функціонування не могло бути порушено внаслідок однієї події, локальної катастрофи, несправності або збою. Географічний розподіл локацій окремих енергетичних об'єктів не тільки підвищує їх загальну безпеку та надійність функціонування, але й забезпечує стійкість всієї мережі дистрибуції енергії до випадкових збоїв та відмов або навмисних дій. Географічна диверсифікація запобігає можливості загального колапсу енергетичної системи [8].

Зелена книга ЄС 1994 року «Енергетична політика ЄС» визначає безпеку постачання як стан забезпечення енергоресурсами, за якого основні майбутні енергетичні потреби мають бути задоволені завдяки спільному використанню внутрішніх енергетичних ресурсів та стратегічних резервів у прийнятних економічних умовах та з використанням диверсифікованих та стабільно доступних зовнішніх джерел енергоресурсів [10]. Кінцевою метою є забезпечення диверсифікованого енергетичного балансу, який ґрунтується на різних джерелах енергії. Диверсифікація джерел постачання енергоресурсів та їх походження виступає одним із шляхів гарантування безпеки постачання [11].

Чи існує універсальний інструмент диверсифікації енергетичних ризиків для кожного окремого споживача енергетичних ресурсів? Ймовірне рішення є – це зробити кожного споживача максимально енергонезалежним від загальної системи постачання. Розроблення альтернативних джерел енергії, з одночасними заходами енергозбереження для кожного окремого споживача, вже підвищує його енергонезалежність. На прикладі повністю автономних будинків можемо сказати, що завдання диверсифікації вирішити цілком реально. При цьому враховуються аспекти диверсифікацій по всіх трьох основних напрямках.

Звичайно, перехід на повну автономність кожного споживача – нелегке завдання, що потребує багато коштів та часу на реалізацію. Втім, навіть часткове підвищення енергоефективності з одночасним виробленням власної енергії, достатньої для задоволення мінімальних критично-необхідних потреб, значно сприяє диверсифікації енергетичних ризиків. Особливо це актуально зараз, у часи воєнної агресії, коли один ракетний удар може залишити без енергоспоживання значну частину споживачів.

Диверсифікація джерел і шляхів постачання



енергоресурсів є визначальним чинником забезпечення енергетичної безпеки в цілому. Один з напрямів диверсифікації в ЄС передбачає зміни у структурі споживаних енергетичних ресурсів, що дозволяє країні підвищити рівень енергетичної безпеки за рахунок скорочення імпорту енергетичних ресурсів [12].

Ще один дієвий та актуальний напрям диверсифікації – це використання відновлюваних джерел енергії. Їхня основна перевага – невичерпність ресурсної бази, доступність цих ресурсів та екологічна чистота. Саме тому для диверсифікації енергетичних ризиків у житлових багатоповерхових будівлях рекомендовано використання власних альтернативних джерел енергії. Це не лише ефективний інструмент диверсифікації енергетичних ризиків для населення сьогодні і у майбутньому, але й обґрунтований шлях до стандартів ЄС із впровадженням зелених альтернатив.

Згідно з Законом України «Про альтернативні джерела енергії», альтернативні джерела енергії – це відновлювані джерела енергії, до яких належать енергія сонячна, вітрова, геотермальна, енергія хвиль та припливів, гідроенергія, енергія біомаси, газу з органічних відходів, газу каналізаційно-очисних станцій, біогазів, та вторинні енергетичні ресурси, до яких належать доменний та коксівний газ, газ метан дегазації вугільних родовищ, перетворення скидного енергетичного потенціалу технологічних процесів. Закон отожднює поняття нетрадиційні і відновлювальні джерела з поняттям альтернативні джерела [13].

Для забезпечення будинків енергією існують численні альтернативні джерела, що можуть допомогти знизити залежність від традиційних джерел енергії (газ, нафта, вугілля) і зменшити вплив на навколишнє середовище. Серед популярних альтернативних джерел енергії, що можуть бути використані у житлових багатоповерхових будівлях для підвищення автономії, виокремлюємо наступні:

1. Сонячна енергія: сонячні панелі, що конвертують сонячне випромінювання в електроенергію. Вони можуть бути встановлені на даху будинку і постачати енергію для освітлення, опалення та інших потреб. Сонячні батареї можуть зменшити рахунки за електроенергію та сприяти зменшенню викидів CO₂.
2. Вітрова енергія: генератори вітрової енергії використовують вітер для виробництва електроенергії. Це може бути варіантом для будівель, розташованих в районах з великими вітрами.
3. Гідроелектростанції: при наявності поруч з будівлями потоків води або річок можна використовувати мікрогідроелектростанції для виробництва невеликої кількості

електроенергії.

4. Теплові насоси: теплові насоси використовують тепло з навколишнього середовища, щоб опалювати і охолоджувати будинок. Вони доволі ефективні та екологічно чисті.
5. Геотермальна енергія: використовуючи тепло землі, геотермальні системи можуть опалювати будинок і гарячу воду.
6. Біомаса: паливо з біомаси, таке як дерево або біопаливо, може бути використане для опалення та підігріву води.

Вибір альтернативних джерел енергії залежить від регіону, фінансових можливостей, рівня споживання, а головне, від місцевих умов розташування об'єкта.

Мінімальне застосування відновлюваних джерел енергії дає можливість скоротити витрати традиційних видів палива, втім без повного переходу до автономного режиму варто обов'язково їх дублювати традиційними джерелами енергії з використанням електричної енергії, палива або систем централізованого тепlopостачання [14].

Використання альтернативних джерел енергії для житлових будівель має ряд переваг та недоліків. Серед перших:

- Максимальна екологічність, оскільки ці методи енергетики у процесі виробництва не виділяють шкідливих речовин, або шкода на навколишнє середовище є мінімальною.
- Невичерпність енергії, що робить їх, на відміну від традиційних джерел, перспективними для використання у майбутньому.
- Безкоштовність використовуваних природних ресурсів.
- Незалежність систем від змін державних тарифів.
- Універсальність та широкий спектр альтернативної енергетики. Можуть окремо чи у комбінаціях забезпечувати енергопостачання, опалення або охолодження приміщень (у окремих випадках), а також підігрів води.

До недоліків можна віднести:

- Високу вартість обладнання, що може окупатися тривалий час.
- Нерівномірність надходження енергії з навколишнього середовища. Через це потрібно передбачати установку спеціальних енергозберігаючих пристроїв, для забезпечення запасів енергії та стабільності її надходження [15].

Попри зазначені недоліки, варто підкреслити найголовніший плюс у впровадженні альтернативних джерел енергії – це універсальний інструмент, який застосовується для диверсифікації енергетичних ризиків у багатоповерхових житлових будівлях. Однак, до рекомендацій слід додати важливе обмеження, оскільки економічно раціональне використання таких джерел енергії



можливе лише тоді, коли виконані заходи по ретельній теплоізоляції будівель, мінімізації втрат теплоти, ощадливому споживанню гарячої води тощо. Витрати на економію згенерованої енергії у 3-4 рази менші за впроваджені технології її генерування.

Комбінування кількох джерел енергії та енерго-ефективних заходів може бути найефективнішим підходом для забезпечення енергією та зменшення впливу на навколишнє середовище. Надійне забезпечення населення енергетичними ресурсами суттєво впливає на зниження енергетичних ризиків і зміцнення енергонезалежності, що є актуальним внеском у національну безпеку нашої держави.

ВИСНОВКИ

Енергетична незалежність становить критичну основу функціонування нашої держави в умовах війни і в процесі відбудови України, тому необхідно вдосконалювати наявні енергетичні потужності та шукати нові шляхи розвитку енергетичної системи.

Аналіз напрямків розвитку енергетичної сфери у країнах ЄС доводить необхідність розширення масштабів використання відновлюваних джерел енергії та підвищення енергетичної ефективності для забезпечення зеленого курсу України і процесу інтеграції до європейських стандартів та технологій.

Розвиток різноманітних механізмів вироблення альтернативної енергії для забезпечення потреб багатоповерхових житлових будівель може підвищити рівень диверсифікації енергетичних ризиків, що стане суттєвим внеском у загальне зростання енергетичної безпеки країни.

Планомірне впровадження зелених технологій у відбудові України сприяє створенню екологічно безпечного навколишнього природного середовища.

БІБЛІОГРАФІЧНИЙ СПИСОК

1. Альона Корогод. Розвиток ВДЕ до 2030 року: цілі ЄС та плани України: стаття. URL: <https://dixigroup.org/comment/rozvytok-vdedo-2030-roku-czili-yes-ta-plany-ukrayiny/> (дата звернення: 02.09.2023).
2. Андрій Конеченков. Сектор відновлюваної енергетики України до, під час та після війни: стаття. URL: https://razumkov.org.ua/statti/sektor-vidnovlyuvanoyi-energetyky-ukrayiny-do-pid-chas-ta-pislya-viyny#_ftn39 (дата звернення: 02.09.2023).
3. Україна імпортувала в 2021р кам'яного вугілля та антрациту на \$2,488 млрд, з яких 62%- з РФ: стаття. URL: <https://expro.com.ua/novini/ukrana-mportuvala-v-2021r-kamyanogo-vuglylya-ta-antracitu-na-2488-mlrd-z-yakih-62-z-rf> (дата звернення: 02.09.2023).
4. 31рікенергетичної(не)залежності: як Україна протистоїть залежності від російських ресурсів: стаття. URL: <https://speka.media/31-rik-energeticnoyi-nezaleznosti-yak-ukrayina-protistoyit-zaleznosti-vid-rosiiskix-resursiv-ry0nxv> (дата звернення: 02.09.2023).
5. Хрякова Н. О. Енергетична безпека в Україні: Проблеми забезпечення та перспективи підвищення. Молодий вчений. 2019. № 10(74). С. 628–633. URL: <https://molodyivchenyi.ua/index.php/journal/article/view/1803/1775> (дата звернення: 03.09.2023).
6. Chow, E., Elkind, J. Hurricane Katrina and energy security. Survival. 2005. Vol. 47(4). Pp. 145–160
7. Klare, M. T., Brown J. The futile pursuit of energy security by military force. World Aff. 2007. Vol. 13(2). Pp. 139–153.
8. Sovacool, B. K., Brown, M. A. Competing Dimensions of Energy Security: An International Perspective. Environment and Resources. 2010. Vol. 35. Pp. 77–108.
9. Papanikos, G. T. Energy Security, the European Energy Union and the Mediterranean Countries, 2015. URL: [http://www.atiner.gr/gtp/Papanikos%20\(2015\)-Energy%20Security.pdf](http://www.atiner.gr/gtp/Papanikos%20(2015)-Energy%20Security.pdf) (дата звернення: 03.09.2023).
10. EUR-Lex, Green Paper – For European Union Energy Policy, 1995. URL: [http://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/PDF/?uri=CELEX:31995Y0811\(01\)&from=EN](http://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/PDF/?uri=CELEX:31995Y0811(01)&from=EN) (дата звернення: 03.09.2023).
11. Музиченко М. В. Місце і роль диверсифікації постачання енергоносіїв у системі забезпечення енергетичної безпеки ЄС. Світове господарство і міжнародні економічні відносини. 2017. № 21. С. 15–18. URL: http://bses.in.ua/journals/2017/21_2017/5.pdf (дата звернення: 03.09.2023).
12. Гарнавский, В. Европа дошла до второго уровня. Сайт журналу «Енергетика України». URL: <http://www.uaenergy.com.ua/c225758200614cc9/0/e17acabd5a9e682bc22578a100438fa8> (дата звернення: 03.09.2023).
13. Про альтернативні джерела енергії : Закон України від 20.02.2003 № 555-IV. Відомості Верховної Ради України. 2003. № 24. С. 155.
14. Свиноус І. Використання альтернативних джерел енергії в ЄС: можливості та перспективи для України. Проблеми і перспективи економіки та управління. 2022. № 4(32). С. 132–143. URL: <http://ppeu.stu.cn.ua/article/view/277032/271834> (дата звернення: 03.09.2023).



15. Альтернативні джерела енергії: стаття. URL: <https://www.airvent.com.ua/statti/alternativnyie-istochniki-energii-uk> (дата звернення: 02.09.2023).

REFERENCES

1. Korogod, A. (2023). Development of the Green Deal until 2030: EU goals and Ukraine's plans. DixiGroup. Retrieved from <https://dixigroup.org/comment/rozvytok-vde-do-2030-roku-czilyiyes-ta-plany-ukrayiny/>
2. Konechenkov, A. (2022). The renewable energy sector in Ukraine before, during, and after the war. Razumkov Centre. Retrieved from https://razumkov.org.ua/statti/sektor-vidnovlyuvanoyi-energetyky-ukrayiny-do-pid-chas-ta-pislyavyiny#_ftn39
3. EXPRO CONSULTING. (2022). Ukraine imported \$2.488 billion worth of stone coal and anthracite in 2021, with 62% from the Russian Federation. Retrieved from <https://exprom.com.ua/novini/ukrana-mportuvala-v-2021-r-kamyanogo-vuglyya-ta-antracitu-na-2488-mlrd-z-yakih-62-z-rf>
4. Vox Ukraine. (2022). 31 years of energy (in) dependence: how Ukraine resists dependence on Russian resources. Retrieved from <https://speka.media/31-rik-energeticnoyi-nezaleznosti-yak-ukrayina-protistoyit-zaleznosti-vid-rosiiskix-resursiv-py0nxv>
5. Khriakova, N. O. (2019). Energy security in Ukraine: Problems of provision and prospects for improvement. *Molodyi Vchenyi*, 10(74), 628–633. Retrieved from <https://molodyivchenyi.ua/index.php/journal/article/view/1803/1775>
6. Chow, E., & Elkind, J. (2005). Hurricane Katrina and energy security. *Survival*, 47(4), 145–160.
7. Klare, M. T., & Brown, J. (2007). The futile pursuit of energy security by military force. *World Affairs*, 13(2), 139–153.
8. Sovacool, B. K., & Brown, M. A. (2010). Competing Dimensions of Energy Security: An International Perspective. *Environment and Resources*, 35, 77–108.
9. Papanikos, G. T. (2015). Energy Security, the European Energy Union, and the Mediterranean Countries. Retrieved from [http://www.atiner.gr/gtp/Papanikos%20\(2015\)-Energy%20Security.pdf](http://www.atiner.gr/gtp/Papanikos%20(2015)-Energy%20Security.pdf)
10. EUR-Lex. (1995). Green Paper – For European Union Energy Policy. Retrieved from [http://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/PDF/?uri=CELEX:31995Y0811\(01\)&from=EN](http://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/PDF/?uri=CELEX:31995Y0811(01)&from=EN)
11. Muzychenko, M. V. (2017). The place and role of diversification of energy supplies in the system of ensuring the energy security of the EU. *World Economy and International Economic Relations*, 21, 15–18. Retrieved from http://bses.in.ua/journals/2017/21_2017/5.pdf
12. Tarnavsky, V. Europe has reached the second level. *Energy of Ukraine*. Retrieved from <http://www.uaenergy.com.ua/c225758200614cc9/0/e17acabd5a9e682bc22578a100438fa8>
13. Law of Ukraine. (2003). About alternative energy sources (No. 555-IV, February 20, 2003). *Official Gazette of the Verkhovna Rada of Ukraine*, 24, 155.
14. Svytnous, I. (2022). The use of alternative energy sources in the EU: opportunities and prospects for Ukraine. *Problems and Prospects of Economics and Management*, 4(32), 132–143. Retrieved from <http://ppeu.stu.cn.ua/article/view/277032/271834>
15. Airvent HVAC & Construction. Alternative energy sources: Article. Retrieved from <https://www.airvent.com.ua/statti/alternativnyie-istochniki-energii-uk>

Стаття надійшла до редакції 10.09.2023 року

РІШЕННЯ

III ВСЕУКРАЇНСЬКОЇ НАУКОВО-ПРАКТИЧНОЇ КОНФЕРЕНЦІЇ «РОЛЬ НАУКИ У ВІДБУДОВІ УКРАЇНИ»

1. Відзначити важливе значення науково-технічної підтримки для відбудови об'єктів цивільного, промислового, енергетичного та транспортного призначення.
2. Визнати тісну координацію зусиль галузевих наукових установ, вищих навчальних закладів, громадських об'єднань будівельної галузі запорукою успішного вирішення завдань з відновлення будівель і споруд різного функціонального призначення та ступеню пошкоджень.
3. Вважати за необхідне зосередити зусилля науковців будівельної галузі на таких актуальних проблемах як:
 - якісне обстеження та комплексне проектування відновлення об'єктів, пошкоджених внаслідок воєнних дій;
 - створення науково-технічних засад відбудови різних типів пошкоджених будівельних об'єктів у відповідності до основних вимог безпеки;
 - розробка екотехнологій повторного застосування будівельного сміття, що утворюється внаслідок руйнування та демонтажу пошкоджених об'єктів;
 - удосконалення методів розрахунку на вибухові та ударні впливи;
 - впровадження інноваційних технологій та будівельної продукції для робіт з комплексного відновлення;
 - підвищення енергетичної ефективності будівель і споруд під час їх відновлення та відбудови;
 - забезпечення проектної надійності об'єктів будівництва протягом всього їх життєвого циклу.
4. Посилити активну діяльність будівельної науки при здійсненні технічного регулювання будівельної галузі.
5. Розширити взаємодію галузевої науки з Національною академією наук України в частині вивчення залишкового ресурсу існуючих будівель і споруд, подовження терміну експлуатації, попередженню запроектних аварій тощо.
6. Рекомендувати Міністерству розвитку громад, територій та інфраструктури включити до плану наукових розробок на 2024 рік розробку науково-методичних підходів щодо:
 - відновлення пошкоджених об'єктів з урахуванням особливостей функціонального призначення та подальшої експлуатації;
 - визначення вимог до експлуатації будівель і споруд у складі будівельних норм;
 - обґрунтування подовження ресурсу конструкцій гідротехнічних і транспортних споруд та об'єктів атомної енергетики, проектна експлуатація яких наближається до завершення або вже завершена;
 - перетворення локалізуючої споруди об'єкту «Укриття» Чорнобильської АЕС у безпечну (екологічну, ядерну, радіаційну) систему;
 - оцінки фактичного ресурсу будівель та споруд – пам'яток архітектури з урахуванням набутих пошкоджень та дефектів, що дозволить приймати обґрунтовані рішення з урахуванням вимог Закону України «Про охорону культурної спадщини».
7. Спрямувати зусилля будівельної науки на забезпечення потреб підвищення обороноздатності країни, спорудження військових об'єктів, підвищення надійності будівель і споруд у воєнний та післявоєнний періоди.
8. Враховуючи незадовільний стан фінансування будівельної науки та можливі напрямки її розвитку, доцільно приділити увагу питанням комерціалізації науки як одного із шляхів її удосконалення.

Оргкомітет конференції

