



ЗМІСТ

НАУКА



ТА БУДІВНИЦТВО

3 (41)' 2024

Виходить чотири рази на рік

ЗАСНОВНИК

Державне підприємство «Державний науково-дослідний інститут будівельних конструкцій»

Заснований в лютому 2014 року.

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

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

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

Головний редактор:

Фаренюк Г.Г., д.т.н., проф., Україна

Заступник Головного редактора:

Слюсаренко Ю.С., 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 25.09.2024).

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

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

Адреса редакції: вул. Преображенська, 5/2,

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

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

www.journal-niisk.com

© "Наука та будівництво" 2024

Підписано до друку: 27.09.2024

Віддруковано: Товариство з обмеженою відповідальністю «Мастеркниг», 01030 м. Київ,

вул. Михайла Коцюбинського, 12, тел. (044) 209-24-70

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

Замовлення 927 від 27.09.24.

Наклад 50 примірників

3

Фаренюк Г.Г., Фаренюк Є.Г., Тимофєєв М.В.
Удосконалення методу вибору теплоізоляційного матеріалу для утеплення будівель

10

Бамбура А.М., Дорогова О.В.
Особливості проектування за ДСТУ 9294:2024 «Розрахунок будівель на стійкість до прогресуючого (непропорційного) обвалення»

15

Перельмутер А.В.
Щодо проєктних розрахунків будівельних конструкцій

25

Постоленко А.М., Величко А.М.
Експлуатаційна придатність конструкцій зовнішніх стін із фасадною теплоізоляцією та опорядженням штукатурками при застосуванні двошарової теплоізоляції

35

Шейніч Л.О., Миколаєць М.Г., Петрикова Є.М., Мудрик М.С.
Вплив фібри на підвищення тріщиностійкості залізобетонних конструкцій

44

Біда Д.В., Дідковський В.С.
Розрахунок звукоізоляції багатошарових конструкцій

49

Кириша Р.О.
Особливості розробки інвесторської кошторисної документації при аварійно-відновлювальних роботах житлових багатоквартирних будинків пошкоджених в результаті військових дій на прикладі реалізованих проєктів з відновлювальних робіт м. Чернігова в 2022 році



SCIENCE & CONSTRUCTION



3 (41)' 2024

Published four times a year

FOUNDER

State enterprise «State Scientific Research Institute of Building Constructions»

Founded in February 2014.

Certificate of state registration

KV № 20575-10375 R dated on 24.02.2014

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

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

Editor-in-chief:

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 25.09.2024)

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

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

Address of Editorial Board:

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

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

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

www.journal-niisk.com

© «Science & Construction», 2024

Signed for printing: 27.09.2024

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

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

Order № 927 from 27.09.2024

Drawing: 50 copy

CONTENT

3

Farenyuk G., Farenyuk Y. Tymofieiev M.
Improvement of the method of selecting thermal-insulating material for building insulation

10

Bambura A. Dorohova O.
Specifics of design according to DSTU 9294:2024
“Calculation of buildings for resistance to progressive (disproportionate) collapse)”

15

Perelmuter A.
Concerning design calculations of building structures

25

Postolenko A., Velychko A.
The serviceability of external wall structures with façade insulation and plaster finishing using double-layer insulation

35

**Sheinich L. Mykolaiets M.
Petrykova Y. Mydryk M.**
Influence of fiber on increase of crack resistance of reinforced concrete structures

44

Bida D. Didkovskyi V.
Calculation of sound insulation of multi-layer constructions

49

Kyrysha R.
Features of developing investor cost estimation documentation for emergency restoration works on residential apartment buildings damaged as a result of military actions based on examples of restoration projects implemented in the city of Chernihiv in 2022



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

УДК 699.865:692.23



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



ФАРЕНЮК Є.Г.
Канд. техн. наук, директор,
Державна установа «Фонд
енергоефективності»
м. Київ, Україна
e-mail: info@eefund.org.ua,
тел.: +38 (044) 222-95-90,
ORCID: 0000-0001-8613-877x



ТИМОФЄЄВ М.В.
Канд. техн. наук, доцент,
провідний науковий спів-
робітник відділу будівельної
фізики та енергоефективності,
ДП «Державний науково-
дослідний інститут будівельних
конструкцій»
м. Київ, Україна
тел.: (044) 249-37-20,
e-mail: tymofieiev@ndibk.gov.ua
ORCID: 0000-0001-9234-6567

УДОСКОНАЛЕННЯ МЕТОДУ ВИБОРУ ТЕПЛОІЗОЛЯЦІЙНОГО МАТЕРІАЛУ ДЛЯ УТЕПЛЕННЯ БУДІВЕЛЬ

АНОТАЦІЯ

Сучасні огорожувальні конструкції житлових та громадських будівель є термічно неоднорідними і вибір конструктивних параметрів теплоізоляційних шарів потребує застосування коректних розрахункових формул та введення коефіцієнтів, які чітко визначають складні умови передачі теплоти. Особливість національної методології нормування показників енергоефективності, одним із яких є рівень теплоізоляції огорожувальних конструкцій, полягає у нормуванні не опору теплопередачі по основному полю конструкції, а показника, який визначає реальні тепловтрати через огороження – приведенного опору теплопередачі. Предметом пропонуваного дослідження є аналіз положень щодо удосконалення методу вибору теплоізоляційного матеріалу для утеплення будівель, які були покладені в основу нового покоління нормативного документу ДСТУ 9191:2022. Метою є виявлення ключових змін у порівнянні із попереднім

національним стандартом ДСТУ Б В.2.6-189:2013 і на основі практичних розрахунків визначення необхідних опорів теплопередачі на прикладі світлопрозорих огорожувальних конструкцій у різних умовах експлуатації. Новизна і значимість полягає в озайомленні з результатами практичних розрахунків, які дозволяють при визначенні рівня енергоефективності будівель приймати більш обґрунтовані та економічні конструктивні рішення. Нормативний документ нового покоління в цілому відповідає сучасним правилам надання необхідної нормативної інформації, застосовує однотипні з міжнародними позначення і термінологічні тлумачення, що ставить його на рівень європейських стандартів. Положення цього стандарту забезпечують на етапі проектування визначення теплотехнічно обґрунтованої товщини шару утеплювального матеріалу в складі термічно неоднорідних зовнішніх стін, а при проектуванні



світлопрозорих огороджувальних конструкцій – прийняття економічно обґрунтованих рішень.

КЛЮЧОВІ СЛОВА: лінійний або точковий коефіцієнт теплопередачі, опір теплопередачі, нормативний документ, приведений опір теплопередачі, світлопрозорі огороження, теплоізоляційний матеріал, теплопровідне включення, теплопровідність, термічна однорідність, товщина шару утеплювача

IMPROVEMENT OF THE METHOD OF SELECTING THERMAL-INSULATING MATERIAL FOR BUILDING INSULATION

ABSTRACT

Modern building envelopes of residential and public buildings are thermally heterogeneous. Thus, the choice of design parameters of thermal insulation layers requires the use of correct calculation formulas and the introduction of coefficients that clearly define the complex conditions of heat transfer. A special feature of the national methodology for standardizing energy performance indicators, one of which is the level of thermal insulation of building envelopes, is the standardization not of the thermal resistance along the main field of the structure, but of the indicator that determines the actual heat loss through the envelope of the reduced thermal resistance. The subject of this study is the analysis of provisions for improving the method of selecting thermal insulation material for insulating buildings. These provisions form the basis of the new generation of the standard DSTU 9191:2022. The aim is to identify key changes compared to the previous national standard DSTU B.2.6-189:2013. Based on calculations, the goal is to determine the required thermal resistance using the example of translucent building envelopes under various operating conditions. The novelty and significance lie in familiarization with the results of practical calculations, These calculations which allow to make more conscious and cost-effective design decisions when determining the level of energy performance of buildings. The new generation regulatory document generally meets modern rules for providing the necessary information, uses the same designations and terminology as international ones, which puts it at the same level with European standards. The provisions of this standard ensure that at the design stage it will be possible to determine a thermally justified thickness of the insulating material layer in the composition of thermally heterogeneous external walls. That will help to make economically justified decisions when designing translucent building envelopes.

KEYWORDS: linear or point coefficient of heat transfer, heat transfer resistance, regulatory document, reduced heat transfer resistance, translucent fences, heat insulating material, heat conductive inclusion, thermal conductivity, thermal homogeneity, insulation layer thickness

ВСТУП

Забезпечення сучасних вимог енергоефективності будівель можливо тільки при застосуванні огороджувальних конструкцій з високим рівнем теплоізоляції, що обумовлює особливості розрахунків їх теплотехнічних показників, які практично завжди є багатошаровими та термічно неоднорідними. Ключовими позиціями при визначенні конструктивних параметрів шару теплоізоляційного матеріалу огороджувальної конструкції є визначення його розрахункових величин в залежності від виду матеріалу і умов його експлуатації та теплових характеристик, що враховують вплив способів кріплення теплоізоляційного матеріалу на теплопередачу через конструкцію. Розділ з енергоефективності будівлі у складі проектної документації базується на нормативних вимогах та способах їх забезпечення. В проектуванні з цього приводу склався сталлий алгоритм прийняття відповідних проектних рішень. В даній роботі наведені аналіз методичних положень стандарту, що діяв упродовж попередніх років, і обґрунтування нових положень, що внесені до нової редакції стандарту, а також методичні положення щодо взаємозв'язку з іншими супутніми нормативними документами.

АНАЛІЗ ОСТАННІХ ДОСЛІДЖЕНЬ ТА ПУБЛІКАЦІЙ

Проектуванню теплоізоляційної оболонки будівлі, що складається із непрозорих матеріалів (стіни, покриттів, перекриттів тощо), на всіх етапах розвитку будівельної теплотехніки в Україні приділялась прискіплива увага. У роботах Державного підприємства «Державний науково-дослідний інститут будівельних конструкцій» (ДП НДІБК) ще у минулому столітті були розроблені методи визначення приведенного опору теплопередачі огороджувальних конструкцій [1-3], результатом яких було видання першого у вітчизняній та іноземній практиці стандарту з визначення цього теплотехнічного показника [4]. У вітчизняних нормах ДБН Б В.2.6-31:2006 [5] методологія оцінювання тепловтрат через термічно неоднорідні огороджувальні конструкції отримала свій подальший розвиток, і норми застосовували такі нові на той час поняття, як лінійний або точковий коефіцієнт теплопередачі. Наведені в них приклади значень для приведених коефіцієнтів теплопередачі огороджувальних конструкцій розкривали конструктивні рішення існуючих будівель радянського періоду будівництва і носили ілюстративний характер. З активним переходом на застосування теплоізоляційних матеріалів у складі, наприклад, зовнішніх стін постало завдання забезпечення проектування відповідними нормативами. Такими нормативами стали міжнародні стандарти ДСТУ ISO 10211-1:2005 [5], ДСТУ ISO 10211-1:2005 [6] щодо способів визначення лінійних та точкових



коефіцієнтів теплопередачі, на базі яких із застосуванням чисельного моделювання двовірних та тривимірних теплових потоків з'явилась можливість визначати їх величини. Це дало змогу сформува-ти у ДСТУ Б В.2.6-189:2013 [8] відповідну базу даних для типових вузлових з'єднань. При цьому залишилась достатньо велика частина кон-структивних рішень, що не підпадала під наведені у стандарті [8] дані. Тому багато дослідників [9-11] продовжили роботу, результати якої знайшли втілення у Зміні № 1 до стандарту [8]. Також ці розробки були втілені до навчального проце-су у системі вищої освіти [12] та проаналізовані особливості забезпечення енергоефективності будівель з урахуванням ергономіки теплового сере-довища [13]. Таким чином, в нормативній базі були закладені основи методики розрахунків енер-госпоживання при опаленні та охолодженні, що базуються на трансмісійних тепловитратах через зовнішню оболонку будівлі у відповідності до ДСТУ Б EN ISO 13790:2012 [14] та знайшли втілення у відповідному ДСТУ Б А.2.2-12:2015 [15]. На цей період деякі положення, наприклад, щодо визначення допустимого значення опору теплопередачі внутрішніх конструкцій R_{qmin} , що розмежовують приміщення з розрахунковими темпе-ратурами повітря, які відрізняються більше ніж на 4 °С; температурного перепаду ΔT_{np} для огорожувальних конструкцій з коефіцієнтом скління менше або більше ніж 0,18; коефіцієнту скління фасадів будинку m_w ; розрахункового показника компактності будинку A_{bc} , містилися в ДБН 2.6-31:2016 [16]. Таке положення порушувало європейські принци-пи ієрархії нормування і потребувало з цього при-воду перегляду і запровадження нових нормативів в Україні.

ВИКЛАДЕННЯ ОСНОВНОГО МАТЕРІАЛУ

На теперішньому етапі стандарт ДСТУ 9191:2022 [17] повністю містить всю інформацію, що потрібна для необхідних теплотехнічних розрахунків.

По-перше, це стосується визначення приведенно-го опору теплопередачі. Запропоновано дві форму-ли, що мають вигляд:

$$R_{\Sigma n} = \frac{A_{\Sigma}}{\sum_i \left(\frac{A_i}{R_{\Sigma i}} \right) + \sum_k (l_k \cdot \Psi_k) + \sum_j (N_j \cdot \chi_j)^D} \quad (1),$$

де

A_{Σ} – загальна площа огорожувальної конструкції, обчислена за внутрішнім виміром з додаванням площ внутрішніх укосів прорізів та відніманням площ прорізів, м²;

A_i – площа i -ої термічно однорідної части-ни непрозорої конструкції, що не містить площі внутрішніх укосів прорізів та площі ділянок зовнішніх огорожень будівлі, які контактують з іншими теплопровідними включеннями, м²;

$R_{\Sigma i}$ – опір теплопередачі i -ої термічно однорідної частини конструкції, м²·К/Вт;

Ψ_m – лінійний коефіцієнт теплопередачі m -го лінійного теплопровідного включення, врахову-ються теплопровідні включення, що визначені за примітками 1 і 2 п.5.5 [17], Вт/(м·К);

l_m – лінійний розмір (проекція) m -го лінійного теплопровідного включення, м;

χ_j – точковий коефіцієнт теплопередачі j -го точко-вого теплопровідного включення, Вт/К, що розрахо-вують за тримірним температурним полем або при-ймають згідно з додатком Д [17];

N_j – загальна кількість j -их точкових теплопровідних включень, що розташовані на загальній площі огорожувальної конструкції без урахування площ внутрішніх укосів прорізів, шт.

Формула (2), що призначена для визначення приведенного опору теплопередачі характерної непрозорої частини огорожувальної конструкції із світлопрозорими прорізами, має вигляд:

$$R_{\Sigma np, k} = \frac{\sum_i A_{i, k} + \sum_i A_{i, sl, k}}{\sum_i \frac{A_{i, k}}{R_{\Sigma i}} + \sum_m (l_{m, k} \cdot \Psi_m) + \sum_j (N_{j, k} \cdot \chi_j)} \quad (2)$$

де

$A_{i, k}$ – площа термічно однорідної k -ої части-ни огорожувальної конструкції без урахування прорізів, м²;

$A_{i, sl, k}$ – площа укосів прорізів на i -ій ділянці зовнішнього огороження, що присутня на k -ій частині огорожувальної конструкції, м²;

$N_{j, k}$ – кількість j -их точкових теплопровідних вклю-чень, що розташовані на площі $A_{i, k}$, шт.;

$l_{m, k}$ – лінійний розмір (проекція) m -го лінійного теплопровідного включення, що розташований на k -ій частині огорожувальної конструкції, м;

$R_{\Sigma p}$, Ψ_m , χ_j – те саме, що в формулі (1).

Формула (1) визначає узагальнене значення для всієї конструкції будівлі із урахуванням всіх лінійних та точкових коефіцієнтів (укоси вікон або дверей, міжповерхове або цокольне перекриття, покриття, зовнішні або внутрішні кути тощо).

Нова формула (2) дозволяє визначити товщину утеплювача на окремі ділянки огороження, напри-клад, зовнішній стіні відповідного приміщення або покриття з світловими ліхтарями. Також форму-ла (2) застосовується при визначенні нормативних вимог до світлопрозорих конструкцій.

На відміну від [8] в [17] прийнято європейські позначення лінійних коефіцієнтів через Ψ та точ-кових – через χ відповідно, а також коефіцієнтів теплообміну внутрішньої та зовнішньої поверхонь відповідно через h_{si} та h_{se} . До того ж у [17] розширено перелік ситуацій для h_{si} та h_{se} стосовно експлуатації відповідних огорожувальних конструкцій з уточ-неними тепловими потоками, що мають різні напрями – вертикальні або горизонтальні. Такі редакційні нововведення дозволяють гармонізувати



даний і наступні нормативні документи зі схожими європейськими і вживати однотипні позначення, тим більше, що вони використані у новій редакції ДСТУ 9190:2022 [18] і розповсюджуються, наприклад, на визначення теплопередачі до ґрунту.

По-друге, стандарт [17] містить всі необхідні для обґрунтування конструктивних рішень зовнішніх огорожувальних конструкцій характеристик стосовно визначення:

- коефіцієнта термічної однорідності огорожувальної конструкції r (додаток Ж);
- еквівалентної температури зовнішнього повітря $\theta_{e,eq}$, з урахуванням впливу сонячної радіації;
- різниці температур $\Delta\theta_{int-si}$ для огорожувальних конструкцій з коефіцієнтом скління не більше ніж 0,30 (додаток К);
- розрахунку мінімально допустимого приведенного опору теплопередачі світлопрозорих конструкцій в зовнішніх огороженнях приміщень із коефіцієнтом скління більшим ніж 0,30 (додаток Л);
- розрахункового показника компактності будівлі L_B (додаток М).

В стандарті уточнено значення розрахункової теплопровідності в умовах експлуатації «А» та «Б» виробів із спіненого пінополістиролу густиною 15-50 кг/м³ та ніздрюватого бетону густиною 150 кг/м³. Залишено в незмінному вигляді інформацію про лінійні та точкові коефіцієнти теплопередачі для типових вузлових з'єднань. Тим більше, що з 2022 року почав діяти ДБН В.2.6-31:2021 [19], який встановив для огорожувальних конструкцій підвищені вимоги до мінімально допустимих значень приведенного опору теплопередачі.

В редакцію [17] не включено метод розрахунку міцності утеплювача в конструкціях покриттів та перекриттів, що був у попередній редакції, як такий, що не має прямого відношення до теплотехнічних властивостей матеріалів для утеплення огорожень.

ІНТЕРПРЕТАЦІЯ РЕЗУЛЬТАТІВ ТА ЇХ АПРОБАЦІЯ

Введені положення спрощують обґрунтування призначення товщини утеплювача в складі зовнішньої огорожувальної конструкції. Іншою є ситуація визначення мінімально допустимого значення

приведеного опору теплопередачі світлопрозорих огорожень (вікон, вітражів або світлопрозорих фасадів), що базуються на запропонованій у додатку Л [17] методиці. За результатами розрахунків за умов І-ої температурної зони при нормативному значенні приведенного опору теплопередачі зовнішніх стін на рівні 4 м²·К/Вт були визначені значення мінімального опору теплопередачі світлопрозорих огорожень. Рисунки демонструють стає зростання потрібного опору теплопередачі світлопрозорих огорожень в залежності від коефіцієнту скління $m_{gl,k}$ для двох величин різниць температур $\Delta\theta_{int-si,max}$, що дорівнюють відповідно 4 °С (рис. 1) для житлових приміщень та 5 °С (рис. 2) для нежитлових приміщень у відповідності до таблиці 3 [17]. Закономірно встановлено, що світлопрозорі фасадні системи потребують підвищених значень приведених опорів теплопередачі.

Подібні розрахунки, що виконані для II-ої

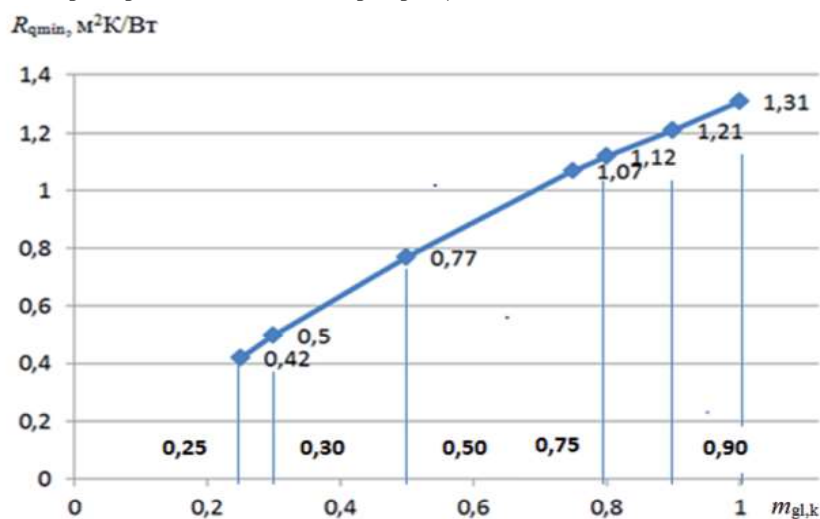


Рисунок 1 – Мінімальний опір теплопередачі світлопрозорих огорожень (зовнішня стіна 4,0 м²·К/Вт) за $\Delta\theta_{int-si,max} = 4$ °С

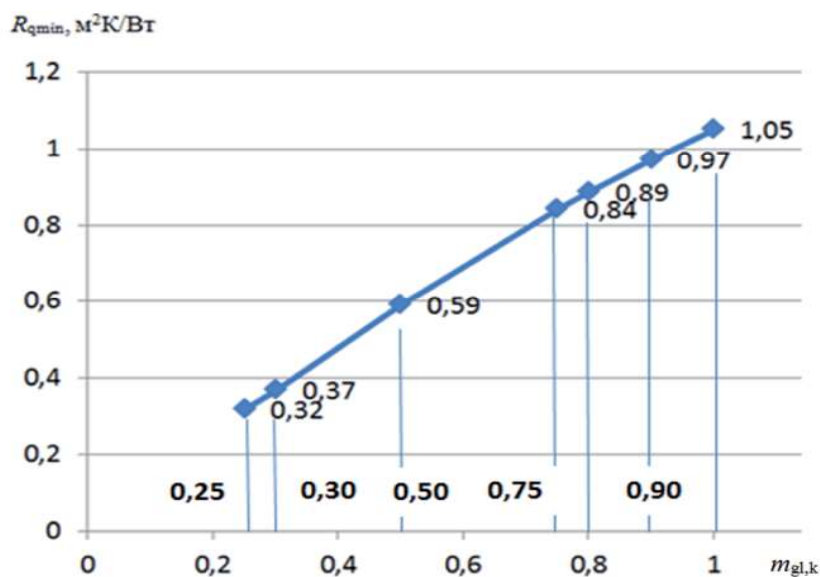


Рисунок 2 – Мінімальний опір теплопередачі світлопрозорих огорожень (зовнішня стіна 4,0 м²·К/Вт) за $\Delta\theta_{int-si,max} = 5$ °С



Таблиця 1 – Пропозиції щодо призначення приведенного опору теплопередачі світлопрозорих огорожень

Коефіцієнт скління	Розраховане значення опору теплопередачі світлопрозорого огороження в температурній зоні України, м ² ·К/Вт	
	I	II
$m_{gl,k} \leq 0,5$	0,75	0,70
$0,5 < m_{gl,k} \leq 0,8$	0,90	0,80
$m_{gl,k} > 0,8$	1,05	1,00

температурної зони із приведеним опором теплопередачі зовнішніх стін на рівні 3,5 м²·К/Вт, дозволили встановити перехідні величини для мінімально допустимих значень приведенного опору теплопередачі світлопрозорих огорожень, які представлено в табл. 1.

Табл. 1 відображає сучасні тенденції у будівництві з використанням значної площі світлопрозорих частин зовнішніх стін. Діапазон значень $m_{gl,k} \leq 0,5$ характеризує вікна; $0,5 < m_{gl,k} \leq 0,8$ – вітражі та $m_{gl,k} > 0,8$ – світлопрозорі фасади. Вказані орієнтовні величини мають значення, наближені до запропонованих в табл. 1 [19] нормативних величин 0,9 м²·К/Вт для I-ї температурної зони та 0,7 м²·К/Вт для II-ї температурної зони. А оскільки сучасне проектування направлене на реалізацію вимоги ДБН В.1.2-11:2021 [20] щодо системного принципу забезпечення енергетичної ефективності будівель, то при досягненні необхідного класу енергоефективності будівлі логічно використовувати світлопрозорі огороження із зниженими значеннями приведенного опору теплопередачі у відповідності до положень 5.2.1 або 5.2.2 [19]. Такий підхід дозволить зменшувати вартість світлопрозорих огорожень при забезпеченні ними достатніх комфортних умов.

ВИСНОВКИ

1. Виконаний аналіз нових положень стандарту ДСТУ 9191:2022 демонструє наявність достатнього нормативного матеріалу для використання у проектуванні методу вибору теплоізоляційного матеріалу для утеплення будівель.
2. Потребує розширення база даних щодо лінійних та точкових коефіцієнтів теплопередачі інших вузлових з'єднань, таких як зовнішні або внутрішні кути стін, парапети або карнизи, цокольні вузли тощо. З цього приводу потрібен аналіз сучасних європейських нормативних документів.
3. На рівні термінології необхідно дати нове тлумачення визначенню опалювано-

го об'єму будівлі, в якому потрібно враховувати об'єми повітря, що обмежуються умовною площиною внутрішньої поверхні зовнішньої стіни та внутрішньої поверхні світлопрозорого огороження, а з боків – укосами. Таке уточнення важливо для існуючих будівель, особливо громадського призначення зі стінами значної товщини.

БІБЛІОГРАФІЧНИЙ

СПИСОК

1. Методические рекомендации по определению теплотехнических показателей ограждающих конструкций в лабораторных условиях. Київ, ДП «НДІБК», 1982. 23 с.
2. Методические рекомендации по обеспечению теплотехнических качеств ограждающих конструкций инвентарных зданий. Київ, ДП «НДІБК», 1984. 19 с.
3. В.П. Хоменко, Г.Г. Фаренюк. Справочник по теплосащите зданий. Київ, Будівельник, 1986. 215 с.
4. ГОСТ 26254-84. Здания и сооружения. Метод определения сопротивления теплопередаче ограждающих конструкций. Москва, Издательство стандартов, 1985. 24 с.
5. ДБН Б В.2.6-31:2006. Теплова ізоляція будівель. Київ: Міністерство будівництва, архітектури та житлово-комунального господарства України, 2006. 71 с.
6. ДСТУ ISO 10211-1:2005 (ISO 10211-1:1995, IDT). Теплопровідні включення в будівельних конструкціях. Обчислення теплових потоків та поверхневих температур. Частина 1. Загальні методи. Київ: Держспоживстандарт України, 2005. 75 с.
7. ДСТУ ISO 10211-2:2005 (ISO 10211-2:2001, IDT). Теплопровідні включення в будівельних конструкціях. Обчислення теплових потоків та поверхневих температур. Частина 2. Лінійні теплопровідні включення. Київ: Держспоживстандарт України, 2005. 71 с.
8. ДСТУ Б В.2.6-189:2013. Методи вибору теплоізоляційного матеріалу для утеплення будівель. Київ: Мінрегіон України, 2014. 51 с.
9. Філоненко О.І., Олексієнко О.Б., Герашенко О.О. Дослідження теплозахисних властивостей огорожувальних конструкцій при термомодернізації будівель. Науковий вісник будівництва: збірник наукових праць. № 2(76). Харків: ХНУБА, 2014. С. 147 –151.



10. Суртаєв В. В. Застосування конструкцій зовнішніх огорожень будівель з підвищеним теплозахистом. Вісник Криворізького національного університету. 2015. № 40. С. 128-134.
11. Прищенко А.М. Вузлові з'єднання зовнішніх стін з підвищеними теплотехнічними показниками як засіб забезпечення енергоефективності будівель: автореф. дис. канд. техн. наук: 05.23.01. Київ, 2015. 24 с.
12. Тимофєєв М.В. Фаренюк Г.Г. Розрахунки енергоефективності будівель / Навчальний посібник, МОНУ. Київ: КНУБА, 2014. 140 с.
13. Фаренюк Г.Г., Філоненко О.І., Тимофєєв М.В. Енергоефективність громадських будівель з урахуванням ергономіки теплового середовища. Комунальне господарство міст. Наук. техн. збірник. Серія: Техн. науки та архітектура. 2017. №135. С. 119-124.
14. ДСТУ Б EN ISO 13790:2012 (EN ISO 13790:2008, IDT). Енергетична ефективність будівель. Розрахунок енергоспоживання та опалення та охолодження. Київ: НДІБК, 2011. 229 с.
15. ДСТУ Б А.2.2-12:2015. Енергетична ефективність будівель. Метод розрахунку енергоспоживання при опаленні, охолодженні, вентиляції, освітленні та гарячому водопостачанні. Київ: Мінрегіон України, 2015. 145 с.
16. ДБН 2.6-31:2016. Теплова ізоляція будівель. Київ: Мінрегіон України, 2017. 37 с.
17. ДСТУ 9191:2022. Теплоізоляція будівель. Метод вибору теплоізоляційного матеріалу для утеплення будівель. Київ: ДП «УкрНДНЦ», 2022. 63 с.
18. ДСТУ 9190:2022. Енергетична ефективність будівель. Метод розрахунку енергоспоживання під час опалення, охолодження, вентиляції, освітлення та гарячого водопостачання. Київ: ДП «УкрНДНЦ», 2022. 156 с.
19. ДБН 2.6-31:2021. Теплова ізоляція та енергоефективність будівель. Київ: Мінрегіон України, 2022. 27 с.
20. ДБН В.1.2-11:2021. Основні вимоги до будівель і споруд. Енергозбереження та енергоефективність. Київ: Мінрегіон України, 2022. 26 с.
3. V.P. Khomenko, H.G. Farenjuk. (1986). Handbook on heat protection issued. Kyiv: Budivelnyk.
4. GOST 26254-84. (1985). Buildings and structures. The method of determining heat transfer resistance of enclosing structures. Moscow: Izdatelstvo standartov.
5. DBN B V.2.6-31:2006. (2006). Thermal insulation of buildings. Kyiv: Ministry of Construction, Architecture, and Housing and Communal Services of Ukraine.
6. DSTU ISO 10211-1:2005. (2005). Heat-conducting inclusions in building structures. calculation of heat flows and surface temperatures. Part 1. General methods. Kyiv: State Committee for Technical Regulation and Consumer Policy of Ukraine.
7. DSTU ISO 10211-2:2005. (2005). Heat-conducting inclusions in building structures. Calculation of heat flows and surface temperatures. Part 2. Linear heat-conducting inclusions. Kyiv: State Committee for Technical Regulation and Consumer Policy of Ukraine.
8. DSTU B V.2.6-189:2013. (2014). Methods of choosing thermal insulation material for building insulation. Kyiv. Ministry of Construction.
9. Filonenko, O. I., Oleksienko, O. B., & Gerashchenko, O. O. (2014). Research of heat-shielding properties of enclosing structures during thermal modernization of buildings. Scientific Bulletin of Construction: Collection of Scientific Papers, 2(76), 147-151. Kharkiv: Khnuba.
10. Surtaev, V. V. (2015). Application of constructions of external enclosures of buildings with increased heat protection. Bulletin of Kryvorizkiy National University, 40, 128-134.
11. Prishchenko, A. M. (2015). Nodal connections of external walls with increased thermal performance as a means of ensuring energy efficiency of buildings: Autoref. thesis Ph.D. technical Sciences: 05.23.01. (24 p.). Kyiv.
12. Timofeev, M. V., & Farenjuk, H. H. (2014). Calculations of building energy efficiency: Textbook, Ministry of Education and Science of Ukraine. Kyiv: KNUBA.
13. Farenjuk H.G., Filonenko O.I., Timofeev M.V. (2017). Energy efficiency of public buildings taking into account the ergonomics of the thermal environment. Communal management of cities. Sciences technical collection. Series: Tech. sciences and architecture, 135, 119-124.
14. DSTU B EN ISO 13790:2012. (2011). Energy efficiency of buildings. Calculation of energy

REFERENCES

1. NIISK. (1982). Methodological recommendations for determining heat-technical parameters of enclosing structures in laboratory conditions. Kyiv: NIISK.
2. NIISK. (1984). Methodological recommendations for ensuring the heat-technical qualities of the enclosing structures of the existing inventory.



- consumption for heating and cooling. Kyiv: NIISK.
15. DSTUBA.2.2-12:2015. (2015). Energy efficiency of buildings. The method of calculating energy consumption for heating, cooling, ventilation, lighting and hot water supply. Kyiv: Ministry of Regional Development.
 16. DBN 2.6-31:2016. (2017). Thermal insulation of buildings. Kyiv: Ministry of Regional Development of Ukraine.
 17. DSTU 9191:2022. (2022). Thermal insulation of buildings. The method of choosing thermal insulation material for insulating buildings. Kyiv: "UkrNDNC".
 18. DSTU 9190:2022. (2022). Energy efficiency of buildings. Method for calculating energy consumption during heating, cooling, ventilation, lighting and hot water supply. Kyiv: "UkrNDNC".
 19. DBN 2.6-31:2021. (2022). Thermal insulation and energy efficiency of buildings. Kyiv: Ministry of Regional Development of Ukraine.
 20. DBN V.1.2-11:2021. (2021). Basic requirements for buildings and structures. Energy saving and energy efficiency. Kyiv: Ministry of Regional Development of Ukraine.

Стаття надійшла до редакції 30.06.2024



Doi: <https://doi.org/10.33644/2313-6679-3-2024-2>

УДК 624.012.41



БАМБУРА А.М.

Доктор техн. наук, професор, завідувач відділом, ДП «Державний науково-дослідний інститут будівельних конструкцій»,
e-mail: abambura@gmail.com,
тел.: +38(044) 249-37-44,
ORCID: 0000-0003-1402-3345



ДОРОГОВА О.В.

Канд. техн. наук, старший науковий співробітник ДП «Державний науково-дослідний інститут будівельних конструкцій»,
e-mail: dorogova@ukr.net,
тел.: +38(044) 249-37-75,
ORCID: 0000-0002-7838-6383

ОСОБЛИВОСТІ ПРОЄКТУВАННЯ ЗА ДСТУ 9294:2024 «РОЗРАХУНОК БУДІВЕЛЬ НА СТІЙКІСТЬ ДО ПРОГРЕСУЮЧОГО (НЕПРОПОРЦІЙНОГО) ОБВАЛЕННЯ»

АНОТАЦІЯ

Глобальні (непропорційні з першопричиною) руйнування ряду об'єктів з підвищеною відповідальністю за наслідками, в результаті яких гинуть люди або втрачаються значні матеріальні цінності, поставили питання розробки нових підходів щодо проектування об'єктів з підвищеною відповідальністю за наслідками. Як показала практика, непропорційне (прогресуюче) обвалення об'єкта може бути викликано рядом причин або їх комбінацією – помилками проектування та будівництва, вибухом, пожежею, ударними впливами транспортних засобів тощо. На початку двохтисячних років у світі та в нашій державі почались інтенсивні дослідження з метою мінімізувати імовірність прогресуючого обвалення. Першим національним нормативним актом, в якому сформульовані основні принципи з попередження прогресуючого обвалення при проектуванні висотних будівель, був ДБН В.2.2-24:2009 «Проектування висотних житлових і громадських будинків». У 2021 році набрав чинності ДБН В.1.2-6:2021 «Основні вимоги до будівель і споруд. Механічний

опір та стійкість», у п. 3.2 якого чітко сформульована вимога щодо запобігання виникнення пошкоджень, непропорційних за обсягами порівняно з першопричиною, будівель і споруд, а не тільки висотних будинків. Тому виникла нагальна потреба в розробці спеціального нормативного документу щодо запобігання виникненню прогресуючого обвалення будівель і споруд.

В статті розглянуті основні принципи і заходи щодо запобігання прогресуючому обваленню об'єктів будівництва на стадії проектування відповідно до розробленого вперше національного стандарту ДСТУ 9294:2024 «Розрахунок будівель на стійкість до прогресуючого (непропорційного) обвалення». Цей стандарт розроблено ДП НДІБК на замовлення Міністерства розвитку громад, територій та інфраструктури України та прийнято Державним підприємством «Український науково-дослідний і навчальний центр проблем стандартизації, сертифікації та якості» (ДП «УкрНДНЦ»).

ДСТУ 9294:2024 встановлює основні положення проектування громадських та житлових



будівель класів наслідків СС3 та СС2 різних конструктивних систем та захисту їх від прогресуючого (непропорційного) обвалення.

Стандарт не поширюється на будівлі, що відносяться до культурної спадщини (пам'яток історії та культури), та будівлі, вимоги до захисту від прогресуючого (непропорційного) обвалення яких встановлюються іншими державними будівельними нормами.

КЛЮЧОВІ СЛОВА: конструктивна система, прогресуюче (непропорційне) обвалення, несуча здатність, бетон, залізобетон, сталезалізобетон, розрахункова модель.

SPECIFICS OF DESIGN ACCORDING TO DSTU 9294:2024 "CALCULATION OF BUILDINGS FOR RESISTANCE TO PROGRESSIVE (DISPROPORTIONATE) COLLAPSE)"

ABSTRACT

Due to the global (disproportionate with a primary cause) collapse of structures with increased responsibility for the consequences, as a result of which people died or significant material values were lost, raised the question of developing new approaches to the design of structures with increased responsibility for the consequences. As practice has shown, the disproportionate (progressive) collapse of a structure can be caused by a number of factors or their combination, such as design and construction errors, explosions, fires, impact from vehicles, etc. In the early 2000s, intensive research began worldwide, including in our country, to minimize the likelihood of progressive collapse. The first national regulatory document outlining the basic principles for preventing progressive collapse during the design of high-rise buildings was DBN V.2.2-24:2009. In 2021, DBN B 1-2-6 came into effect, which in clause 3.2 clearly articulated the requirement to prevent damage disproportionate in scale to the original cause for buildings and structures, not just high-rise buildings. Therefore, there was an urgent need to develop a specialized regulatory document to prevent the occurrence of progressive collapse of buildings and structures.

The article discusses the main principles and measures to prevent the progressive collapse of construction objects at the design stage according to the newly developed national standard DSTU 9294:2024 "Calculation of Buildings for Resistance to Progressive (Disproportionate) Collapse." This standard was developed by NIISK and commissioned by the State Enterprise "Ukrainian Scientific Research and Training Center for Standardization, Certification and Quality Problems" (SE "UkrNDNC").

DSTU 9294:2024 establishes the main provisions for designing public and residential buildings of consequence classes СС-3 and СС-2 with various

structural systems and their protection against progressive (disproportionate) collapse. The standard does not apply to buildings classified as cultural heritage (historical and cultural monuments) or to buildings for which other national building codes establish protection requirements against progressive (disproportionate) collapse.

KEYWORDS: structural system, progressive (disproportionate) collapse, load-bearing capacity, concrete, reinforced concrete, steel-reinforced concrete, calculation model.

ВСТУП

Національний стандарт ДСТУ 9294:2024 «Розрахунок будівель на стійкість до прогресуючого (непропорційного) обвалення» розроблено Державним підприємством «Державний науково-дослідний інститут будівельних конструкцій» на замовлення Міністерства розвитку громад, територій та інфраструктури України та прийнято Державним підприємством «Український науково-дослідний і навчальний центр проблем стандартизації, сертифікації та якості» (ДП «УкрНДНЦ»).

Розробка стандарту регламентується вимогами будівельних норм ДБН В.1.2-6:2021 [1], п.п. 3.2-3.6, та ДБН В.1.1-7:2016 [2], п. 4.2. Ця вимога пов'язана з необхідністю попередження можливих глобальних аварій та пошкоджень у разі локального руйнування відповідальних елементів несучих конструкцій при аварійних впливах, що не передбачені умовами нормальної експлуатації будівель (помилки при проектуванні та будівництві, вибухи, пожежі, ударні впливи транспортних засобів тощо).

Стандарт не має попередніх розробок в Україні, тому були опрацьовані наукові джерела різних країн, зокрема норми Сполучених штатів Америки (UFC) [4].

МЕТА РОБОТИ

Мета розробки ДСТУ 9294:2024 «Розрахунок будівель на стійкість до прогресуючого (непропорційного) обвалення» – розроблення національного стандарту, що відповідає сучасній потребі і стану національної нормативної бази України в сфері проектування будівель і споруд.

Стандарт дозволяє забезпечити надійність будівель і споруд в різних інженерно-геологічних умовах та забезпечити високий рівень їх безпеки в процесі всього терміну експлуатації.

ВИКЛАД ОСНОВНОГО МАТЕРІАЛУ

Громадські та житлові будівлі, залежно від рівня відповідальності за наслідками (див. табл. 1 ДБН В.1.2-14 [3], табл. Б.1 додатка Б), повинні бути захищені від прогресуючого (непропорційного) обвалення у разі локального руйнування відповідальних елементів несучих конструкцій за аварійних впливів, не передбачених умовами



нормальної експлуатації будівель (помилки при проектуванні та будівництві, вибухи, пожежі, ударні впливи транспортних засобів тощо). Ця вимога означає, що в разі будь-якої аварії, що може призвести до небажаних наслідків, допустимі локальні руйнування несучих конструкцій в межах одного поверху (локальне руйнування перекриття, повне руйнування однієї з колон, повне або часткове руйнування простінків або окремих стін у двох суміжних осях будівлі), але вказані первинні руйнування не повинні призводити до прогресуючого (непропорційного) обвалення або до руйнування конструкцій, на які передається навантаження, яке раніше сприймалося елементами, пошкодженими аварійним впливом.

Для забезпечення захисту будівель від прогресуючого (непропорційного) обвалення потрібно використовувати найбільш економічні засоби, що не потребують значного підвищення матеріаломісткості конструктивних елементів:

- під час розроблення архітектурно-планувальних рішень потрібно враховувати можливість виникнення локального руйнування внаслідок аварійного впливу;
- у багатоповерхових будівлях потрібно вживати конструктивних заходів, що підвищують ступінь статичної невизначеності конструкції (підвищення нерозрізненості конструкції, зменшення кількості шарнірних з'єднань тощо);
- потрібно застосовувати матеріали й конструктивні рішення, що забезпечують розвиток у конструктивних елементах і їхніх з'єднаннях пластичних деформацій;
- необхідно конструювати технічні поверхи у вигляді просторової системи (плити коробчастого перерізу, елементи жорсткості у вигляді ферм на всю висоту поверху тощо), здатних сприймати навантаження, які обумовлені видаленням вертикальних елементів, розташованих між технічними поверхами.

Таким чином, основне завдання проектування в аварійній розрахунковій ситуації зводиться до мінімізації ймовірності виникнення граничного стану.

Як правило, будівлю розраховують як систему «основа – фундамент – будівля» з використанням програмних комплексів, що дають змогу враховувати фізичну, геометричну та конструкційну нелінійність. Такий розрахунок забезпечує найбільшу точність відображення закономірностей роботи конструктивної системи реальної будівлі за аварійних впливів.

За розрахунками вважається, що захист будівлі від прогресуючого (непропорційного) обвалення забезпечено, якщо для будь-яких елементів і їхніх з'єднань виконано наступну умову:

$$E_d \leq R_d, \quad (1)$$

де: E_d – розрахункова величина результату дій для прийнятої розрахункової ситуації; R_d – розрахункова величина несучої здатності для прийнятої розрахункової ситуації.

Вплив локальних руйнувань несучих конструкцій враховують тим, що розрахункову модель конструктивної системи будівлі розглядають у кількох варіантах, кожний із яких відповідає одному з можливих сценаріїв локальних руйнувань конструкцій за аварійної комбінації впливів.

Під час проектування слід враховувати аварійні розрахункові ситуації, що виникають під час дії аварійних впливів на стадіях будівництва та експлуатації будівлі, а також під час проведення реконструкції та капітального ремонту.

Відповідно до вимог ДБН В.1.2-14 [3], несучі та огорожувальні конструкції будівель повинні бути запроєктовані з урахуванням обґрунтованих аварійних розрахункових ситуацій, що можуть виникнути за рахунок позапроєктних впливів чи людського фактору.

В додатку В [3] наведений рекомендований перелік для розгляду подій, що можуть спричинити аварійний стан. Це дає змогу визначити найбільш імовірні причини та місця виникнення відмови несучих конструкцій.

Під час вибору сценаріїв розрахунку на стійкість прогресуючому (непропорційному) обваленню треба враховувати, що локальне руйнування може бути розташоване в будь-якому місці будівлі.

Для кожного сценарію треба визначити відповідальні несучі елементи (як правило, це найбільш напружені елементи несучої системи), вихід з ладу яких може викликати прогресуюче обвалення всієї конструктивної системи. Для цього виконується аналіз роботи несучих конструкцій будівлі за усталеної розрахункової ситуації.

Для оцінювання стійкості будівель до прогресуючого (непропорційного) обвалення розглядаються найнебезпечніші локальні руйнування, які можна розподілити на два випадки:

- 1) Вилучення з роботи вертикальних несучих елементів;
- 2) Обвалення частини перекриття або покриття.

Таким чином, рекомендовано проводити розрахунок за наступною схемою:

По-перше, визначається найбільш напружена несуча конструкція (колона, несуча стіна) в конструктивній системі будівлі (в деяких випадках їх може бути декілька). Для цього виконується розрахунок усієї конструктивної системи на постійні й тимчасові навантаження.

По-друге, моделюється ситуація, коли ця конструкція видаляється з каркасу будівлі як така, що втратила свою несучу здатність. Внаслідок цього решта несучих конструкцій мають прийняти на себе додаткові навантаження (які раніше сприйма-



лись конструкцією, що вилучена), при цьому повинна зберігатися їх несуча здатність і стійкість (вони не мають самі зруйнуватися повністю або частково за ланцюговою реакцією). Розрахунок проводиться у фізично й геометрично нелінійній постановці. Навантаження від видалення елементів відповідає зусиллям, які отримані в них на попередньому етапі розрахунку і збільшені на статичний еквівалент динамічного впливу.

По-третє, визначається частина міжповерхового перекриття, яка має найбільшу площу між несучими елементами. Далі застосовуємо сценарій, відповідно до якого визначена частина умовно вважається такою, що втратила свою несучу здатність під час аварійних впливів, внаслідок чого відбувається її падіння на перекриття, розташоване знизу. За такого сценарію ключовим є здатність нижнього перекриття сприймати без руйнування додаткові навантаження.

В стандарті визначено, що при розрахунку несучих конструкцій одного (будь-якого) поверху будівлі рекомендовано зону локального руйнування назначати площею не менше ніж 80 м^2 .

У всіх випадках площа поперечного перерізу кожного вилученого вертикального елемента, розташованого на ділянці локального руйнування, не повинна перевищувати: для залізобетонних елементів — $1,0 \text{ м}^2$; для фібробетонних, сталезалізобетонних елементів — $0,7 \text{ м}^2$.

Для конструкцій з цілісної, клеєної деревини та клеєного шпону площа поперечного перерізу всіх вилучених вертикальних елементів не повинна перевищувати 20 % загальної площі перерізу вертикальних елементів, розташованих на ділянці локального руйнування.

При виборі першого випадку розглядаються наступні сценарії розрахунку (рисунк 1):

- вилучення (видалення) двох стін, що перетинаються, на ділянках від місця їхнього перетину (наприклад, від кута будівлі) до найближчого отвору в кожній стіні або до наступного вертикального перетину зі стіною іншого напрямку, або на ділянці, що дорівнює висоті поверху H в чистому вигляді в кожному напрямку (рис. 1 в);
- вилучення стіни, що стоїть окремо: біля середини з короткої сторони будівлі, біля середини з довгої сторони, на куті будівлі від краю до найближчого отвору або на довжині, що дорівнює висоті поверху в чистому вигляді;
- обвалення (видалення) окремої колони.

У конструктивній схемі будівлі має бути видалено, як мінімум, одну колону із зовнішньої сторони, яка розташована в середині короткої (або довгої) сторони будівлі в плані. Крім того, рекомендовано обов'язкове видалення колон у точках плану

будівлі, де істотно змінюється його геометрія або конструктивне рішення.

У стандарті вказано, що розрахунок на прогресуюче обвалення припустимо виконувати квазістатичним методом – видаленням окремих елементів з розрахункової схеми. У такому разі реакції видалених елементів прикладають до модифікованої розрахункової схеми, яка реалізувалась після видалення елементів зі зворотним знаком, та помноженими на коефіцієнт k , який становить:

- не менше ніж 1,2 — для багатоповерхових будівель з кроком колон менше ніж 7,2 м;
- не менше ніж 1,4 — для багатоповерхових будівель з кроком колон більше ніж 7,2 м;
- 1,0 — для одноповерхових будівель.

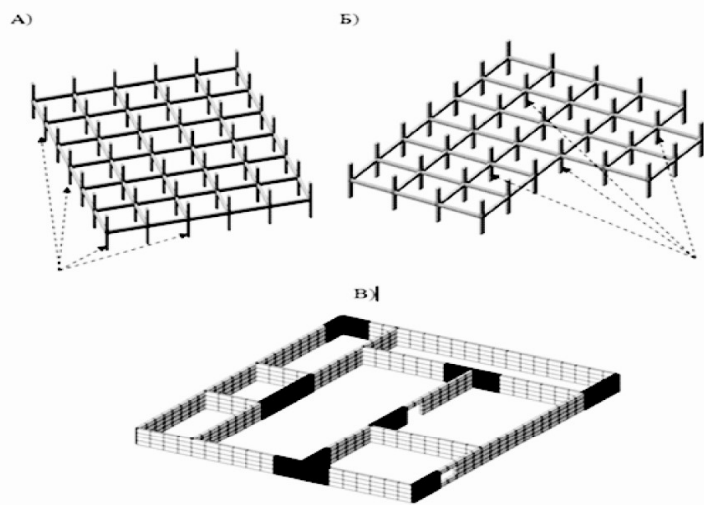
При виборі другого випадку розглядається умовне обвалення ділянки перекриття одного поверху на площі локального руйнування, внаслідок чого відбувається її падіння на перекриття, розташоване нижче.

Перекриття будівлі повинне сприймати вагу ділянки перекриття вищого поверху з урахуванням динамічного впливу.

Перекриття будівлі повинно бути розраховано на сприйняття ваги ділянки перекриття вищого поверху (постійне + тривале навантаження) з коефіцієнтом $k = 1,5$ для будівель класу наслідків СС3 та $k = 1$ – для будівель класу наслідків СС2 на площі локального руйнування.

Розрахунок будівлі на стійкість до прогресуючого обвалення потрібно виконувати для кожного з розглянутих локальних руйнувань окремо та незалежно від інших можливих локальних руйнувань.

Також в стандарті подані положення щодо прийняття величин навантажень та впливів, їхні



Можливі вилучені елементи:

- колони зовнішнього ряду;
- колони внутрішнього ряду;
- ділянки зовнішніх або внутрішніх стін

Рисунок 1 – Сценарії локального руйнування



комбінації, які мають бути враховані під час розроблення сценаріїв аварійних розрахункових ситуацій.

Коефіцієнт надійності за відповідальністю для аварійних розрахункових ситуацій під час розрахунку будівель на стійкість до прогресуючого обвалення приймається відповідно до ДБН В.1.2-14 [3]. Розрахунок будівлі у випадку локального обвалення несучих конструкцій проводиться за граничними станами першої групи. Переміщення конструкцій і розкриття в них тріщин у розглянутій надзвичайній ситуації не обмежуються.

В розробленому стандарті наведено алгоритм розрахунку на стійкість до прогресуючого обвалення в додатку А.

Приклад розрахунку на стійкість до прогресуючого обвалення висотної будівлі наведено в додатку Г.

Під час перевірки несучої здатності елементів конструктивної системи на аварійну комбінацію впливів, крім несучої здатності також повинна бути забезпечена стійкість усіх елементів. В розділі 9 розглянуті критерії несучої здатності конструкцій для позаграничного стану.

Стандартом допускається виконувати розрахунки за використання прямого динамічного методу. При цьому використовують модифіковану розрахункову схему, а початкові умови (положення мас та їхні швидкості, за наявності) визначають на основі усталеної розрахункової ситуації.

Конструкції, для яких вимоги щодо несучої здатності під час розрахунку на аварійну розрахункову ситуацію не задовольняються, необхідно прийняти інше проектне рішення, посилити, або прийняти інші заходи, що підвищують опір конструкцій прогресуючому обваленню.

Стойкість будівлі до прогресуючого обвалення перевіряється розрахунком і забезпечується конструктивними заходами – резервуванням несучої здатності несучих елементів (забезпеченням несучої здатності колон, ригелів, діафрагм, дисків перекриттів і стиків конструкцій), забезпеченням нерозрізності і неперервності армування перекриттів, підвищенням пластичних властивостей в'язів між конструкціями, долученням до роботи просторової системи ненесучих елементів.

В розділі 10 стандарту перелічені конструктивні вимоги щодо захисту будівель різних конструктивних систем від прогресуючого (непропорційного) обвалення.

Конструктивні заходи, які забезпечують більш високий опір конструкцій до прогресуючого обвалення, розглянуті в додатку В.

ВИСНОВКИ

1. Розроблено національний стандарт ДСТУ 9294:2024 «Розрахунок будівель на стійкість до прогресуючого (непропорційного) обвалення», який разом з іншими ДБН та ДСТУ утворює комплекс нормативних документів щодо проектування будівель і спо-

руд класів наслідків СС3 та СС2 різних конструктивних систем та захисту їх від прогресуючого (непропорційного) обвалення.

2. Стандарт дозволяє підвищити надійність проектування будівель в різних інженерно-геологічних умовах та забезпечити високий рівень безпеки роботи в проектних умовах експлуатації.

БІБЛІОГРАФІЧНИЙ СПИСОК

1. ДБН В 1-2-6:2021 Основні вимоги до будівель і споруд. Механічний опір та стійкість. Київ: Міністерство розвитку громад та територій України, 2022. 36 с.
2. ДБН В.1.1-7:2016 Пожежна безпека об'єктів будівництва. Загальні вимоги. Київ: Міністерство регіонального розвитку, будівництва та житлово-комунального господарства України, 2017. 47 с.
3. ДБН В.1.2-14:2018 Загальні принципи забезпечення надійності та конструктивної безпеки будівель і споруд. Київ: Міністерство регіонального розвитку, будівництва та житлово-комунального господарства України, 2018. 36 с.
4. UFC 4-023-03 [14 July 2009 including change 1-27 January 2010] Unified Facilities Criteria. Design of building to resist progressive collapse. USA: Department of Defense, 2009. 244 p.
5. ДБН В.2.2-41:2019 Висотні будівлі. Основні положення. Міністерство регіонального розвитку, будівництва та житлово-комунального господарства України, 2019. 59 с.

REFERENCES

1. DBN В 1-2-6:2021. (2022). Fundamental requirements for buildings and structures. Mechanical resistance and stability. Kyiv: Ministry of Communities and Territories Development of Ukraine.
2. DBN В.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.
3. DBN В.1.2-14:2018. (2018). General principles for ensuring the reliability and structural safety of buildings and structures. Kyiv: Ministry of Regional Development, Construction, and Housing and Communal Services of Ukraine.
4. UFC 4-023-03. (2009). [14 July 2009 including change 1-27 January 2010]. Unified Facilities Criteria: Design of buildings to resist progressive collapse. USA: Department of Defense.
5. DBN В.2.2-41:2019. (2019). High-rise buildings. Basic provisions. Kyiv: Ministry of Regional Development, Construction, and Housing and Communal Services of Ukraine.

Стаття надійшла до редакції 13.08.2024



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

УДК 624.046:5



ПЕРЕЛЬМУТЕР А.В.

Доктор техн. наук, головний науковий співробітник, Науково-виробниче товариство «SCAD Soft»,

Київ, Україна

e-mail: avp@scadsoft.com

тел.: +38 (050) 382-16-25

ORCID: 0000-0001-9537-2728

ЩОДО ПРОЄКТНИХ РОЗРАХУНКІВ БУДІВЕЛЬНИХ КОНСТРУКЦІЙ

АНОТАЦІЯ

Робота присвячена аналізу розбіжностей між лінійним і нелінійним розрахунком будівельних конструкцій, що деформуються під впливом навантаження. Нагадується про наявність двох принципово різних процедур, що притаманні проектному розрахунку, а саме: (i) статичного чи динамічного аналізу поведінки механічної системи, результатом якого є параметри напружено-деформованого стану системи, та (ii) оцінки можливого опору елементів системи і конструкції загалом.

Показано, що при використанні лінійного аналізу ці процедури ставлять (відтворюють) зміст незалежних етапів розрахунку, в той час коли при нелінійному аналізі вони об'єднуються і взаємно впливають одна на одну.

Звертається увага на особливості, що притаманні лише нелінійному варіанту аналізу, наприклад, таких як:

- неможливість використання стержневих скінченних елементів без роздрібнення довжини стержня на елементарні ділянки;
- виникнення при згині напруги розтягування-стиснення внаслідок несиметричного розвитку пластичних деформацій по висоті перерізу;
- можливість реалізації екстремальних відкликів системи на проміжних (не екстремальних) значеннях інтенсивності навантаження;
- залежність результатів фізично нелінійного аналізу від послідовності прикладення навантажень;

- можливість геометричної нелінійності так впливати на поведінку систем під навантаженням, що виникає ефект самозміцнення конструкції.

Розглядається проблема визначення граничного стану системи, що відповідає глобальній оцінці несучої здатності. Зважаючи на розрахункові труднощі чисельного аналізу при наближенні системи до стану механізму, пропонується у якості граничного приймати стан, у якому можливості опору системи зменшуються на декілька порядків в порівнянні з початком навантаження. Також звертається увага на випадки, коли граничний стан визначається рівнем деформування системи.

КЛЮЧОВІ СЛОВА: проектні розрахунки, напружено-деформований стан, глобальний опір, часткові коефіцієнти надійності, норми проектування

CONCERNING DESIGN CALCULATIONS OF BUILDING STRUCTURES

ABSTRACT

The work is devoted to the analysis of discrepancies between linear and non-linear calculation of building structures that deform under the influence of load. It highlights the existence of two fundamentally different procedures inherent in design calculations, namely: (i) static or dynamic analysis of the behavior of the mechanical system, resulting in the parameters of the system's stress-strain state and (ii) assessment of the



possible resistance of the system elements and the structure as a whole.

It is shown that when using linear analysis, these procedures set the content of independent calculation stages. In nonlinear analysis, they are combined and mutually influence each other.

Attention is drawn to the features unique to the nonlinear analysis, such as:

- the impossibility of using rod finite elements without breaking the length of the rod into elementary sections;
- the occurrence of tensile-compression stress during bending, as a result of asymmetric development of plastic deformations along the cross-section height;
- the possibility of realizing extreme responses of the system at intermediate (not extreme) values of load intensity;
- the dependence of physically nonlinear analysis results on the sequence of load applications;
- the possibility of geometric nonlinearity to influence the behavior of systems under load in such a way that the self-reinforcing effect of the structure occurs.

The problem of determining the ultimate state of the system, which corresponds to the global assessment of the load-bearing capacity, is considered. Given the computational difficulties of numerical analysis when the system approaches a mechanism state, it is proposed to accept the state in which the system's resistance decreases by several orders of magnitude compared to the beginning of the loading as the limit state.

Attention is also drawn to cases where the ultimate state is determined by the level of deformation of the system.

KEYWORDS: design calculations, stress-strain state, global resistance, partial reliability factors, design standards

ВСТУП

Методи проектування розрізняються за умов: (i) геометричних і фізичних властивостей, що враховуються, (ii) результатів аналізу, (iii) способу перевірки роботоспроможності конструкцій, (iv) методу оцінки надійності конструктивної системи.

Проектні розрахунки будівельних конструкцій можуть, взагалі, мати одну з наступних форм:

- лінійний пружний аналіз (ЛП);
- лінійний біфуркаційний аналіз – аналіз власних значень (ЛБ);
- матеріально-нелінійний аналіз – фізично нелінійний пружний (ФНП) чи фізично нелінійний пружно-пластичний (ФНПП);
- геометрично нелінійний аналіз (ГН);
- геометрично та матеріально-нелінійний аналіз (ГНФН).

Очікувані результати та графічна ілюстрація різних типів аналізу представлені на рис. 1.

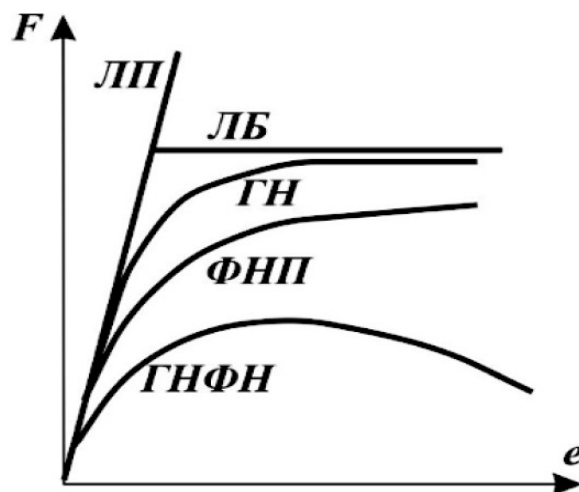


Рисунок 1 – Характер кривих рівноваги при різних типах аналізу

Вибір відповідного аналізу залежить від проблеми, що вирішується, та пов'язаний з критерієм граничного стану. Тому розрахунки можуть відрізнятися в залежності від правил проектування, що ґрунтуються на двох наступних підходах:

- аналіз, що вимагає наступної перевірки опору розрахункових перерізів;
- перевірка глобального опору.

У разі аналізу, що вимагає подальшої перевірки конструкції, використовується один із таких методів аналізу: ЛП, ЛБ, ГН. Результатами аналізу є різні величини відгуку системи, які надалі повинні використовуватися при перевірці розрахункових перерізів аналізованої конструкції.

У разі прямої перевірки опору слід використовувати метод аналізу: ФНПП чи ГНФН. Результатом аналізу є граничний опір аналізованої конструкції.

Слід зауважити, що говорячи про розрахунки будівельних конструкцій, треба розрізняти дві різні процедури:

- статичний та динамічний аналіз поведінки механічної системи, результатом якого є внутрішні зусилля (напруги) в елементах, переміщення, швидкості та прискорення характерних точок, словом все те, що ми називаємо напружено-деформованим станом системи;
- визначення можливого опору системи загалом та її елементів, оцінку її міцності, стійкості, деформованості тощо – всього того, що визначає можливість системи функціонувати у потрібному режимі.

Традиційний розрахунок будується як послідовність двох етапів роботи, де названі процедури розглядаються як незалежні, і предметом нормування у будівельному проектуванні, в основному, є другий етап. А щодо статичного та динамічного аналізу, то лише в деяких випадках до



нього висувуються якісь вимоги, найчастіше лише декларативного характеру. Ось типовий приклад з ДБН В.2.6-98:2008 [1]:

«2.1.3.8 Зусилля, напруження і деформації від зовнішніх навантажень та впливів навколишнього середовища в бетонних і залізобетонних конструкціях та в системах будівель і споруд слід визначати за загальними правилами будівельної механіки з урахуванням фізичної та геометричної нелінійності роботи конструкції у системі.

У статично невизначених конструкціях необхідно враховувати перерозподіл зусиль в елементах системи внаслідок нелінійних деформацій бетону і арматури та процесів тріщиноутворення за граничним станом, що розглядається».

Звертаючи увагу на формулювання у вигляді обов'язкової вимоги «слід визначати», «необхідно враховувати», зауважимо, що у більшості випадків проектних розрахунків ці вимоги не виконують. Навіть більше, у деяких випадках їхнє виконання неможливо принципово, як у сейсмічних розрахунках, що ґрунтуються на формах власних коливань, яких у нелінійних системах не існує. Тут можна згадати, що коли фундатори методів розрахунку залізобетонних конструкцій наполягали на використанні нелінійності, то мали на увазі саме визначення опору, і лише їхні сьгоднішні нащадки, не дуже замислюючись, намагаються розповсюдити такий підхід на всю процедуру проектного аналізу.

Фундатори виходили з умови, що на елемент чи на переріз діють відомі сили, походження котрих не розглядається, а нелінійна робота залізобетону формує опір, але не впливає на перерозподіл зусиль у системі (тобто, фактично брались до уваги лише статично визначені системи), а коли йдеться про статично невизначені системи, то виникають питання, що залишилися поза увагою наших попередників.

І головне – результати лінійних і нелінійних розрахунків можуть відрізнятися досить суттєво, а як це повинно враховуватися при оцінюванні опору, невідомо. Бо розрахункові положення, що містяться в нормах проектування, концентрують основну увагу на розгляді умов локальної відмови, а не глобального обвалення конструктивної системи. Відповідно, розрахункові рівняння методу граничних станів складають і застосовують для деякого локального рівня (наприклад, рівняння рівноваги, спільності деформацій у критичному перерізі або перевірки місцевої стійкості окремого конструктивного елемента системи).

Глобальна безпека конструктивної системи, наприклад, стійкість до прогресуючого обвалення всієї системи загалом чи її значної частини, є функцією як опору всіх елементів локальної відмови, так і реакції системи на локальне руйнування. Але положення норм концентрують увагу виключно на локальній працездатності, не враховуючи реакції конструктивної системи на локальні порушення.

Формати перевірок та правила безпеки, які зазвичай використовуються в нормах проектування

будівельних конструкцій, розроблені для класичних процедур оцінки на основі балкових моделей, ручного розрахунку, лінійного аналізу та локальних перевірок перерізів [2]. На базі класичних процедур формувалась інженерна інтуїція, і зміна парадигми розрахунків з лінійного на нелінійний аналіз веде до перегляду деяких уявлень, що пов'язані з розумінням і сприйняттям результатів розрахунку.

У деяких практично важливих випадках оцінка поведінки конструкцій неможлива без використання нелінійного аналізу. До таких завдань належать усі випадки проектування висячих та вантових систем, перевірки живучості конструкцій при дії аварійних навантажень, багато випадків оцінювання технічного стану існуючих конструкцій та ряд інших. Особливе місце в цьому переліку складають проблеми розрахунку залізобетонних конструкцій, де аналіз поведінки системи з урахуванням тріщиноутворення не вирішується в лінійній постановці.

АНАЛІЗ ОСТАННІХ ДОСЛІДЖЕНЬ І ПУБЛІКАЦІЙ

Існує багато публікацій, присвячених нелінійним проблемам будівельної механіки (див., наприклад, [3-11]), що розглядають головним чином способи визначення напружено-деформованого стану для нелінійних задач, але мало висвітлюють питання про місце нелінійного аналізу в процесі реального проектування будівельних конструкцій, практично не торкаючись питань використання результатів нелінійного аналізу цих конструкцій.

Зазвичай вважається, що результати розрахункового аналізу повинні бути базою для оцінки роботоспроможності конструкцій, і ця оцінка ґрунтується на методі розрахункових граничних станів [2]. Але вказаний метод розроблявся на базі лінійного аналізу і на сьгоднішній час майже не розглядає основних розбіжностей між застосуванням результатів лінійного чи нелінійного аналізу роботи споруди.

Існують декілька пропозицій щодо побудови формату перевірки роботоспроможності несучих конструкцій, які ґрунтуються на результатах нелінійного аналізу, і їх використання у побудові нормативних документів з проектування. Ці пропозиції були предметом жвавої дискусії, що відбувалась у 2011-2021 роках на сторінках закордонної преси [12-18], результати котрої знайшли собі місце у новій генерації Єврокодів [19-23]. На жаль, у вітчизняній нормативній базі ця проблема не присутня.

ПОСТАНОВКА ЗАВДАННЯ

Метою цієї статті є аналіз розбіжностей між випадками застосування методу граничних станів у лінійному і нелінійному випадках виконання розрахункових процедур. При цьому будемо мати на увазі, що майже усі розрахункові процедури реалізовані у комп'ютерних програмах, і



без комп'ютерних розрахунків будь-яке важливе практичне проектування сьогодні не виконується, і такі програмні комплекси як, наприклад, СКАД чи ЛІРА, що побудовані на методі скінченних елементів (МСЕ), стали робочим інструментом проектувальника.

НИЗКА НОВИХ ПИТАНЬ

Як правило, при моделюванні нелінійної поведінки конструкції замість «звичайних» скінченних елементів у розрахункову схему включають спеціальні скінченні елементи, для яких реалізована нелінійна залежність σ - ϵ (фізична нелінійність), використання геометричної матриці жорсткості (геометрична нелінійність) або закон включення/вилучення з роботи (конструктивна та генетична нелінійність) [24, 25]. А щодо вигляду розрахункової моделі і побудови відповідної сітки скінченних елементів, то тут зазвичай орієнтуються на досвід лінійних розрахунків, хоча це, як можна показати, не завжди є коректним.

Деякі ефекти, які відсутні у лінійному аналізі, незвичні для фахівця, чия інженерна інтуїція виростає з розв'язання лінійних задач, і вимагають певного урахування при побудові скінченно-елементної розрахункової моделі. Далі наведемо відомості про деякі з вказаних ефектів.

Особливості моделювання

По-перше, слід звернути увагу на стрижневі конструктивні елементи, які при лінійному аналізі не роздіблюються на елементарні ділянки. Ця можливість ґрунтується на тому, що поліноми Ерміта, які звичайно використовуються у якості функцій форми стрижневих елементів, є загальним рішенням диференціального рівняння пружного стрижня [25], що і дозволяє уникнути його роздібнювання. Але при фізично нелінійному аналізі поліноми Ерміта лише наближено моделюють вигляд деформованої осі стрижня, і для отримання необхідної точності розрахунків стрижень потрібно представити сукупністю елементарних ділянок.

Крім того, для врахування розподілу напружень по перерізу стрижня чи оболонки, що відповідають прийнятій залежності σ - ϵ , перерізи фізично нелінійних скінченних елементів поділяються на невеликі зони. При цьому, в процесі розрахунку фіксуються ті чи інші критичні події, які виникають в зазначених зонах.

Вони можуть характеризувати як пошкодження, так і руйнування. До перших належать непружні стани матеріалу (плинність) з можливістю в такому стані брати участь у роботі перерізу. Другі пов'язані з перевищенням гранично допустимих значень деформацій і припускають виключення з роботи внаслідок руйнування. І лише у випадках, коли ушкодження стають такими, що весь скінченний елемент стає нероботоспроможним, він виключається з

розрахункової моделі. Але для статично невизначених систем це не завжди означає руйнування конструкції.

Взаємодія мембранної і згинальної груп внутрішніх зусиль

Другий приклад – звично вважати, що у прямому стрижні поперечне навантаження створює згинальні моменти, але поздовжні зусилля при цьому не виникають, так само як, наприклад, розтяг цього стрижня не збуджує вигину. Звичайно, певний взаємозв'язок виникає в геометрично нелінійних задачах, але ще більш незвичайну поведінку демонструють задачі з фізичною нелінійністю. Найпростіший приклад, коли за рахунок аркового ефекту створюється розпір у стрижні, що згинається, представлений на рис.2.

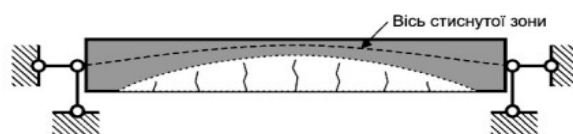


Рисунок 2 – Виникнення аркового ефекту

Справа в тому, що розтягнута зона бетону руйнується вже при малих величинах навантаження, внаслідок чого порушується цілісність перерізу, висота стиснутої зони зменшується при наближенні до граничного стану, а нейтральна вісь стрижня викривляється. За рахунок цього ефекту у спочатку прямолінійному стрижні, закріпленому від горизонтальних переміщень, з'являється поздовжня сила (розпір). Звідси висновок про необхідність у нелінійному аналізі надання особливої уваги до вузлових закріплень, бо ефекти, відсутні у початковій конфігурації, не обов'язково зберігаються протягом деформування.

Взагалі, внаслідок того, що тангенціальна жорсткість бетону в міру розвитку пластичних деформацій розподіляється у несиметричний по висоті перерізу спосіб, при поперечному згині можуть виникати напруги розтягування-стиснення, а при дії мембранних сил, що лежать у серединній площині оболонкових елементів, виникає поперечний вигин. Нічого цього немає в пружних скінченних елементах.

Немонотонний характер відгуку

Ще з одним із «сюрпризів» можна зіткнутися при пошуку екстремальних результатів розрахунку. У лінійних задачах екстремальні значення параметрів напружено-деформованого стану пов'язані з екстремальними значеннями тимчасових навантажень. Але принцип «або усі, або нічого» може бути порушений у нелінійній задачі, де екстремальне значення якогось ефекту впливу реалізується за деякого проміжного значення інтенсивності навантаження.

Крім того, в лінійних задачах невігідна комбінація



тимчасових навантажень або включає таке навантаження в повному обсязі, або (якщо її розвантажує дія) повністю виключає таке навантаження. У нелінійних задачах принцип «або все, або нічого» для впливу тимчасових навантажень може виявитися невірним, існують приклади, коли не вигідним є врахування деякої частини навантаження, а не повного значення. Один з таких прикладів геометрично нелінійної системи представлений на рис. 3. Тут залежність між поперечною силою і навантаженням P немонотонна і тільки при $0 \leq P \leq 19$ поперечна сила зростає, а при більших значеннях інтенсивності навантаження починає зменшуватися.

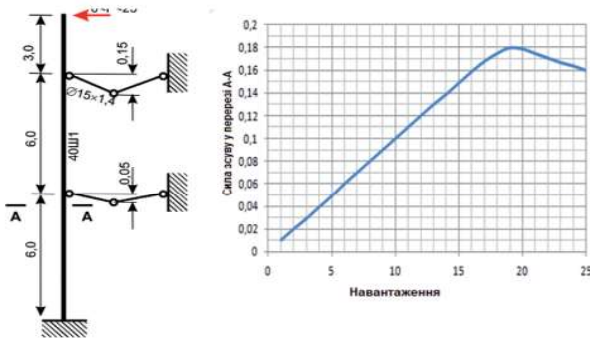


Рисунок 3 – Приклад немонотонного зростання зусилля

Залежність від історії навантаження

Лінійний розрахунок спирається на закон збереження механічної енергії, тобто має справу з консервативною системою. Але пластична поведінка матеріалу потребує враховувати, що деяка доля механічної енергії обертається на теплову і залишає систему. Тобто, фізично нелінійний розрахунок (ФНП чи ФНКН) має справу з неконсервативною системою, а для неї, на відміну від консервативного випадку, не виконується принцип незалежності результуючого стану від шляхів навантаження.

Ілюстрацією може бути досить простий приклад двопрогінної сталевий балки (рис. 4), на котру діють два незалежних навантаження. Переріз балки симетричний двотавр з полицями 200×20 мм і стінкою 400×10 мм. Матеріал конструкції сталь з межею плинності 240 МПа, пружно-пластична робота за деформаційною теорією пластичності (білінійна

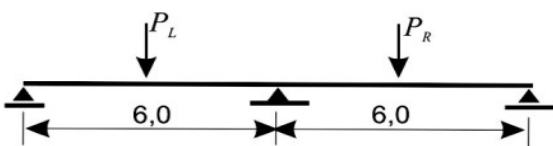


Рисунок 4 – Випадок незалежних навантажень, що діють у різній послідовності

діаграма з коефіцієнтом зростання 0,01 в зоні плинності).

Було розглянуто три програми навантажування, коли прикладені сили зростають від нуля до граничного значення 54 Т: перша P_L і потім P_R ($P_L \rightarrow P_R$); перша P_R і потім P_L ($P_R \rightarrow P_L$); P_L і P_R одночасно ($P_R \leftrightarrow P_L$). Одержані епюри моментів і форми кривої згину показані на рис. 5.

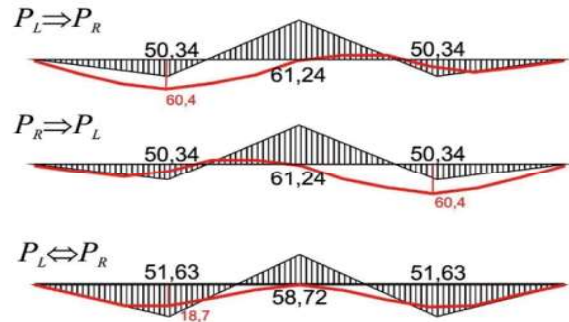


Рисунок 5 – Залежність результатів розрахунку від послідовності навантажень

У деяких випадках, головним чином пов'язаних з діями робочих механізмів, існують дані про послідовність дії окремих навантажень. Але, найчастіше, така інформація відсутня, і виникає потреба прийняти якесь вольове рішення. Мабуть, є логічним припущення про синхронне зростання усіх навантажень, що входять до розрахункового сполучення, оскільки сам факт сполучення має на увазі одночасне існування ефектів цих дій. Наше рішення додатково вважає не тільки їх одночасне існування, але і їхню одночасну появу. Зрозуміло, що у сумнівних випадках слід перевіряти і деякі з інших можливих варіантів послідовності появи незалежних навантажень.

Непропорційність впливу і ефекту дії

Однією з головних рис нелінійного аналізу є непропорційність зовнішнього впливу і внутрішніх зусиль у конструкції. Ця непропорційність присутня у будь-якій формі нелінійності, але проявляється неоднаково, наприклад, при ФНПП і ГН.

Вкажемо лише на випадок ГН, де враховується зміна початкової геометрії, і ця зміна у деяких випадках може суттєво впливати на поведінку систем під навантаженням, коли виникає так званий ефект самозміцнення конструкції [26, 27]. Цей ефект виникає у конструктивній системі, яка в стані граничної рівноваги (перетворившись на механізм або будучи спочатку змінюваною) здатна за рахунок зміни своєї геометрії сприймати додаткове навантаження або інші зовнішні впливи.

Прикладом може бути система, схема котрої надана на рис. 6 [26], де цифрами 1 і 2 позначена поява першого і другого шарніру плинності.

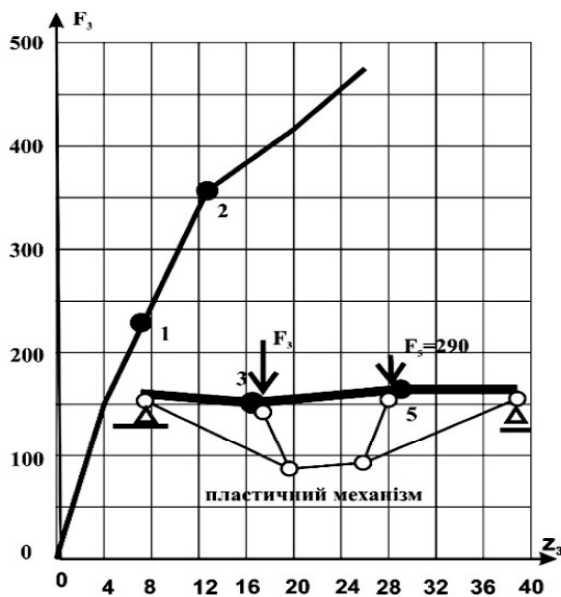


Рисунок 6 – Приклад самозміцнюваної системи

До самозміцнюваних систем відносяться працюючі переважно на розтягування висячі і вантові конструкції, а також системи типу tensegrity [28], у яких довгі елементи розтягнуті, а короткі елементи – стиснуті. Ці системи припускають створення попереднього напруження, котре виконує роль своєрідної жорсткості [29].

ВИЗНАЧЕННЯ ГРАНИЧНОГО СТАНУ

Класичний підхід до будівельного проектування у якості граничного стану розглядає порушення умов міцності розрахункових перерізів, порушення стійкості рівноваги конструктивного елемента (рідше – системи), порушення межі розкриття тріщин розрахункових перерізів, порушення межі припустимих переміщень вузлів системи. Перевірка цих граничних станів не викликає ніяких проблем у разі лінійного аналізу, але не завжди безболісно реалізується в разі нелінійного аналізу. Нижче розглянемо лише граничні стани за умовами міцності.

Випадок перевірки опору розрахункових перерізів

Використання нелінійного аналізу роботи системи висвітлює ряд негараздів щодо звичайних, зокрема зафіксованих у нормах, правил застосування методу розрахункових граничних станів у вигляді методу часткових коефіцієнтів надійності [26]. Правила перевірки міцності та стійкості, що містяться сьогодні в нормах, засновані на процедурах, в яких внутрішні зусилля, які отримані з лінійно-пружного розрахунку, застосовуються для перевірок окремих критичних перерізів з використанням нелінійних моделей опору.

А ймовірніше обґрунтування характеристик опору конструкції враховує статистичну мінливість властивостей міцності матеріалів, мінливість гео-

метричних характеристик, помилки моделювання тощо. При цьому традиційно статистичні показники мінливості навантажень та впливів, а також характеристики міцності матеріалу розглядаються як незалежні. Разом з тим, може виявитися неприйнятним роздільний розгляд моделей невизначеності впливів та невизначеності опору конструкції (рис. 7), оскільки при нелінійному розрахунку мінливість фізичних (жорсткісних) параметрів матеріалу позначиться на мінливості параметрів напружено-деформованого стану.



Рисунок 7 – Сумісний розгляд моделей невизначеності впливів та невизначеності опору

Крім того, стандартні перевірки граничного стану можуть виявитися непридатними, коли відсутня пропорційність між впливами (навантаженнями) на систему та ефектами впливів. Адже у розрахунках міцність матеріалу зіставляється не з навантаженням, а з ефектом його впливу на систему (зусиллями, напругами, деформацією та інших).

Вказана вище непропорційність дії і ефекту цієї дії суттєво впливає на форму використання методу граничних станів, заснованого на застосуванні часткових коефіцієнтів надійності. Класична форма методу виявляється прив'язаною до припущення про лінійність розрахункової математичної моделі. Саме лінійність, наприклад, дозволяє виконати розрахунок системи на характеристичне навантаження, а перехід від навантаження до розрахункового значення її ефекту (зусилля, переміщення тощо) реалізувати множенням отриманого в розрахунку значення на коефіцієнт надійності за навантаженням. Безумовно, такий перехід неможливий у випадку нелінійної роботи конструктивної системи.

У разі нелінійного аналізу, коли ефект дії S непропорційний впливу F , цей прийом стає хибним (рис. 8). Точний облік перетворення ймовірності впливу p_F , що є основою для призначення коефіцієнта надійності за навантаженням, у ймовірність ефекту цього впливу p_S є досить складним і до того ж формується функціонально залежністю $S(F)$, яка характеризує не навантаження, а особливості системи, що аналізується. Тобто, призначити досить загальний коефіцієнт надійності не вдається.

Як наближений прийом для таких випадків в запас надійності рекомендується застосовувати коефіцієнт надійності за навантаженням γ_F до



характеристичного значення F , якщо ефект впливу $S(F)$ збільшується повільніше самого впливу (рис. 8.a), і до розрахункового значення впливу $\gamma_F F$, якщо ефект впливу збільшується швидше самого впливу (рис. 8.б).

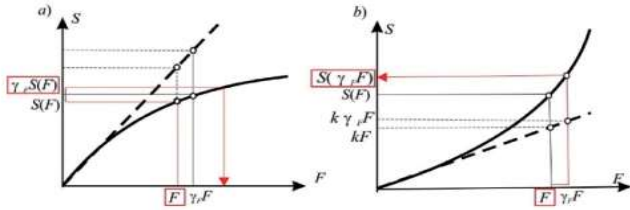


Рисунок 8 – Варіанти непропорційного впливу навантаження F на ефект дії S

Звісно, такий прийом дає наближену оцінку роботоспроможності, і слід наголосити, що похибка цього використання залишається невідомою, хоча те, що це похибка на користь надійності, не викликає сумнівів.

Спроба уточнити значення коефіцієнта надійності для ефекту впливу S , заснована на аналізі кривизни функції $S(F)$, була зроблена в роботі [30].

Випадок перевірки глобального опору

У нелінійному розрахунку конструкційний опір звичайно оцінюється кроковою процедурою, у котрій відповідний вплив збільшується від початкового значення до розрахункового проектного рівня. Для визначення запасу надійності кроковий процес дій слід продовжувати, доки не буде досягнутий стан руйнування конструкції (структурний збій). Такий аналіз за своєю природою завжди є оцінкою глобального типу, у якому всі конструктивні елементи системи та його перерізи перебувають у взаємодії.

Дійсно, фізично нелінійний розрахунок конструкцій при заданій діаграмі σ - ε , що визначає роботу матеріалу конструкції, характеризується тим, що відсутній поділ між етапом визначення внутрішніх зусиль від розрахункових навантажень та етапом розрахунку перерізу. Якщо такий розрахунок виконується кроковим методом при монотонно зростаючій інтенсивності навантаження, що розглядається, то конструкція і всі її розрахункові перерізи проходять через різні напружені стани і їх поведінка визначається заданою діаграмою роботи матеріалу. При цьому практично оцінюється опір всіх перерізів, і якщо деякі з них досягли граничного стану через пластичність матеріалу, то надалі в них не збільшуються внутрішні зусилля, а опір конструкції зростаючому навантаженню забезпечується іншими елементами системи, які ще не досягли своєї межі за несучою здатністю. Весь процес зупиняється при перетворенні конструкції на механізм (досягненні граничної несучої здатності системи).

Слід зазначити, що реальний числовий розрахунок часто буває неможливо довести до граничної несучої здатності P_{max} . Цьому заважає чисельна нестабільність процесу при наближенні матриці жорсткості системи до стану виродження, котрий якраз і характеризує перетворення конструкції у механізм. Реальний розв'язок цієї проблеми полягає у визначенні граничного такого стану конструкції, де вона втратила значну (порівняно з початковою) здатність чинити опір зростанню навантаження.

Ця концепція була запропонована у роботі [31] і спирається на характеристику поведінки системи, котра визначається швидкістю зміни реакції системи на зміну зовнішнього впливу. У якості вимірювача пропонується використовувати зменшення кута нахилу кривої станів рівноваги, який характеризує можливість втрати опору і може визначати наближення конструкції до стану повної відмови, що виникає при нульовому опорі (рис. 9). У якості осі абсцис цієї кривої може виступати так зване характерне переміщення, що енергетично узгоджено з навантаженням, або робота зовнішніх сил на переміщеннях системи.

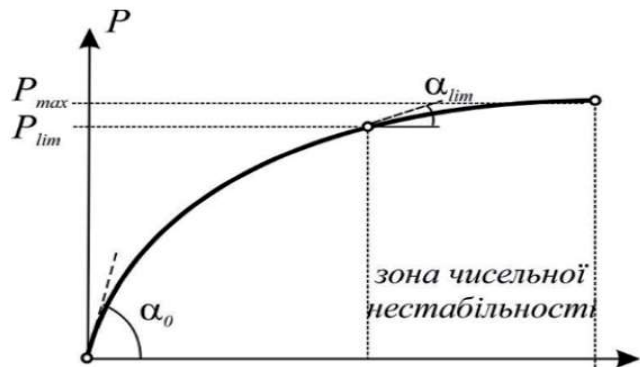


Рисунок 9 – Зміна опору конструкції при зростанні навантаження

Слід також зазначити, що знайдений таким чином граничний опір конструкції P_{lim} іноді реалізується при досить великих переміщеннях, що може викликати потребу у корегуванні значення P_{lim} . Тут потрібно зауважити, що використання фізично нелінійного розрахунку без врахування геометричної нелінійності може привести до хибного висновку щодо картини деформування.

Дійсно, при геометрично лінійному аналізі перетворення конструкції у механізм веде до появи нескінченно великих переміщень, котрі не з'являються у геометрично нелінійному розрахунку. Ця різниця добре відчувається при наближенні системи до граничного стану.

Пластичний опір конструкції ($R_{ФНП}$ і $R_{ФНГ}$, залежно від ситуації) визначений шляхом, що наведений вище, з використанням середніх фізико-механічних характеристик матеріалу (модуля



пружності, показників плинності тощо).

Тут слід розуміти, що характеристичне (квантиль 5%) і розрахункове (квантиль близько 0,1%) параметрів міцності норми призначили для перевірки несучої здатності перерізу, де у запас надійності передбачається, що якість матеріалу приймається як найгірших зразків. Але при загальному статичному чи динамічному розрахунку, гіпотеза у тому, що усі без винятку частини конструкції, які мають найгірші параметри якості, навряд чи мають використовуватися. Її реалізація має дуже невелику ймовірність.

Розрахунковий пластичний опір ($R_{pl,d}$) може бути визначений опором, наданим аналізом $R_{\Phi_{НП}}$ і $R_{\Phi_{НГ}}$, скоригованим за допомогою коефіцієнту моделі γ_{FE} таким чином:

$$R_{pl,d} = \frac{R_{\Phi_{НП}}}{\gamma_{FE}} \quad \text{або} \quad R_{pl,d} = \frac{R_{\Phi_{НГ}}}{\gamma_{FE}} \quad (1)$$

Значення коефіцієнту моделі γ_{FE} залежить від конструктивної форми і визначається (див., наприклад, [23]) статистичним аналізом серії показників

$$C_1 = \frac{R_{k,known}}{R_{check}} \quad \text{або} \quad C_2 = \frac{R_{test,known}}{R_{check}}, \quad (2)$$

де

$R_{k,known}$ – розрахований або відомий характерний конструкційний опір;

$R_{test,known}$ – відомий результат тесту;

R_{check} – обчислений опір.

ВИСНОВКИ

Використання нелінійного аналізу пов'язане з необхідністю враховувати низку незвичних ефектів, відношення до котрих ніяк не зафіксоване у чинних нормах проектування. На думку автора, розробка відповідних рекомендацій є однією з актуальних проблем будівельної науки, що тісно пов'язане з процесом переходу до Єврокодів другого покоління [32].

І, маючи на увазі складність проблеми, буде доцільним мати спрощені рекомендації для масового будівництва і більш точні рекомендації для нетипових чи унікальних умов.

Норми повинні чітко регламентувати умови обов'язкового виконання нелінійного аналізу і визначити засоби такого розрахунку (включно з випадками, що дозволяють спрощені процедури). Загальні правила повинні знайти своє місце у ДБН В.1.2-14 і конкретизуватися у нормах проектування конструкцій.

БІБЛІОГРАФІЧНИЙ СПИСОК

1. ДБН В.2.6-98:2008. Бетонні та залізобетонні конструкції. Основні положення проектування. Київ, Мінрегіон України, 2011. 75 с.
2. Перельмутер А.В., Пічугін С.Ф. Основи методу розрахункових граничних станів. Київ: Видавництво «Софія-А», 2024. 253 с.
3. Ngo T., Mendis P., Gupta A., Ramsay J. Blast Loading and Blast Effects on Structures: An Overview. Electronic Journal of Structural Engineering, Special Issue: Loading on Structures. 2007. P. 76-91.
4. Лукаш П.А. Основи нелінійної будівельної механіки. Москва: Стройиздат, 1978. 204 с.
5. Oden J.T. Finite Elements of Nonlinear Continua. New York: McGraw-Hill, 1972. 448 p.
6. Hinton E. Introduction to Non-linear Finite Element Analysis. East Kilbridge: NAFEMS, 1992. 220 p.
7. Crisfield M.A. Non-linear finite element analysis of solids and structures. Vol. 1: Essentials, Vol. 2: Advanced Topics. Chichester: John Wiley & Sons Ltd., 1998. P. 345-494.
8. Becker A.A. Understanding Non-linear Finite Element Analysis Through Illustrative Benchmarks. Glasgow: NAFEMS, 2001. 170 p.
9. Петров В.В. Нелінійна інкрементальна будівельна механіка. Москва: Інфра Інженерія, 2014. 480 с.
10. Клованіч С.Ф., Малишко Л. Нелінійні моделі матеріалів у будівельній механіці. Одеса: ОНМУ, 2017. 125 с.
11. 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.
12. Schlune H., Plos M., Gylltoft K. Safety Format for the non-linear analysis of Concrete Structures. Engineering Structures. 2011. № 33 (8). P. 2350-2356.
13. 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. 2004. № 25. P 31-56.
14. Tur A., Tur V. Reliability Approaches to Modeling of RC-structural Systems in Accidental Design Situations. Journal of Sustainable Architecture and Civil Engineering. 2018. № 22 (1). P. 76-87.
15. Allaix D.L., Carbone V.I., Mancini G. Global Safety Format for Non-Linear Analysis of Reinforced Concrete Structures. Structural Concrete. 2013. № 14. P. 29–42.
16. Sangiorgio F. Safety Format for Non-linear Analysis of RC Structures Subjected to Multiple Failure Modes. Doctoral Thesis. Stockholm,



- Sweden: KTH Royal Institute of Technology, 2015. 45 p.
17. Gino D., Castaldo P., Giordano L., Mancini G. Model uncertainty in non-linear numerical analyses of slender reinforced concrete members. *Structural concrete*. 2021. № 22(2). P. 845-870.
 18. Cervenka V., Cervenka J., Kadlek L. Model uncertainties in numerical simulations of reinforced concrete structures. *Structural Concrete*. 2018. № 19. P. 2004–2016.
 19. EN 1990:2023. Eurocode. Basis of structural and geotechnical design. Brussels, Belgium: CEN, European Committee for Standardization, 2023. 172 p.
 20. prEN 1992-1-1:2021. Eurocode 2: Design of concrete structures. Part 1-1: General rules — Rules for buildings, bridges and civil engineering structures. Brussels, Belgium: CEN, European Committee for Standardization, 2021. 160 p.
 21. EN 1993-1-1:2022. Eurocode 3: Design of steel structures. Part 1-1: General rules and rules for buildings. Brussels, Belgium: CEN, European Committee for Standardization, 2022. 175 p.
 22. ДБН В.2.6-198:2014. Сталеві конструкції. Норми проектування. Київ, Мінрегіон України, 2014. 205 с.
 23. prEN 1993-1-14. Design of steel structures. Part 1-14: Design assisted by finite element analysis. Brussels, Belgium: Technical Committee CEN/TC 250, draft of September 2023.
 24. Фіалко С.Ю. Застосування методу скінчених елементів до аналізу міцності та несучої здатності тонкостінних залізобетонних конструкцій з урахуванням фізичної нелінійності. Москва: Вид-во СКАД СОФТ, вид-во АСВ, 2018. 192 с.
 25. Перельмутер А.В. Бесіди про будівельну механіку. Київ: Вид-во «Сталь», 2024. 316 с.
 26. Alawdin P., Urbańska K. Limit analysis of geometrically hardening composite steel-concrete systems. *Civil and Environmental Engineering Reports*. 2015. № 16 (1). P. 5-23.
 27. Алявдин П.В. Конструктивні системи, що самозмцнюються. Опір матеріалів і теорія споруд. 2015. № 94. С. 186 – 201.
 28. Fuller R.V. Tensile-integrity structures.
 29. Годдард, В. С. Роторний двигун внутрішнього згоряння (Патент США № 3,063,521). Відомство з патентів і товарних знаків США, 1962. 9 с.
 30. Guest S. The stiffness of prestressed frameworks: A unifying approach. *International Journal of Solid and Structures*. 2006. № 43. P. 842-854.
 31. Teichgräber M., Fußeder M., Bletzinger K-U., Straub D. Non-linear structural models and the partial safety factor concept. *Structural Safety*. 2023. № 103. Article 102341.
 32. Perelmuter A.V. Repulsion criterion in estimating structural limit state. *Vestnik MGSU*. 2021. № 16 (12). P. 559–566.
 33. Перельмутер А.В., Воскобійник О.П. Друге покоління Єврокодів і національні норми. *Наука та будівництво*. 2023. № 4(38). С. 3-23.

REFERENCES

1. DBN V.2.6-98:2008. (2011). Concrete and reinforced concrete structures. General design principles. Kyiv: Ministry of Regional Development of Ukraine.
2. Perelmuter, A. V., & Pichugin, S. F. (2024). Fundamentals of the limit state method. Kyiv: Sofia-A Publishing House.
3. Ngo, T., Mendis, P., Gupta, A., & Ramsay, J. (2007). Blast loading and blast effects on structures: An overview. *Electronic Journal of Structural Engineering, Special Issue: Loading on Structures*, 76-91.
4. Lukash, P. A. (1978). Fundamentals of nonlinear structural mechanics. Moscow: Sroyzdat.
5. Oden, J. T. (1972). Finite elements of nonlinear continua. New York: McGraw-Hill.
6. Hinton, E. (1992). Introduction to non-linear finite element analysis. East Kilbride: NAFEMS.
7. Crisfield, M. A. (1998). Non-linear finite element analysis of solids and structures. Vol. 1: Essentials, Vol. 2: Advanced Topics. Chichester: John Wiley & Sons Ltd.
8. Becker, A. A. (2001). Understanding non-linear finite element analysis through illustrative benchmarks. Glasgow: NAFEMS.
9. Petrov, V. V. (2014). Nonlinear incremental structural mechanics. Moscow: Infra Engineering.
10. Klovanych, S. F., & Malyshko, L. (2017). Nonlinear material models in structural mechanics. Odesa: ONMU.
11. Perelmuter, A. V., & Tur, V. V. (2017). Are we ready to move to nonlinear analysis in design? *International Journal for Computational Civil and Structural Engineering*, 13(3), 86-102.
12. Schlune, H., Plos, M., & Gylltoft, K. (2011). Safety format for the non-linear analysis of concrete structures. *Engineering Structures*, 33(8), 2350-2356.
13. 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.
14. Tur, A., & Tur, V. (2018). Reliability approaches to modeling of the nonlinear pseudo-static response of RC-structural systems in accidental design situations. *Journal of Sustainable Architecture and Civil Engineering*, 22(1), 76-87.
15. Allaix, D. L., Carbone, V. I., & Mancini, G. (2013). Global safety format for non-linear



- analysis of reinforced concrete structures. *Structural Concrete*, 14, 29-42.
16. Sangiorgio, F. (2015). Safety format for non-linear analysis of RC structures subjected to multiple failure modes. (Doctoral Thesis). Stockholm: KTH Royal Institute of Technology.
 17. Gino, D., Castaldo, P., Giordano, L., & Mancini, G. (2021). Model uncertainty in non-linear numerical analyses of slender reinforced concrete members. *Structural Concrete*, 22(2), 845-870.
 18. Cervenka, V., Cervenka, J., & Kadlek, L. (2018). Model uncertainties in numerical simulations of reinforced concrete structures. *Structural Concrete*, 19, 2004-2016.
 19. EN 1990:2023. (2023). Eurocode – Basis of structural and geotechnical design. Brussels, Belgium: CEN, European Committee for Standardization.
 20. prEN 1992-1-1:2021. (2021). Eurocode 2: Design of concrete structures. Part 1-1: General rules — Rules for buildings, bridges and civil engineering structures. Brussels, Belgium: CEN, European Committee for Standardization.
 21. EN 1993-1-1:2022. (2022). Eurocode 3: Design of steel structures. Part 1-1: General rules and rules for buildings. Brussels, Belgium: CEN, European Committee for Standardization.
 22. DBN V.2.6-198:2014. (2014). Steel structures. Design standards. Kyiv: Ministry of Regional Development of Ukraine.
 23. prEN 1993-1-14. (2023). Design of steel structures — Part 1-14: Design assisted by finite element analysis. Brussels, Belgium: Technical Committee CEN/TC 250.
 24. Fialko, S. Yu. (2018). Application of the finite element method to strength and load-bearing capacity analysis of thin-walled reinforced concrete structures considering physical nonlinearity. Moscow: SCAD Soft Publishing. (in Russian).
 25. Perelmuter, A. V. (2024). Conversations on structural mechanics. Kyiv: Stal Publishing House.
 26. Alawdin, P., & Urbańska, K. (2015). Limit analysis of geometrically hardening composite steel-concrete systems. *Civil and Environmental Engineering Reports*, 16(1), 5-23.
 27. Alyavdin, P. V. (2015). Self-strengthening structural systems. *Strength of Materials and Structures Theory*, 94, 186-201.
 28. Fuller, R. B. Tensile-integrity structures.
 29. Goddard, W. S. (1962). Rotary combustion engine (U.S. Patent No. 3,063,521). United States Patent and Trademark Office.
 30. Guest, S. (2006). The stiffness of prestressed frameworks: A unifying approach. *International Journal of Solid and Structures*, 43, 842-854.
 31. Teichgräber, M., Fußeder, M., Bletzinger, K-U., & Straub, D. (2023). Non-linear structural models and the partial safety factor concept. *Structural Safety*, 103, Article 102341.
 32. Perelmuter, A. V. (2021). Repulsion criterion in estimating structural limit state. *Vestnik MGSU*, 16(12), 559-566.
 33. Perelmuter, A. V., & Voskobiynyk, O. P. (2023). Second generation Eurocodes and national standards. *Science and Construction*, 4(38), 3-23. (in Ukrainian).

Стаття надійшла до редакції 10.08.2024



Doi: <https://doi.org/10.33644/2313-6679-3-2024-4>

УДК 692.232 : 624.04



ПОСТОЛЕНКО А.М.

Канд. техн. наук, в.о. завідувача відділу будівельної фізики та енергоефективності, с.н.с., ДП «Державний науково-дослідний інститут будівельних конструкцій», м. Київ, Україна, e-mail: postolenko@ndibk.gov.ua тел.: +38 (050) 380 7325, ORCID: 0000-0003-0502-8910



ВЕЛИЧКО А.М.

Начальник відділу технічної підтримки, ТОВ з П «Хенкель Баутехнік (Україна)» м. Вишгород, Україна e-mail: anatoliy.velichko@henkel.com тел.: +38 (067) 234 1494

ЕКСПЛУАТАЦІЙНА ПРИДАТНІСТЬ КОНСТРУКЦІЙ ЗОВНІШНІХ СТІН ІЗ ФАСАДНОЮ ТЕПЛОІЗОЛЯЦІЄЮ ТА ОПОРЯДЖЕННЯМ ШТУКАТУРКАМИ ПРИ ЗАСТОСУВАННІ ДВОШАРОВОЇ ТЕПЛОІЗОЛЯЦІЇ

АНОТАЦІЯ

Україна проходить складний шлях становлення енергонезалежної держави. Умови сьогодення демонструють не тільки економічні аспекти впровадження енергоефективних та енергоощадних технологій у всіх сферах життєдіяльності, а і здатність таких систем забезпечити існування в екстремальних умовах військового часу, коли постачання енергетичних ресурсів не є стабільним та не може бути гарантовано чи прогнозовано.

В сучасних будівлях теплоізоляційна оболонка влаштовується з застосуванням вискоєфективних теплоізоляційних матеріалів і може бути виконана за різними технологіями. Використання фасадної теплоізоляції забезпечує виконання вимог щодо енергоефективності будівель (в тому числі, забезпечення низького рівня тепловитрат на опалення будівель). Однією з найпоширеніших в Україні є системи фасадної теплоізоляції з опорядженням тонкошаровими штукатурками. Встановлення вищих вимог до показників енергоефективності будівель та мінімальних вимог до показників енергоефективності огород-

жувальних конструкцій будівель з введенням у 2022 році нових будівельних стандартів призвело до необхідності коригування вже сталих практик проектування та улаштування зазначених систем фасадної теплоізоляції.

В статті наведені проблемні питання, з якими стикаються виробники фасадної теплоізоляції з опорядженням штукатуркою в результаті збільшення товщини теплоізоляційного шару. Запропоноване рішення щодо застосування двошарової теплоізоляції та наведено опис особливостей технології виконання робіт з улаштування подвійного шару теплоізоляції з мінераловатних плит. Наведено результати та аналіз розрахунків з оцінки тепловологісного стану конструкцій зовнішніх стін із фасадною теплоізоляцією та опорядженням штукатурками з суцільним та подвійним шаром теплоізоляції та їх порівняння.

Наведена оцінка можливості застосування на практиці та приклад реального застосування фасадної теплоізоляції з опорядженням тонкошаровою штукатуркою з застосуванням двошарової теплоізоляції.



КЛЮЧОВІ СЛОВА: система утеплення, фасадна теплоізоляція, ETICS, двошарова теплоізоляція, опорядження, тонкошарові штукатурки, енергозбереження, енергоефективність, сухі будівельні суміші.

THE SERVICEABILITY OF EXTERNAL WALL STRUCTURES WITH FAÇADE INSULATION AND PLASTER FINISHING USING DOUBLE-LAYER INSULATION

ABSTRACT

Ukraine is undergoing a difficult path to becoming an energy-independent state. The current conditions demonstrate not only the economic aspects of implementing energy-efficient and energy-saving technologies in all spheres of life but also the ability of such systems to ensure existence in extreme wartime conditions, where the supply of energy resources is neither stable nor guaranteed or predictable.

In modern buildings, the thermal insulation envelope is constructed using high-efficiency insulation materials and can be implemented using various technologies. The use of facade insulation ensures compliance with energy efficiency requirements for buildings (including ensuring low heat loss for heating). One of the most common systems in Ukraine is facade insulation systems with thin-layer plaster finishes. The introduction of higher requirements for building energy efficiency indicators and minimum requirements for the energy efficiency indicators of building envelope structures with the introduction of new building standards in 2022 has led to the need to adjust the established practices of designing and installing these facade insulation systems.

The article presents the problematic issues faced by manufacturers of facade insulation with plaster finishing as a result of increasing the thickness of the insulation layer. A solution is proposed for the use of double-layer insulation, along with a description of the technology for installing double-layer insulation using mineral wool boards. Results and analysis of calculations assessing the thermal and moisture state of external wall structures with facade insulation and plaster finishing with a single and double layer of insulation are provided, along with their comparison.

An assessment of the practical application and an example of the real-world use of facade insulation with thin-layer plaster finishing using double-layer insulation are presented.

KEYWORDS: insulation system, facade insulation, ETICS, double-layer insulation, finishing, thin-layer plasters, energy saving, energy efficiency, dry building mixes.

ВСТУП

Україна проходить складний шлях становлення енергонезалежної держави. Умови сьогоден-

ня демонструють не тільки економічні аспекти впровадження енергоефективних та енергоощадних технологій у всіх сферах життєдіяльності, а і здатність таких систем забезпечити існування в екстремальних умовах військового часу, коли постачання енергетичних ресурсів не є стабільним та не може бути гарантовано чи прогнозовано.

Системна робота на законодавчому рівні щодо впровадження політики енергоефективності і регулювання в будівельній сфері питань стосовно забезпечення енергетичної ефективності будівель активно ведеться з початку 2000-х років. В 2006 році був прийнятий ДБН В.2.6-31:2006 «Теплова ізоляція будівель» [1], який запровадив принципи проектування будівель за показниками енергоефективності. Нове покоління ДБН В.2.6-31 підвищували мінімальні вимоги до характеристик енергоефективності в цілому та теплоізоляційної оболонки будівель зокрема. На державному рівні створені законодавче поле та державна установа «Фонд енергоефективності», яка веде роботу, спираючись на підтримку західних партнерів, з впровадження енергоефективних заходів в багатоквартирних житлових будинках.

З 01.09.2022 діють ДБН В.2.6-31:2021 «Теплова ізоляція та енергоефективність будівель» [2] та ДБН В.1.2-11:2021 «Основні вимоги до будівель і споруд. Енергозбереження та енергоефективність» [3], які встановлюють вимоги до показників енергоефективності та вимоги до теплотехнічних показників елементів теплоізоляційної оболонки будівель.

В той же час, підвищення вимог до показників енергоефективності та активне впровадження в існуючу нормативну базу європейських стандартів призводять до необхідності перегляду діючих національних стандартів для забезпечення експлуатаційної придатності та надійності конструкцій зовнішніх стін з фасадною теплоізоляцією. Необхідно зазначити, що підприємства та організації будівельної галузі демонструють свою високу здатність адаптації до змін і можливість активно та швидко розробляти та впроваджувати рішення, які забезпечують енергоефективність на рівні вимог державного законодавства в сфері енергоефективності, визначених Наказом Міністерства розвитку громад та територій України від 27 жовтня 2020 року № 260 «Про затвердження мінімальних вимог до енергетичної ефективності будівель», зареєстрованим в Міністерстві юстиції України від 18 грудня 2020 р. за №1257/35540, або вище. Такі рішення мають обов'язково пройти оцінювання прийнятності будівельних виробів та конструкцій.

АНАЛІЗ ОСТАННІХ ДОСЛІДЖЕНЬ ТА ПУБЛІКАЦІЙ

Створення надійної та енергоефективної обо-



лонки житлових та громадських будівель при новому будівництві, під час реконструкції або відновлення пошкоджених будівель забезпечується, зокрема, шляхом застосування фасадної теплоізоляції. В [4] зазначається, що фасадна теплоізоляція є основним напрямком вдосконалення теплоізоляційної оболонки сучасних будівель, а її система конструкцій є формують системою загальної енергетичної системи, яку називають «будівля з кондиціонованим простором повітря».

Найпоширенішою системою фасадної теплоізоляції в Україні, яка застосовується в сфері житлового будівництва, є система з опорядженням тонкошаровою штукатуркою або ETICS (External Thermal Insulation Composite System – зовнішня теплоізоляційна композитна система) – згідно з європейськими стандартами. ETICS широко використовується у країнах ЄС для підвищення енергоефективності будівель. Критерії оцінки таких фасадних систем викладені як в національних стандартах [5], так і в прийнятих та діючих на рівні національних європейських стандартів [6]. В [5, 6] значна увага приділяється питанню оцінки показників довговічності фасадних систем з опорядженням тонкошаровою штукатуркою. Порівняльний аналіз викладено в [7].

Використання ETICS значно зросло за останні десятиліття завдяки своїм покращеним теплотзберігаючим властивостям, низькій вартості монтажу та простоті застосування не тільки при новому будівництві, а також для теплової модернізації фасадів будівель [7, 8]. В той же час зазначається, що на практиці недостатня увага приділяється оцінці таких показників як водопоглинання (випробування на капілярність), паропроникність (опір дифузії водяної пари), зміна термічного опору (стабільність тепलोзахисних властивостей в часі), стабільність зовнішнього вигляду, адже система фасадної теплоізоляції постійно піддається впливу атмосферних та антропогенних факторів, які можуть призвести до фізико-механічних і естетичних аномалій [8].

Окремо необхідно зазначити, що в європейських країнах активно ведуться дискусії щодо критеріїв оцінки фасадних систем з опорядженням тонкошаровою штукатуркою щодо їх життєвого циклу в питаннях сталого розвитку [9].

ПОСТАНОВКА ПРОБЛЕМИ

Підвищення мінімально допустимого значення приведенного опору теплопередачі огорожувальної конструкції житлових та громадських будівель R_{qmin} [2] та набуття

чинності ДСТУ 9191:2022 [10], який визначає метод вибору теплоізоляційного матеріалу для утеплення будівель, призвело до збільшення товщини теплоізоляційного шару зовнішніх огорожувальних стінових конструкцій, в тому числі і для систем з опорядженням тонкошаровою штукатуркою.

Закономірно, що збільшення товщини для систем з теплоізоляційним шаром з мінеральної вати з 150 мм до 180-200 мм, залежно від конструктивних особливостей та теплофізичних показників теплоізоляційного матеріалу, призвело до збільшення ваги плит утеплювача з мінеральної вати, які застосовуються. Сучасні виробничі можливості забезпечують виробництво плит утеплювача з мінеральної вати, які відповідають за своїми фізико-технічними показниками нормативним вимогам та мають товщину 180-200 мм.

Однак збільшення маси плити утеплювача призвело не тільки до збільшення маси системи фасадної теплоізоляції в цілому, а і вплинуло безпосередньо на процес влаштування, що пов'язано зі збільшенням маси плити, з якою має працювати робітник. Про це свідчать дані, наведені в табл. 1. Вага мінераловатної плити утеплювача розміром 1000×600 мм, завтовшки $d = 150$ мм та густиною 145 кг/м³ становить 15,7 кг, а завтовшки $d = 200$ мм – 20,9 кг. Тобто, вага плити утеплювача завтовшки 200 мм на 5 кг перевищує вагу плити утеплювача завтовшки 150 мм.

Для зниження фізичного навантаження на робітників, які влаштовують систему фасадної теплоізоляції, шляхом зменшення маси одиначної плити утеплювача та забезпечення високої якості огорожувальної конструкції запропоноване рішення – використання двошарової теплоізоляції. Оцінка тепловологісного стану огорожувальних конструкцій з застосуванням зазначеної фасадної системи утеплення та оцінка її експлуатаційної

Таблиця 1 – Маса плити теплоізоляційного матеріалу з мінеральної вати для системи фасадної теплоізоляції з опорядженням тонкошаровою штукатуркою

№	Товщина теплоізоляційного шару, м	Маса 1 плити розміром 1000×600 мм теплоізоляційного матеріалу з мінеральної вати густиною, кг/м ³			
		125	135	145	150
1	0,05	4,5	4,9	5,2	5,4
2	0,10	9,0	9,7	10,4	10,8
3	0,15	13,5	14,6	15,7	16,2
4	0,18	16,2	17,5	18,8	19,4
5	0,20	18,0	19,4	20,9	21,6



придатності проводиться згідно з [5].

ВИКЛАД ОСНОВНОГО МАТЕРІАЛУ ДОСЛІДЖЕНЬ

Конструкція фасадної системи утеплення з двошаровою теплоізоляцією та з опорядженням тонкошаровою штукатуркою, а також послідовність розташування її складових елементів наведені на рис. 1.

Особливості технології виконання робіт з улаштування подвійного шару теплоізоляції з плит мінераловатних. Перший шар теплоізоляційного матеріалу завтовшки 50 мм приклеюється суцільним способом з використанням високоадгезійного клею. Через дві доби приклеюється другий шар теплоізоляційного матеріалу завтовшки 150 мм суцільним комбінованим способом з використанням високоадгезійного клею: на поверхню першого шару теплоізоляційного матеріалу наноситься «чорніння на здир» високоадгезійного клею товщиною біля 1 мм; на нього одразу (на мокре) приклеюється другий шар теплоізоляційного матеріалу завтовшки 150 мм з нанесенням під гребінку суцільним шаром високоадгезійного клею. Через дві доби виконується кріплення механічними елементами - дюбелями та влаштовується захисний армований шар завтовшки 5 мм та декоративно-захисне покриття.

Поперечні перерізи конструкції фасадної теплоізоляції з опорядженням тонкошаровою штукатуркою з суцільним та з подвійним шарами теплоізоляції, які були випробувані в лабораторії будівельної теплотехніки та акустики ДП НДІБК, наведені на рис. 2.

Відомо, що термічний опір будівельних конструкцій (стіни, покриття, перекриття) відрізняються. Для їх виготовлення використовують різні матеріали та їх комбінації, які виконують визначені в конструкції функції. Одним

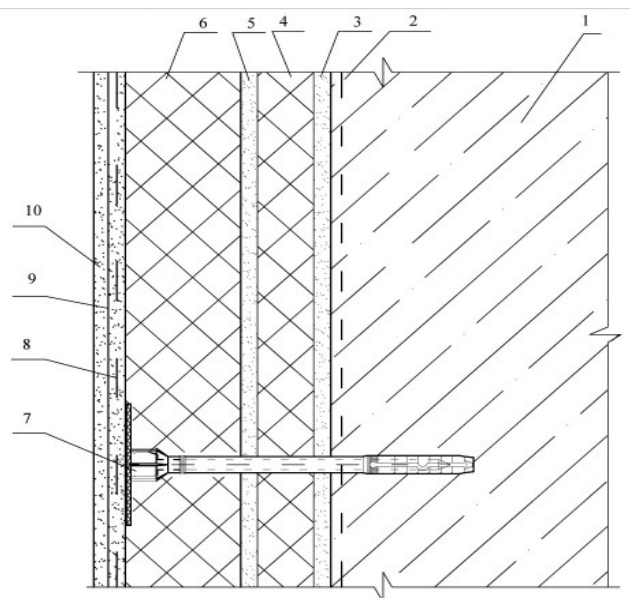


Рисунок 1 – Послідовність розташування окремих складових елементів збірної системи з двошаровою теплоізоляцією та з опорядженням тонкошаровою штукатуркою:

1. несуча стіна;
2. ґрунтувальний шар і, в разі потреби, шар для вирівнювання поверхні стіни, яка підлягає утепленню;
3. шар високоадгезійного клею;
4. перший шар теплоізоляційного матеріалу;
5. шар високоадгезійного клею;
6. другий шар теплоізоляційного матеріалу;
7. механічно фіксуючі елементи;
8. захисний шар по теплоізоляційному шару із втопленою армувальною сіткою з лугостійкого скловолокна;
9. адгезійний ґрунтувальний шар;
10. декоративно-захисне покриття.



а)



б)

Рисунок 2 – Поперечні перерізи конструкції фасадної теплоізоляції з опорядженням тонкошаровою штукатуркою з суцільним (а) та з подвійним (б) шарами теплоізоляції



з найважливіших показників, що характеризує теплоізоляційний матеріал, є теплопровідність, яка залежить від вологості матеріалу. Збільшення вологості теплоізоляційного матеріалу у товщі шару конструкції призводить до зниження теплоізолюючих властивостей огорожувальної конструкції в цілому. Згідно з [2] розрахункові температура і вологість внутрішнього повітря (розрахункові умови експлуатації) визначають перенесення тепла і вологи через матеріал при його експлуатації в огорожувальних конструкціях. Згідно з таблицею Б.2 [2] для житлових будівель $\theta_{int} = 20^{\circ}\text{C}$, $\varphi_{int} = 55\%$. Місце розташування об'єкта будівництва – Київ.

Згідно з п. 5.11 [2] вологісний стан зовнішніх огорожувальних конструкцій повинен відповідати вимогам [12]. При цьому, допустиме за теплоізоляційними характеристиками збільшення вологості матеріалу Δw , % за масою, в конструкції в холодний період року приймають згідно з таблицею 5 [2]. Для виробів теплоізоляційних з мінеральної вати значення становить $\Delta w = 2,5\%$.

На першому етапі проведена розрахункова оцінка тепловологісного стану конструкцій зовнішніх стін із фасадною теплоізоляцією та опорядженням штукатурками з суцільним та подвійним шаром теплоізоляції графоаналітичним методом. Значення розрахункових теплофізичних характеристик, прийняті згідно з [10] та задекларовані виробниками систем фасадної теплоізоляції, наведені в табл. 2.

В табл. 3 наведено опис, складові та товщини конструкцій зовнішніх стін із фасадною теплоізоляцією та опорядженням штукатурками

з суцільним та подвійним шаром теплоізоляції, для яких була виконана розрахункова оцінка тепловологісного стану.

Результати розрахунків з оцінки тепловологісного стану конструкцій зовнішніх стін із фасадною теплоізоляцією та опорядженням штукатурками з суцільним та подвійним шаром теплоізоляції для систем С1-С8 графоаналітичним методом наведено на рис. 3.

Аналіз отриманих результатів показує, що, за заданими вихідними даними для розрахунку, лінії Е та е не перетинаються, конденсація водяної пари в товщі огорожувальної конструкції - відсутня. Умови щодо допустимого збільшення вологості матеріалу у товщі шару конструкції та щодо допустимої кількості накопиченої в товщі огорожувальної конструкції вологи за період вологонакопичення вважаємо виконаними.

В той же час, для запобігання можливості зволоження матеріалів огорожувальних конструкцій при експлуатації будівель та споруд, необхідно щоразу проводити розрахунок з оцінки тепловологісного стану огорожувальних конструкцій згідно з ДБН В.2.6-31:2021 [2] та ДСТУ-Н Б В.2.6-192 [12].

За результатами розрахунків систем С1-С8 видно, що конструкції, які мають внутрішні шари з більшим опором паропроникненню (С2, С4, С6, С8), мають менші ризики утворення зони конденсації на межі між теплоізоляційним шаром та захисно-опоряджувальним шаром.

Конструкції фасадної теплоізоляції з опорядженням тонкошаровою штукатуркою з суцільним та з подвійним шарами теплоізоляції, які влаштовані за описаною вище технологією,

Таблиця 2 – Значення розрахункових теплофізичних характеристик матеріалів, використаних у розрахунках

№	Назва матеріалу	Товщина шару, м	Густина, кг/м ³	Теплопровідність, Вт/(м·К)	Паропроникність, мг/(м·год·Па)
1	Вапняно-піщаний розчин	0,01	1600	0,81	0,12
2	Блоки з ніздрюватого бетону	0,3	400	0,13	0,23
3	Кладка з цегли керамічної звичайної на цементно - піщаному розчині	0,25	1800	0,81	0,11
4	Вироби теплоізоляційні з мінеральної вати	0,2; 0,15; 0,05	135	0,045	0,4
5	Високоадгезійний клей	0,004	1200	0,58	0,1
6	Силікон-еластомерна штукатурка	0,0015	1000	0,61	0,031
7	Полімерцементна декоративна штукатурка	0,0015	1400	0,54	0,07
8	Фарба силікон-силікатна	$0,25 \cdot 10^{-3}$	1400	-	0,05



Таблиця 3 – Характеристики стінових конструкцій із фасадною теплоізоляцією та опорядженням тонкошаровими штукатурками, для яких була виконана розрахункова оцінка тепловологісного стану

Система (С)*	Стінова конструкція (СК)	Тип шару утеплювача (ШУ)	Шар опоряджувальний (ШО)	Товщина шару d , м		
				СК	ШУ	ШО
С1	Стіна з блоків з ніздрюватого бетону	Суцільний шар (МВ1)	Захисний шар (полімерцементний) із сіткою зі скловолкна; Декоративнозахисне покриття: силікон-еластомерна штукатурка	0,3	0,2	0,0065
С2	Кладка з цегли керамічної звичайної на цементно-піщаному розчині	Суцільний шар (МВ1)		0,25	0,2	0,0065
С3	Стіна з блоків з ніздрюватого бетону	Подвійний шар (МВ2)		0,3	0,05+ +0,004+ +0,15**	0,0065
С4	Кладка з цегли керамічної звичайної на цементно-піщаному розчині	Подвійний шар (МВ2)		0,25	0,05+ +0,004+ +0,15***	0,0065
С5	Стіна з блоків з ніздрюватого бетону	Суцільний шар (МВ1)		0,3	0,2	0,00675
С6	Кладка з цегли керамічної звичайної на цементно-піщаному розчині	Суцільний шар (МВ1)		0,25	0,2	0,00675
С7	Стіна з блоків з ніздрюватого бетону	Подвійний шар (МВ2)		0,3	0,05+ +0,004+ +0,15**	0,00675
С8	Кладка з цегли керамічної звичайної на цементно-піщаному розчині	Подвійний шар (МВ2)		0,25	0,05+ +0,004+ +0,15***	0,00675

Примітки:

* - внутрішній шар (розміщений зі сторони приміщення) для всіх систем – шар штукатурки на основі вапняно-піщаного розчину товщиною $d = 0,01$ м;

** - шари теплоізоляції з МВ, з'єднані між собою високоадгезійним полімерцементним клеєм, товщина шару становить $d = 0,004$ м.

не відрізняються за теплозахисними властивостями, а їх тепловологісний стан є подібним. Критичним місцем для обох видів систем є межа між теплоізоляційним шаром та захисно-опоряджувальним шаром, де в період вологонакопичення можуть створитись умови утворення та накопичення вологи.

ДП НДІБК проведені випробування з виз-

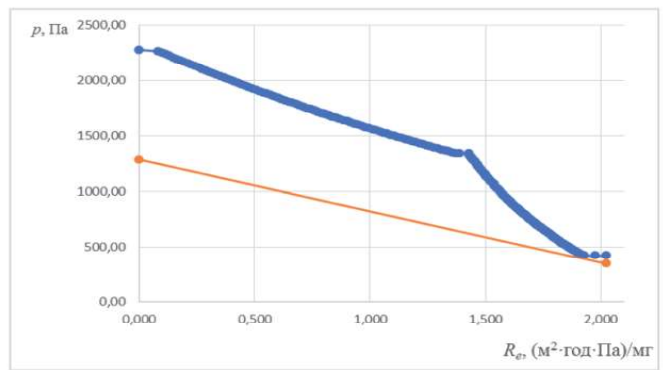
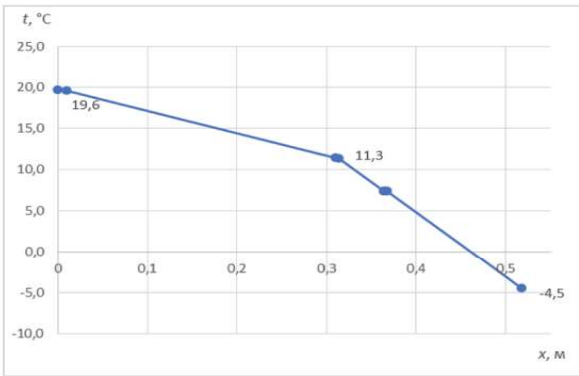
начення стійкості до циклічних кліматичних впливів систем утеплення із фасадною одношаровою та двошаровою теплоізоляцією згідно з методикою, викладеною в [5]. За результатами випробувань встановлена зміна термічного опору для обох видів систем утеплення з опорядженням тонкошаровою штукатуркою після 60 циклічних кліматичних впливів, підтверджена їх стійкість



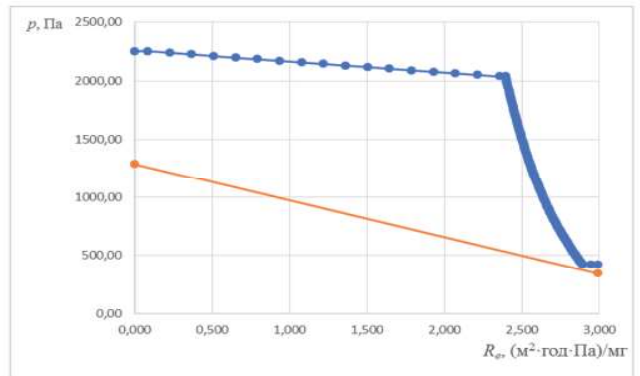
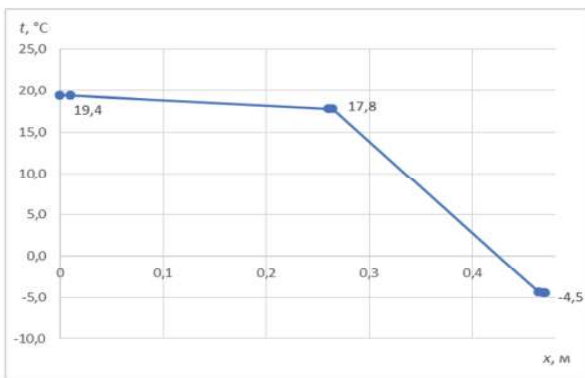
Сис- тема Розподіл температур у товщі огороджувальної конструкції

Розподіл парціальних тисків у товщі огороджувальної конструкції

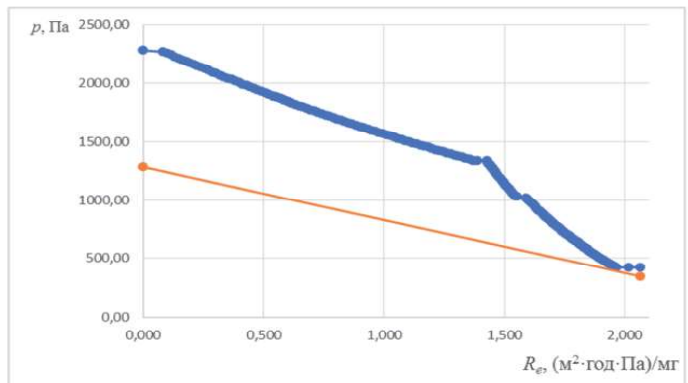
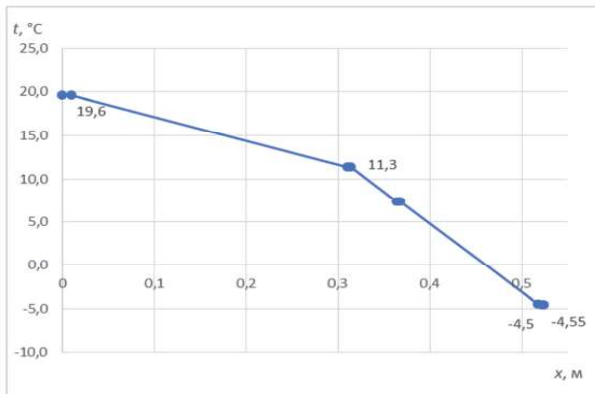
C1



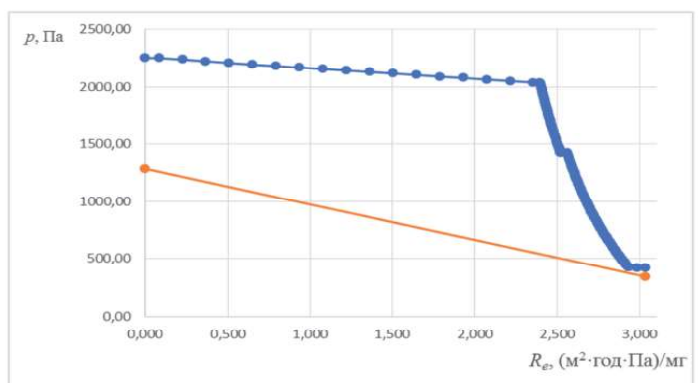
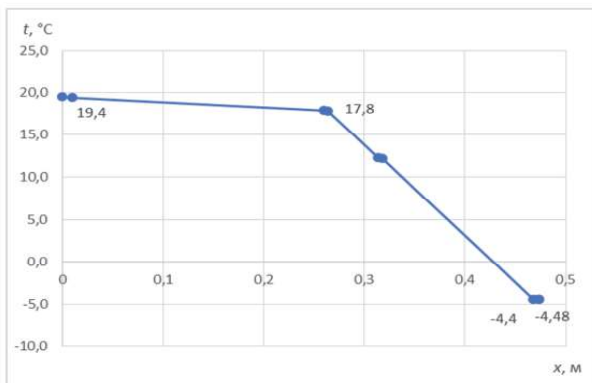
C2



C3



C4



а)

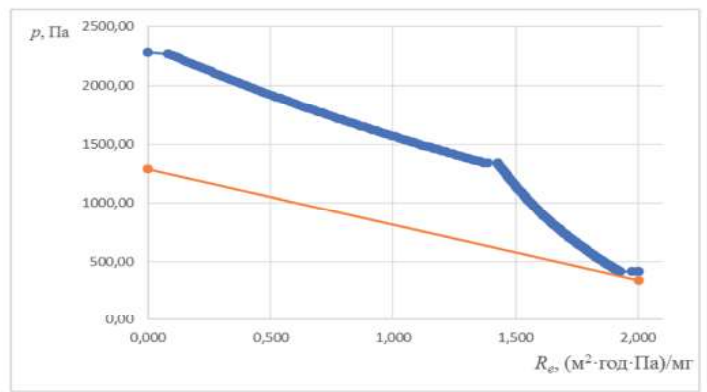
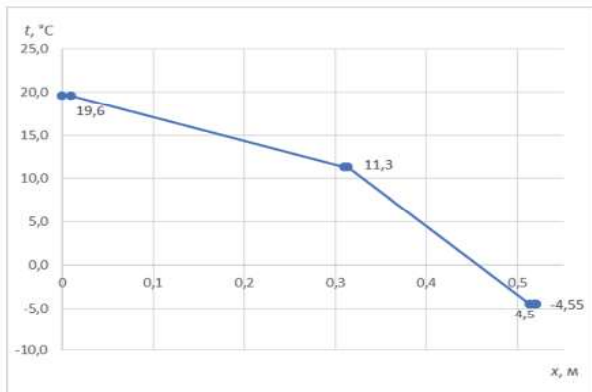
б)



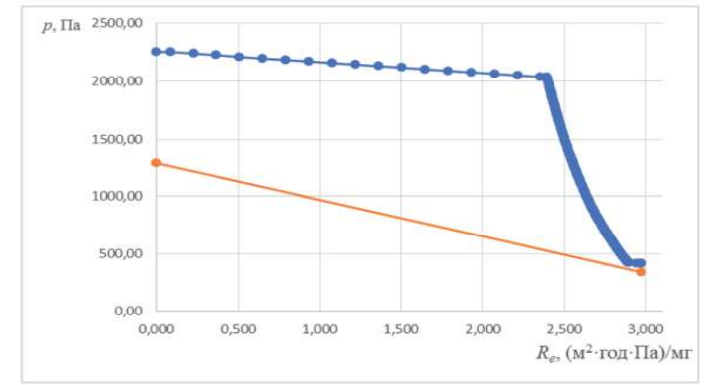
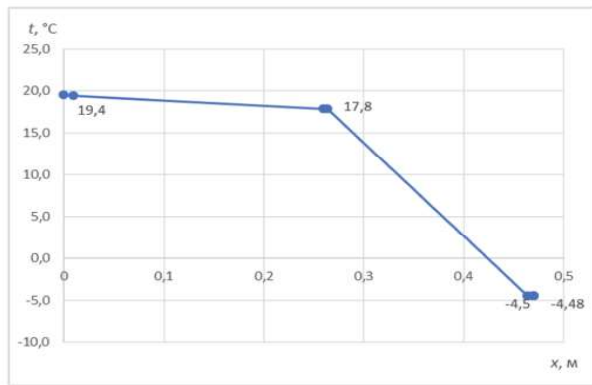
Розподіл температур у товщі огорджувальної конструкції

Розподіл парціальних тисків у товщі огорджувальної конструкції

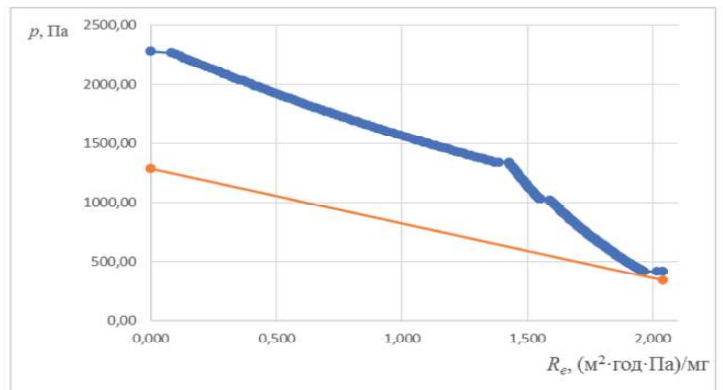
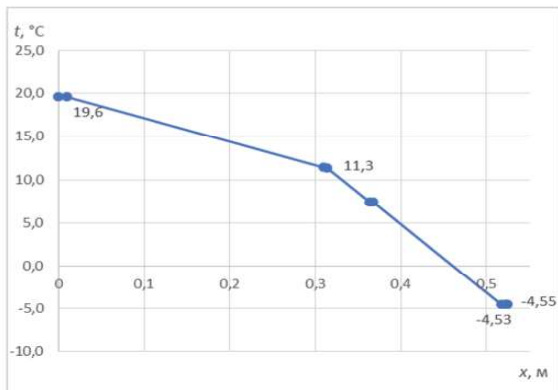
Сис-
тема



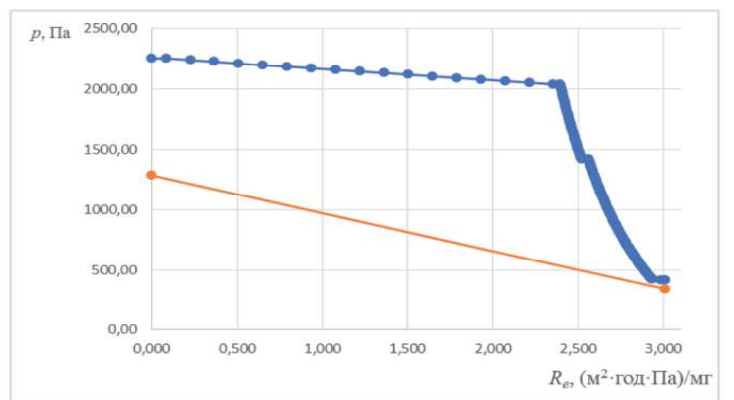
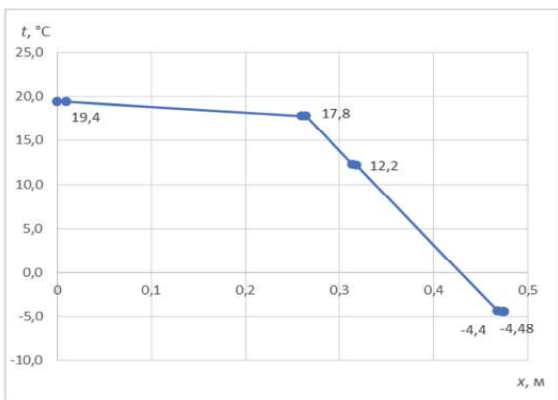
C5



C6



C7



C8

а)

б)

Рисунок 3 – Результати розрахунків з оцінки тепловологісного стану конструкцій зовнішніх стін із фасадною теплоізоляцією та опорядженням штукатурками з суцільним та подвійним шаром теплоізоляції для систем С1-С8: розподіл температур t_x по товщині конструкції (а) та розподіл E_x (б)



до циклічних кліматичних впливів та придатність до експлуатації.

Системи утеплення з двошаровою теплоізоляцією та опорядженням тонкошаровою штукатуркою застосовані на реальних об'єктах. Наприклад, при капітальному ремонті багатоквартирного житлового будинку в селищі Бородянка, пошкодженого під час бойових дій (рис. 4).



Рисунок 4 – Конструкції зовнішніх стін із фасадною теплоізоляцією та опорядженням штукатурками при застосуванні двошарової теплоізоляції

ВИСНОВКИ

Для забезпечення вимог до показників енергоефективності будівель в цілому та огорожувальних конструкцій будівель зокрема, з введенням у 2022 році нових будівельних норм, проєктувальники та забудовники пішли шляхом збільшення товщини теплоізоляційного шару, який застосовують в системах фасадної теплоізоляції, що, в свою чергу, збільшило вагу теплоізоляційного шару. Вага мінераловатної плити утеплювача густиною 145 kg/m^3 та розміром 1000×600 мм завтовшки $d = 200$ мм становить 20,9 кг, що має наслідком збільшення фізичного навантаження на робітників, які влаштовують систему фасадної теплоізоляції, їх підвищену втомлюваність та зниження якості виконуваних робіт.

Застосування двошарової теплоізоляції дозволяє виконувати операції з влаштування теплоізоляційного шару з плит меншої товщини та забезпечити якість виконання робіт без фізичного перевантаження будівельників. Застосування двошарової теплоізоляції надає можливість комбінувати різні типи матеріалів та забезпечити більш високу однорідність конструкції.

Проведені розрахунки та випробування дозволяють стверджувати, що використання фасадних систем з двошаровою теплоізоляцією, яка передбачає наявність додаткового клейового шару в системі, забезпечують теплозахисні властивості на рівні з одношаровими, а їх тепловологісний стан (для систем, що були оцінені) є подібним.

Проведені в лабораторних умовах випробування підтверджують стійкість системи фасадної теплоізоляції з опорядженням тонкошаровою

штукатуркою та двошаровою теплоізоляцією до кліматичних впливів.

Запропоновані система утеплення з двошаровою теплоізоляцією та технологія виконання робіт застосовані на ряді будівельних об'єктів у 2023-2024 роках.

Застосування системи фасадної теплоізоляції з двошаровою теплоізоляцією, в порівнянні з одношаровою, потребує більших трудовитрат та витрат часу на влаштування. Необхідно звернути увагу на необхідність уточнення кошторисних розрахунків через збільшення обсягів робіт.

БІБЛІОГРАФІЧНИЙ СПИСОК

1. ДБН В.2.6-31:2006. Теплова ізоляція будівель. Київ: Міністерство регіонального розвитку та будівництва України, 2006. 73 с.
2. ДБН В.2.6-31:2021. Теплова ізоляція та енергоефективність будівель. Київ: Міністерство розвитку громад та територій України, 2022. 27 с.
3. ДБН В.1.2-11:2021. Основні вимоги до будівель і споруд. Енергозбереження та енергоефективність. Київ: Міністерство розвитку громад та територій України, 2022. 21 с.
4. Фаренюк Г.Г. Вплив екстремальних дій на експлуатаційну придатність та надійність конструкції фасадної теплоізоляції. Наука та будівництво. 2023. № 2 (36). С.3-11.
5. ДСТУ Б В.2.6-36:2008. Конструкції будинків і споруд. Конструкції зовнішніх стін із фасадною теплоізоляцією та опорядженням штукатурками. Загальні технічні умови. Київ: Мінрегіонбуд України, 2009. 35 с.
6. ДСТУ ЕТАГ 004:2021. Настанова з європейських технічних ухвалень. Збірні системи фасадної теплоізоляції з опорядженням штукатурками (ЕТАГ 004:2013, IDT). Київ: ДП «УкрНДНЦ», 2021. 234 с.
7. Фаренюк Г.Г., Олексієнко О.Б. Аналіз критеріїв оцінки фасадних конструктивних систем зі штукатурним шаром. Наука та будівництво. 2020. № 4. С.3-14.
8. Parracha J.L., Borsoi G., Flores-Colen I., Veiga R., Nunes N., Dionísio A., Glória Gomes M., Faria P. Performance parameters of ETICS: Correlating water resistance, biosusceptibility and surface properties. Construction and Building Materials. 2021. № 272, 121956. URL: <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2020.121956>
9. Jacek Michalak. External Thermal Insulation Composite Systems (ETICS) from Industry and Academia Perspective. Sustainability. 2022. № 13(24), 13705. URL: <https://doi.org/10.3390/su132413705>



10. ДСТУ 9191:2022. Теплоізоляція будівель. Метод вибору теплоізоляційного матеріалу для утеплення будівель. Київ: ДП «УкрНДНЦ», 2022. 63 с.
11. Jerman, M., Cerný, R. Effect of moisture content on heat and moisture transport and storage properties of thermal insulation materials. *Energy and Buildings*. 2012. № 53. P. 39-46. URL: <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2012.07.002>
12. ДСТУ-Н Б В.2.6-192:2013. Настанова з розрахункової оцінки тепловологісного стану огорожувальних конструкцій. Київ: Мінрегіон України, 2014. 37 с.

REFERENCES

1. DBN V.2.6-31:2006. (2006). Thermal insulation of buildings. Kyiv: Ministry of Regional Development and Construction of Ukraine.
2. DBN V.2.6-31:2021. (2022). Thermal insulation and energy efficiency of buildings. Kyiv: Ministry of Communities and Territories Development of Ukraine.
3. DBN V.1.2-11:2021. (2022). Main requirements for buildings and structures. Energy saving and energy efficiency. Kyiv: Ministry of Communities and Territories Development of Ukraine.
4. Farenjuk, G.G. (2023). The impact of extreme actions on the operational suitability and reliability of facade insulation design. *Science and Construction*, 2(36), 3-11.
5. DSTU B V.2.6-36:2008. (2009). Building and structure designs. External wall constructions with facade insulation and plaster finishing. General technical conditions. Kyiv: Ministry of Regional Development and Construction of Ukraine.
6. DSTU ETAG 004:2021. (2021). Guideline for European technical approvals. Prefabricated facade insulation systems with plaster finishing. Kyiv: "UkrNDNC".
7. Farenjuk, G.G., & Oleksiyenko, O.B. (2020). Analysis of evaluation criteria for facade structural systems with a plaster layer. *Science and Construction*, 4, 3-14.
8. Parracha, J.L., Borsoi, G., Flores-Colen, I., Veiga, R., Nunes, N., Dionísio, A., Glória Gomes, M., & Faria, P. (2021). Performance parameters of ETICS: Correlating water resistance, biosusceptibility, and surface properties. *Construction and Building Materials*, 272, 121956. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2020.121956>
9. Michalak, J. (2022). External Thermal Insulation Composite Systems (ETICS) from industry and academia perspective.

Sustainability, 13(24), 13705. <https://doi.org/10.3390/su132413705>

10. DSTU 9191:2022. (2022). Thermal insulation of buildings. Method for selecting insulation material for building insulation. Kyiv: "UkrNDNC".
11. Jerman, M., & Cerný, R. (2012). Effect of moisture content on heat and moisture transport and storage properties of thermal insulation materials. *Energy and Buildings*, 53, 39-46. <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2012.07.002>
12. DSTU-N B V.2.6-192:2013. (2014). Guideline for the calculated assessment of the thermal and moisture condition of enclosing structures. Kyiv: Ministry of Regional Development of Ukraine.

Стаття надійшла до редакції 2.07.2024



Doi: <https://doi.org/10.33644/2313-6679-3-2024-5>

УДК 691.3



ШЕЙНІЧ Л.О.

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



МИКОЛАЄЦЬ М.Г.

Канд. технічних наук, в.о завідуючого відділу, ДП «Державний науково-дослідний інститут будівельних конструкцій», м. Київ, Україна, e-mail: mmikolaets@gmail.com, тел.: +38 (096) 224-78-79 ORCID ID: 0000-0002-8823-3401



ПЕТРИКОВА Є.М.

Канд. технічних наук, доцент, доцент кафедри технології будівельних конструкцій і виробів КНУБА м. Київ, Україна, старший науковий співробітник, ДП «Державний науково-дослідний інститут будівельних конструкцій», м. Київ, Україна, e-mail: petrikovakisi@gmail.com тел.: +38 (098) 358-72-30



МУДРИК М.С.

Провідний технолог лабораторії, ДП «Державний науково-дослідний інститут будівельних конструкцій», м. Київ, Україна, e-mail: mudrik@ndibk.gov.ua тел.: +38 (098) 345-06-47

ВПЛИВ ФІБРИ НА ПІДВИЩЕННЯ ТРІЩИНОСТІЙКОСТІ ЗАЛІЗОБЕТОННИХ КОНСТРУКЦІЙ

АНОТАЦІЯ

Одним з найрозповсюдженіших матеріалів, що застосовують майже в усіх галузях будівництва, є бетон. Однак, поряд з перевагами бетон характеризується низькою ударною міцністю, низьким опором на розрив і утворенням усадкових тріщин при твердненні. Для підвищення міцності бетону, запобігання появі тріщин, покращення інших характеристик бетону (стійкості до дії вібрації і ударних навантажень тощо) використовують введення до складу бетонної суміші різних видів фібри.

В результаті проведених досліджень встановлено, що пластична міцність цементного тіста з фіброю збільшилась в декілька разів у порівнянні зі складом, що фібру не містить. В той же час, збільшення міцності бетону на розтяг при згині з використанням крупного заповнювача і фібри різних видів незначне. Незначний позитивний вплив фібри в бетонах на крупних заповнювачах порівняно з цементним тістом можна пояснити нівелюванням цього ефек-

ту за рахунок використання крупного заповнювача, розмір зерен якого можна порівняти з довжиною волокна фібри. Тому, доцільно використовувати з вмістом фібри бетони на дрібному заповнювачі.

Встановлено, що введення фібри до складу бетону значно зменшує його усадку. Усадка бетону з фіброю, порівняно з бетоном без фібри, в ранні терміни тверднення у 3-4 рази менша. Усадка бетонних контрольних зразків складає 0,23 мм/м, а для бетону з фіброю 0,075 мм/м. Тобто, введення до складу бетону базальтової фібри зменшує деформації усадки бетону в ранні терміни тверднення та, відповідно, підвищує тріщиностійкість залізобетонних конструкцій. З часом ця тонка базальтова фібра розчиняється, але бетон набирає міцність, що компенсує відсутність фібри, що розчинилася. Таким чином, його висока тріщиностійкість зберігається. Отримані результати є підґрунтям оптимізації технологічних рішень бетонування конструкцій в напрямі розмірів захваток.



Таким чином:

- Підкреслено, що одним з найбільш дешевих видів фібри є базальтова, яку отримують з розплавлених гірських порід типу базальт. Базальтові волокна не виділяють токсичних речовин в повітряному середовищі і стічних водах, в присутності інших речовин не утворюють токсичних сполук. Базальтова фібра має високі фізико-механічні характеристики, низький коефіцієнт теплопровідності.
- Показано, що ефективність введення фібри залежить від складу бетону. Для досягнення максимального «міцнісного» ефекту від введення фібри найбільш доцільно використовувати дрібнозернисті бетони.
- Відомо, що «тонка» базальтова фібра з часом «розчиняється» в тверднучому бетоні. Свої властивості в бетоні вона зберігає при діаметрі волокна більше 80 мкм.
- Встановлено, що дисперсне армування базальтовими волокнами зменшує утворення усадкових тріщин в бетоні, що містить крупний заповнювач, ще на стадії, коли бетон перебуває в пластичному стані.
- Введення в склад бетону базальтової фібри, зменшуючи деформації усадки бетону в ранні терміни тверднення, відповідно, підвищує тріщиностійкість залізобетонних конструкцій. З часом ця тонка базальтова фібра розчиняється, але бетон набирає міцність, що компенсує відсутність фібри, що розчинилася. Таким чином, його тріщиностійкість зберігається. Отримані результати є підґрунтям оптимізації технологічних рішень бетонування конструкцій в напрямі розмірів захваток.

КЛЮЧОВІ СЛОВА: базальтова фібра, бетон, довговічність, тверднення, тріщиностійкість, усадка

INFLUENCE OF FIBER ON INCREASE OF CRACK RESISTANCE OF REINFORCED CONCRETE STRUCTURES

ABSTRACT

One of the most widely used materials in almost all fields of construction is concrete. However, alongside its advantages, concrete is characterized by low impact strength, low tensile strength, and the formation of shrinkage cracks during hardening. To increase the strength of concrete, prevent the appearance of cracks, and improve other characteristics of concrete (resistance to vibration and impact loads, etc.), various types of fibers are introduced into the concrete mix.

As a result of the conducted research, it was found that the plastic strength of cement paste with fiber increased several times compared to the composition without fiber. At the same time, the increase in tensile strength of concrete under bending with the use of coarse aggregate and various types of fiber is not

significant. The slight positive effect of fiber in concretes with coarse aggregates compared to cement paste can be explained by the neutralization of this effect due to the use of coarse aggregate, the grain size of which can be compared with the fiber length. Therefore, it is advisable to use fiber-containing concretes with fine aggregate.

It was found that the introduction of fiber into the concrete mix significantly reduces its shrinkage. The shrinkage of fiber-containing concrete, compared to concrete without fiber, in the early stages of hardening is 3-4 times less. The shrinkage of the concrete control samples is 0.23 mm/m, while for concrete with fiber, it is 0.075 mm/m. Thus, the introduction of basalt fiber into the concrete mix, reducing the shrinkage deformations of concrete in the early stages of hardening, respectively increases the crack resistance of reinforced concrete structures. Over time, this fine basalt fiber dissolves, but the concrete gains strength, compensating for the absence of the dissolved fiber. Thus, its high crack resistance is maintained. The obtained results form the basis for optimizing technological solutions for concreting structures in terms of section sizes.

It is shown that one of the cheapest types of fiber is basalt fiber, obtained from molten rocks like basalt. Basalt fibers do not release toxic substances into the air and wastewater and do not form toxic compounds in the presence of other substances. Basalt fiber has high physical and mechanical characteristics and a low thermal conductivity coefficient.

It is shown that the effectiveness of fiber introduction depends on the concrete composition. To achieve the maximum "strength" effect from fiber introduction, it is most advisable to use fine-grained concretes.

It is known that "fine" basalt fiber dissolves over time in hardening concrete. It retains its properties in concrete when the fiber diameter is more than 80 microns.

It was found that dispersed reinforcement with basalt fibers reduces the formation of shrinkage cracks in concrete containing coarse aggregate, even at the stage when the concrete is in a plastic state.

The introduction of basalt fiber into the concrete mix, reducing the shrinkage deformations of concrete in the early stages of hardening, respectively increases the crack resistance of reinforced concrete structures. Over time, this fine basalt fiber dissolves, but the concrete gains strength, compensating for the absence of the dissolved fiber. Thus, its crack resistance is maintained. The obtained results form the basis for optimizing technological solutions for concreting structures in terms of section sizes.

KEYWORDS: basalt fiber, concrete, durability, hardening, crack resistance, shrinkage

ВСТУП

Одним з найрозповсюдженіших матеріалів, що застосовують майже в усіх галузях будівництва, є бетон. Однак, поряд з перевагами, бетон харак-



теризуються низькою ударною міцністю, низьким опором на розрив і утворенням усадкових тріщин при твердненні. Для підвищення міцності бетону, запобігання появі тріщин, покращення інших характеристик бетону (стійкості до дії вібрації і ударних навантажень тощо) використовують введення до складу бетонної суміші різних видів фібри.

Фібробетон – композитний матеріал, який містить гідралічне в'язуче, дрібний, іноді і великий, заповнювач, дисперсні волокна із різних матеріалів та геометрії. Зміцнення волокнами ґрунтується на припущенні, що бетонна матриця передає їм прикладене навантаження за допомогою дотичних сил, які діють за поверхнею розділу. У разі, якщо модуль пружності волокна більший, ніж у цементної матриці, вважається, що основну частину прикладених навантажень сприймають волокна, а загальна міцність композиційного матеріалу пропорційна їх об'ємному вмісту [1].

Фібробетон не можна назвати матеріалом нового покоління, тому що теоретично бетон, армований сталевими волокнами, названий армованим бетоном, був представлений у 1963 році J. Romualdi та G. Watson, а потім введений у виробництво. У 1970-х роках почали використовувати сталеві волокна різних форм. У 20-му столітті також були розроблені методи армування бетону поліпропіленовими та скляними волокнами [1]. У 1980-х роках проводилися експерименти з природними волокнами, такими як сізаль, целюлоза, бамбук, сучасний вуглець, арамід та інші полімерні волокна.

Дисперсно-армований бетон (фібробетон) вигідно відрізняється від традиційного бетону, маючи в кілька разів вищі, у порівнянні з ним, міцність на розтяг, ударну міцність, тріщиностійкість, морозостійкість, водонепроникність, жаростійкість і пожежостійкість. За показником роботи руйнування фібробетон може в 15-20 разів перевершувати звичайний бетон [2-4]. Це забезпечує його високу техніко-економічну ефективність при застосуванні в будівельних конструкціях [5].

Матеріали, які використовують для виробництва армуючих волокон, класифікують на:

- металеві: відрізки дроту, рубана листово-холоднопрокатна сталь, а також металеві волокна з геометричними характеристиками, що поліпшують зачеплення фібри в матриці;
- мінеральні: скляні, базальтові, що одержують шляхом витягування розплавленої сировини крізь фільтри плавильних печей;
- синтетичні: поліетилен, поліпропілен, акрил, полівінілацетат, поліамід, арамід, поліестер, вуглець [1, 6].

На сьогоднішній день у достатній мірі освоєні фібробетони на основі сталевих і скляних волокон, менше вивчені – на синтетичних та базальтових.

Армування бетонів з використанням базальтової фібри є перспективним, особливо враховуючи те, що поклади базальту знаходяться в багатьох країнах

світу, в тому числі значні – в Україні. Україна має у своєму розпорядженні практично необмежені ресурси гірських порід, таких як базальт, габро, діабаз, порфірит та інші, що представляють цінність не тільки як облицювальні матеріали, але і як сировина для виробництва базальтових волокон з унікальними властивостями [7].

Базальтова фібра є одним з найміцніших мінеральних волокон. Дослідження показують, що якість бетону значно поліпшується навіть при невеликих добавках базальтового волокна. Важливим є те, що застосування такого матеріалу дозволяє, без будь-якого зменшення міцності, знизити масу конструкцій у цілому.

Базальтові волокна нетоксичні, мають високі фізико-механічні характеристики, низький коефіцієнт теплопровідності, більш високу температуру застосування [8, 9]. Отже, базальтова фібра володіє рядом істотних переваг, починаючи від ціни й високих фізико-технічних характеристик і закінчуючи тим, що її важко підробити. Базальтові волокна можуть забезпечувати бетону тривимірну міцність, вони легко розподіляються при перемішуванні і отриманні бетонної суміші, не утворюючи згустків, навіть при додаванні в уже приготовлену бетонну суміш (на відміну від поліпропіленової фібри). Структура бетону із застосуванням базальтових волокон близька до структури армоцементу із арматурою зі сталевих сіток. Однак, базальтобетон характеризується більш високою міцністю і тріщиностійкістю, тому що базальт забезпечує більш високий ступінь дисперсності армування цементного каменю і має більшу міцність, ніж різні види сталевих сіток. Крім того, фібробетон на основі базальту може сприймати великі пружні деформації, тому що базальтове волокно при розтязі не має пластичних деформацій, а за пружністю перевершує сталь. Значне збільшення пружності і міцності цементного каменю відбувається за рахунок усунення базальтовими волокнами впливу концентрації напружень [1].

Основною причиною, що стримує використання більшості скляних (мінеральних) волокон в якості армуючого матеріалу для бетонних матриць, є їх недостатня стійкість до дії середовища гідратуючого портландцементу. Найбільш активним і агресивним, по відношенню до базальтових волокон, компонентом рідкої фази портландцементів, що гідратують, є $\text{Ca}(\text{OH})_2$. Використання в'язучих, які не виділяють в процесі гідратації $\text{Ca}(\text{OH})_2$, наприклад, глиноземистого і гіпсоглиноземистого цементів, суттєво уповільнюють процеси руйнування скляних волокон, але не зупиняють ці процеси повністю [1, 7, 8]. В результаті взаємодії базальтового волокна з розчином $\text{Ca}(\text{OH})_2$ відбувається розпушування поверхнього шару волокна, його «розчинення».

В Україні, також у Європі та США, загальноприйнятий факт, що базальтова фібра, яка є «скля-



ною фазою» каменю, перебуваючи в лужному середовищі бетону кородує, оскільки сам базальт хімічно нестійкий у лужному середовищі, тобто з часом спостерігається розчинення фібри в цементних системах [1, 7, 8, 21].

Як відомо, матеріал волокна (базальтове) під дією агресивного цементного середовища реагує з отриманням новоутворень [1, 7, 21]. Тому фібра, виготовлена з базальтового ровінгу, з часом втрачає міцність і іноді повністю розчиняється в цементному камені бетону [7]. В той же час, на межі волокна з матрицею виникає шар новоутворень у вигляді цементної кірки. Ця кірка, у вигляді оболонки, може запобігати подальшому хімічному руйнуванню базальтового волокна і зберігати його здатність сприймати напруження. Одночасно відбувається ріст міцності бетону, який може компенсувати фізико-механічні втрати міцності фібри. Необхідно відмітити, що реакції на поверхні «волокно-цементна матриця» можуть і покращувати властивості системи внаслідок підвищення адгезії матриці до волокна, монолітності системи та покращення умов сумісності навантаження волокон в композиті. Значний обсяг досліджень базальтофіробетону (БФБ) було проведено в ДП «Державний науково-дослідний інститут будівельних конструкцій», на основі яких було розроблено Інструкцію з технології виготовлення будівельних конструкцій із дисперсно армованого БФБ [10]. Згідно з [10], для тривалого збереження базальтових волокон в лужному середовищі бетонів класів С16/20 (В20) – С40/50 (В50) мінімальним розміром базальтових волокон є 80 мкм.

Отже, при отриманні фіробетонів з використанням базальтового волокна необхідно враховувати їх геометричні розміри.

Необхідно відмітити, що використанні фібри, виготовленої з базальтового ровінгу з замаслювачем, адгезія з цементною масою значно падає, що знижує ефективність її застосування.

На основі проведеного огляду висунуто припущення, що введення до складу бетонної суміші базальтової фібри повинно ефективно впливати на тріщиностійкість бетону (зниження його деформацій усадки) в ранні терміни тверднення, коли фібра ще не розчинилася. В цьому випадку базальтова фібра повинна буде сприймати напруження усадки бетону в ранні терміни його тверднення і, відповідно, спрощувати технологію виконання робіт.

ВИКЛАД ОСНОВНОГО МАТЕРІАЛУ

Бетонна суміш, яка являє собою багатокомпонентну систему, ще до початку тужавлення і твердіння в'язучого утворює просторові структури, яким притаманна пластична міцність і які не змінюють свого стану без застосування енергетичного впливу зовні. При цьому основну структуроутворюючу роль в бетонній суміші виконує цементне тісто – тонкодисперсна система, яка складається з твердих частинок в'язучого, спеціально введених тонкомолотих

добавок, пилоподібних глинистих домішок в заповнювачах і води.

Для дослідження впливу базальтової фібри на властивості бетонів та розчинів було проведено дослідження впливу фібри на пластичну міцність цементного тіста.

Дослідження проводилися з використанням базальтової фібри РБР – 18-Т10/24(1%), яка виробляється ТОВ «ТЕХНОБАЗАЛЬТ-ІНВЕСТ» і відповідає вимогам ТУ У В.2.7-26.8-34323267-002:2009. Фібра характеризується діаметром елементарних ниток – 18 ± 2 мкм, довжина рубаного волокна – 24 мм; масова частка вологи – 1%; частка речовин, що виділяються при проколюванні, – 0,03% [20].

Кінетика зростання міцності структури твердіючого пластичнов'язкого тіла (пластична міцність) характеризується граничною напругою зсуву дисперсної системи, що визначається за методом занурення конуса в масу, що твердіє [22].

Цемент зачиняли необхідною кількістю води (при цьому В/Ц всіх систем становив 0,28). Витрата фібри при проведенні досліджень становила 3 кг/м³ цементного тіста.

Після перемішування отримане цементне тісто (з фіброю та без) поміщали у металеву чашу з $d = 35-45$ мм і $A = 8-10$ мм; поверхню тесту в чаші загладжували ножом. Експеримент проводили згідно з методикою [22].

Граничне напруження зсуву (пластичну міцність) підраховували за формулою (1):

$$R_m = k \frac{P}{h^2}, \text{ кгс} / \text{ см}^2 \quad (1)$$

де k – константа приладу, яка залежить від кута конуса при вершині (для кута конуса при вершині – 600, $k = 0,21$); P – навантаження, що діє на конус, кгс; h – глибина занурення конуса, см.

Результати досліджень наведені в табл. 1.

Результати досліджень демонструють, що пластична міцність цементного тіста з фіброю збільшилась в декілька разів у порівнянні зі складом, що фібру не містить. Аналіз отриманих результатів нашоує на те, що, якщо пластична міцність системи, що містить базальтову фібру, зростає, то повинна збільшуватись і міцність бетону з базальтовою фіброю.

Були проведені дослідження щодо впливу фібри на розтяг при згині бетону, а саме експериментально встановлено залежності міцності бетону на розтяг при згині в залежності від виду та кількості фібри в бетоні.

При проведенні досліджень за основу був прийнятий бетон класу С20/25, морозостійкістю F200, водонепроникністю W6, рухливість бетонної суміші – Р4.

Склади бетонної суміші, що використовували для визначення впливу виду і кількості фібри, наведено в табл. 2 і 3. Введення фібри та її кількість приймали відповідно до рекомендацій виробника.



Таблиця 1 – Вплив фібри на пластичну міцність цементного розчину

Показник	Терміни випробування, хв.		
	5	20	60
Цементне тісто без фібри			
Глибина занурення конуса масою 54 г, мм	9	4	2
Пластична міцність (R_m)	0,014	0,07	0,284
1/R	71,4	14,28	3,52
Цементне тісто з фіброю			
Глибина занурення конуса масою 54 г, мм	4	2	0
Пластична міцність (R_m)	0,07	0,011	-
1/R	14,28	90,9	
Глибина занурення конуса масою 94 г, мм		6	2
Пластична міцність (R_m)		0,055	0,49
1/R		18,18	2,04

Таблиця 2 – Рецептури бетонної суміші для визначення впливу виду і кількості фібри

Компоненти	Вміст, кг/м ³
Цемент М400	360
Пісок	724
Щебінь (фр. 5-20 мм)	1110
Вода	180
Добавка (SikaPlast 520)	згідно рекомендацій виробника [16]
Фібра	Табл. 3

Таблиця 3 – Види фібри і її вміст

Вид фібри	Вміст бетону, кг/м ³
Базальтова	1,0
	2,0
	3,0
Поліпропіленова	0,6
	0,9
Металева	25

Визначення міцності розтягу при згині бетону здійснювали на зразках-призмах розміром 100×100×400 мм, що формувались з різним вмістом за кількістю фібри. Зразки виготовляли серіями, кількість зразків-призм в кожній серії – 3 шт., в тому числі контрольних – 3 шт. Зразки зберігались протягом 28 діб в нормальних умовах (при температурі

(20±5)°C та відносній вологості повітря (60±5)%).

Результати випробувань зразків-призм наведені в табл. 4.

Аналіз отриманих результатів дозволив підтвердити, що введення до складу бетону різних видів фібри (базальтової, поліпропіленової та металевої) сприяє підвищенню міцності на розтяг при згині зразків-призм по відношенню до контрольних зразків, де фібра відсутня; при цьому найбільшою міцністю характеризуються зразки бетону з додаванням металевої фібри. Порівняння отриманих міцнісних результатів (міцність на розтяг при згині) демонструє, що введення базальтової фібри дозволяє отримати бетони з більшою міцністю у порівнянні з бетонами, в які вводили поліпропіленову фібру. Однак значення міцнісних показників всіх зразків, незалежно від виду фібри, дуже близькі. Незначний позитивний вплив фібри в бетонах на крупних заповнювачах порівняно з цементним тістом можна пояснити нівелюванням цього ефекту за рахунок використання крупного заповнювача, розмір зерен якого можна порівняти з довжиною волокна фібри. Тому доцільно використовувати з вмістом фібри бетони на дрібному заповнювачі.

При цьому виробі, армовані поліпропіленовими волокнами, як відомо з [23], характеризуються значними деформаціями. Основними недоліками бетонів з металевими волокнами є катодний ефект і понижена стійкість до агресивного середовища.

Для подальших досліджень впливу фібри на властивості бетонів розглядали вплив базальтової фібри в ранні терміни тверднення бетону.

Визначення деформацій бетонів в ранні терміни тверднення здійснювали за ДСТУ Б В.2.7-216 [12]. Суть методу полягає у визначенні деформацій усадки

шляхом їх вимірювання у напрямку поздовжньої осі ненавантаженого зразка. Але цей метод не передбачає визначення деформацій бетону з моменту кінця тужавлення бетону до отримання ним певної міцності, необхідної для розпалублення зразків і їх оснащення вимірювальним обладнанням. Тому було вирішено проводити дослідження



Таблиця 4 – Вплив фібри на міцність на розтяг при згині

Зразки бетону	Вміст фібри, кг/м ³	Міцність на розтяг при згині в віці 28 діб, МПа
з базальтовою фіброю	1,0	2,95
	2,0	2,88
	3,0	2,92
з поліпропіленовою фіброю	0,6	2,86
	0,9	2,85
з металевою фіброю	25	3,03
контрольні (без фібри)	–	2,84

деформацій бетону в ранні терміни тверднення за допомогою реперів, які вставлялись в бетонну суміш одразу після формування зразків.

Визначення деформації усадки/розширення бетонів здійснювали на зразках-призмах розміром 100 мм x 100 мм x 400 мм. Зразки виготовляли серіями, при цьому кожна серія містить 2 зразка-призми. Виготовлення зразків виконували згідно з ДСТУ Б В.2.7-214 [13]. Витримування зразків при дослідженні їх деформацій усадки здійснювали в приміщенні при температурі (20±5) °С та відносній вологості повітря (60±5) %.

Віброущільнення бетону у формі здійснювали на лабораторному вібромайданчику у відповідності до вимог ДСТУ Б В.2.7-114 [14].

Під час формування зразків на верхній грані, в тілі бетону, встановлювали 2 репери (рис. 1), які розміщували по повздовжній вісі зразка та на відстані (100±1) мм від торців форми – база приладу 200 мм.

Початковий розмір між реперами (рис. 1) визначали одразу після кінця тужавлення, для цього форму розкривали, але зразок залишався на її дніщі.

Для зняття відліків зміни відстані між реперами використано вимірювач деформацій «SDM 50/500» (компаратор). Прилад оснащений індикатором годинникового типу з ціною поділки 0,01 мм. Межа вимірів змін деформацій – до 10 мм. Частота вимірювань – 1 раз на добу.

Комплект штанг на приладі дає змогу проводити вимірювання на базі 50, 100, 200, 300, 400 та 500 мм (рис. 2). Закріплена на базі змінна ніжка слугує для фіксації вибраної довжини. Обидві ніжки знизу мають кулеподібні поверхні, що контактують з конічними заглибленнями (гніздами) на спостережних реперах (рис. 1).

В голівці репера передбачено конічне заглиблення (гніздо), в яке встановлюється ніжка приладу (компаратора) з кульковим наконечником. Конусне заглиблення марки та кульковий наконечник ніжки приладу забезпечують надійний контакт поверхонь цих елементів, в зв'язку з чим досягається зняття показань приладу з мінімальними помилками.

Величина деформацій визначається із різниці

нульового і наступних за ним в часі відліків. При кожному вимірі бази береться відлік на контрольній рейці. Результатом є різниця цих двох значень.

Температурні коливання контрольної рейки до уваги не беруться, так як вона виготовлена з інварного сплаву і має незначний коефіцієнт температурного розширення (≈0,000002).

Все обладнання, що використовували при проведенні досліджень, відкаліброване відповідними органами та/або метрологічними служ-

бами.

В якості компонентів бетонної суміші використовували наступні сировинні матеріали:

- сульфатостійкий шлакопортландцемент ССШПЦ 400-Д60, що відповідає вимогам ДСТУ Б В.2.7-85, з вмістом С₃А у клінкері не більше 8 % та вмістом доменного гранульованого шлаку понад 20 % і не більше 60 % [15]. Застосування такого цементу повинно забезпечувати низьке тепловиділення і отримання бетону з пониженою екзотермією, який придатний для застосування для масивних залізобетонних конструкцій;
- пісок кварцовий митий з Мк-1,4, що відповідає ДСТУ Б В.2.7-32 [17];
- щебінь гранітний фракції 5-10 мм, згідно з

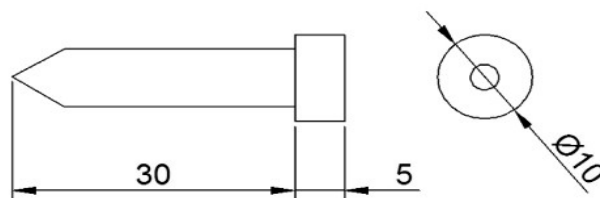


Рисунок 1 – Репер (розміри в мм)

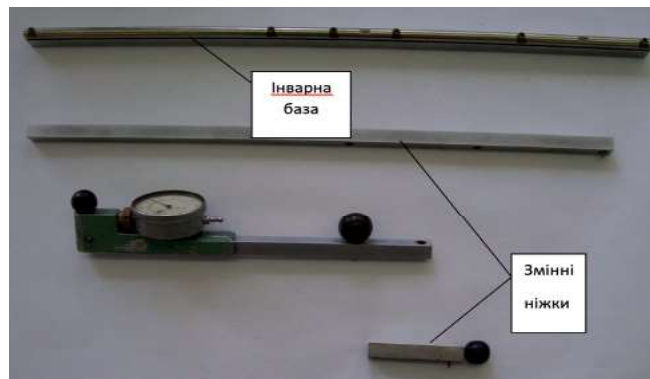


Рисунок 2 – Прилад «SDM 50/500» в комплекті із змінними ніжками та інварною базою



ДСТУ Б.В.2.7-75 [18];

- щебінь гранітний фракції 10-20 мм, згідно з ДСТУ Б.В.2.7-75 [18];
- вода для замішування бетонної суміші, згідно з ДСТУ Б.В.2.7-273 [19].
- фібра базальтова РБР-18-Т10/24 (1 %), згідно з ТУ У В.2.7-26.8-34323267-002 [20].

Склади бетонної суміші, що використовували для визначення впливу фібри, наведено в табл. 5. В якості контрольного складу бетону був прийнятий склад бетону без вмісту базальтової фібри.

Результати визначення деформацій бетонів з додаванням фібри і без неї наведені на рис. 3.

Таблиця 5 – Рецептури бетонної суміші

Компоненти	Склади бетонної суміші	
	досліджуваний склад	контрольний склад
	вміст, кг/м ³	
Цемент	470	470
Пісок	650	650
Щебінь (фр. 5-10 мм)	200	200
Щебінь (фр. 10-20 мм)	950	950
Вода	155	155
Добавка (SikaPlast-3050W R Plus)	3,5	3,5
Базальтова фібра (ТУ У В.2.7-26.8-34323267-002:2009)	3,0	-

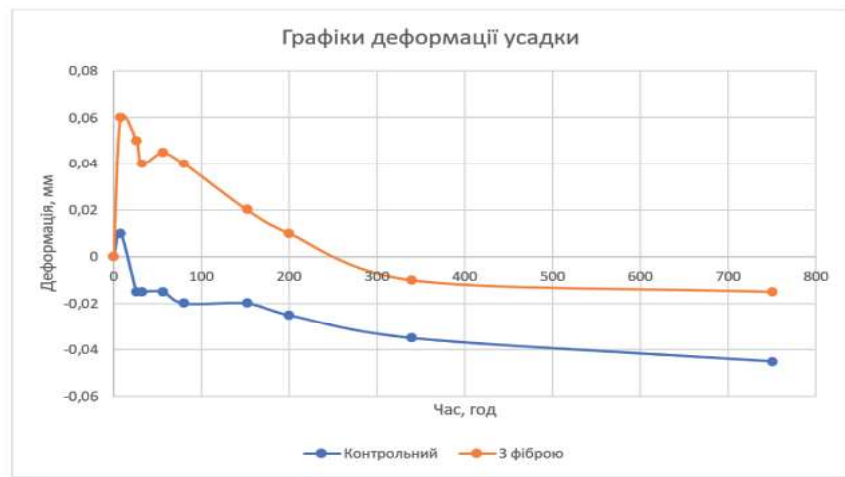


Рисунок 3 – Деформації усадки бетонів з і без фібри

Аналізуючи дані рис. 3 можна відмітити, що введення фібри до складу бетону значно зменшує його усадку. Усадка бетону з фіброю порівняно з бетоном без фібри в ранні терміни тверднення в 3-4 рази менша. При врахуванні бази вимірювань усадки бетонних зразків (20 см) отримуємо усадку для контрольних зразків 0,23 мм/м, а для бетону з фіброю - 0,075 мм/м. Тобто введення в склад бетону базальтової фібри, зменшуючи деформації усадки бетону в ранні терміни тверднення, відповідно підвищує тріщиностійкість залізобетонних конструкцій. З

часом ця тонка базальтова фібра розчиняється, але бетон набирає міцність, що компенсує відсутність фібри, що розчинилася. Таким чином, його тріщиностійкість зберігається. Отримані результати є підґрунтям оптимізації технологічних рішень бетонування конструкцій в напрямі розмірів захваток.

ВИСНОВКИ

Одним з найбільш дешевих видів фібри є базальтова, яку отримують з розплавлених гірських порід типу базальт. Базальтові волокна не виділяють токсичних речовин в повітряному середовищі і стічних водах, в присутності інших речовин не утворюють токсичних сполук. Базальтова фібра має високі фізико-механічні характеристики, низький коефіцієнт теплопровідності.

Ефективність введення фібри залежить від складу бетону. Для досягнення максимального «міцнісного» ефекту від введення фібри найбільш доцільно використовувати дрібнозернисті бетони (бетони, що не містять крупного заповнювача). При введенні фібри в систему, яка містить крупний заповнювач, підвищення міцнісних показників досить невелике.

Відомо, що «тонка» базальтова фібра з часом «розчиняється» в тверднучому бетоні. Свої властивості в бетоні вона зберігає при діаметрі волокна більше 80 мкм.

Встановлено, що дисперсне армування базальтовими волокнами зменшує утворення усадкових тріщин в бетоні, що містить крупний заповнювач, ще на стадії, коли бетон перебуває в пластичному стані.

Введення до складу бетону базальтової фібри, зменшуючи деформації усадки бетону в ранні терміни тверднення, відповідно підвищує тріщиностійкість залізобетонних конструкцій. З часом ця тонка базальтова фібра розчиняється, але бетон набирає міцність, що компенсує відсутність фібри, що розчинилася. Таким чином, його тріщиностійкість зберігається. Отримані результати є підґрунтям оптимізації технологічних рішень бетонування конструкцій в напрямі розмірів захваток.

БІБЛІОГРАФІЧНИЙ СПИСОК

1. Рабинович Ф.Н. Дисперсно-армированные бетоны. Москва: Стройиздат, 1989. 176 с.



2. Берг О.Я. Физические основы теории прочности бетона и железобетона. Москва: Стройиздат, 1962. 96 с.
3. Волков Ю.С. Применение сверхпрочных бетонов в строительстве. Бетон и железобетон. 1994. №7. С. 27 – 31.
4. Демьянова В.С., Ильина И.Е., Куликов И.М. Повышение эксплуатационных свойств бетона комплексными добавками. Композиционные строительные материалы. Теория и практика. Международная научно-практическая конференция, 2005. С. 38 – 43.
5. Соломатов В.И., Тахиров М.К., Шах Мд. Тахер. Интенсивная технология бетонов. Москва: Стройиздат, 1989. 264 с.
6. Satheskumar K., Karthik P. Comparative study on self-compacting concrete using steel fibre and basalt fibre. International Journal of Current Innovation Research. 2016. № 2 (5). P. 375-379.
7. Новицкий А.Г. Химическая стойкость базальтовых волокон для армирования бетонов. Хімічна промисловість України. 2003. № 3. С. 16-19.
8. Коваль П.М., Юрковська Н.Р. Базальтові волокна в будівництві. Навчальний посібник. Київ: Національна академія образотворчого мистецтва і архітектури, 2016. 206 с.
9. Кузнєцова І.Г. Міцність фібробетонних елементів при місцевому стисненні. Автореферат дис. канд.тех.наук. Національний університет «Полтавська політехніка імені Юрія Кондратюка». Полтава, 2022.
10. Ситнік Н.И., Скибинський А.А. та ін. Методичні рекомендації по технології виготовлення конструкцій з базальтобетону. Київ: НДІБК, 1986. 16 с.
11. Abbas U. Materials Development of Steel and Basalt Fiber Reinforced Concretes. Norwegian University of Science and Technology, 2013. 162 p.
12. ДСТУ Б В.2.7-216:2009. Будівельні матеріали. Бетони. Метод визначення деформацій усадки та повзучості. Київ: Мінрегіонбуд України, 2010. 18 с.
13. ДСТУ Б В.2.7-214:2009. Будівельні матеріали. Бетони. Методи визначення міцності за контрольними зразками. Київ: Мінрегіонбуд України, 2010. 43 с.
14. ДСТУ Б В.2.7-114-2002 (ГОСТ 10181-2000). Будівельні матеріали. Суміші бетонні. Методи випробувань. Київ: Державний комітет архітектури, будівництва і житлової політики України, 2002. 32 с.
15. ДСТУ Б В.2.7-85-99 Цементи сульфатостійкі. Технічні умови (ГОСТ 22266-94). Київ: Державний комітет архітектури, будівництва і житлової політики України, 1999. 13 с.
16. ТУ У В.2.7-20.5-33053410-004:2014. Добавки хімічні для бетонів і будівельних розчинів Sika. Технічні умови.
17. ДСТУ Б В.2.7-32-95. Будівельні матеріали. Пісок щільний природний для будівельних матеріалів, виробів, конструкцій і робіт. Технічні умови. Київ: Держкоммістобудування України, 1996. 35 с.
18. ДСТУ Б.В.2.7-75-98. Будівельні матеріали. Щебінь та гравій щільні природні для будівельних матеріалів, виробів, конструкцій та робіт. Технічні умови. Київ: Державний комітет архітектури, будівництва і житлової політики України, 1998. 16 с.
19. ДСТУ Б В.2.7-273:2011 Вода для бетонів і розчинів. Технічні умови (ГОСТ 23732-79, MOD). Київ: Мінрегіон України, 2012. 18 с.
20. ТУ У В.2.7-26.8-34323267-002:2009. Ровінг з базальтових волокон. Технічні умови.
21. Дорошенко О.Ю. Базальтове волокно як компонент цементобетону., Зб. наук. праць Укр. держ. універс. заліз. трансп., сер. Будівництво та цивільна інженерія (192). 2021. № 198. С. 22-29
22. Рунова Р.Ф., Шейніч Л.О., Гелевера О.Г., Гоц В.І. Основи виробництва стінових та оздоблювальних матеріалів. Київ: КНУБА, 2001. 354с.
23. Бражник Г.В. Монолітні дорожні цементні бетони високої морозостійкості з органомінеральним комплексом та фіброю: автореферат дис. на здоб. наук. ступ. канд. техн. наук: 05.23.05. Харків, 2015. - 23 с.

REFERENCES

1. Rabinovich, F. N. (1989). Dispersed-reinforced concretes. Moscow: Stroyizdat.
2. Berg, O. Ya. (1962). Physical foundations of the theory of concrete and reinforced concrete strength. Moscow: Stroyizdat.
3. Volkov, Y. S. (1994). Application of ultra-high-strength concretes in construction. Concrete and Reinforced Concrete, (7), 27–31.
4. Demyanova, V. S., Ilyina, I. E., & Kulikov, I. M. (2005). Improving the operational properties of concrete with complex additives. In Composite Building Materials. Theory and Practice. International Scientific and Practical Conference (pp. 38–43).
5. Solomатов, V. I., Takhir, M. K., & Shah Md. Takhir. (1989). Intensive concrete technology. Moscow: Stroyizdat.
6. Satheskumar, K., & Karthik, P. (2016). Comparative study on self-compacting concrete using steel fibre and basalt fibre. International Journal of Current Innovation Research, 2(5), 375-379.
7. Novitsky, A. G. (2003). Chemical resistance of basalt fibers for concrete reinforcement. Chemical Industry of Ukraine, (3), 16-19.



8. Koval, P. M., & Yurkovska, N. R. (2016). Basalt fibers in construction. Textbook. Kyiv: National Academy of Fine Arts and Architecture.
9. Kuznetsova, I. G. (2022). Strength of fiber concrete elements under local compression. Abstract of the dissertation for the degree of Candidate of Technical Sciences. National University "Poltava Polytechnic named after Yuri Kondratyuk". Poltava.
10. Sitnik, N. I., Skibinsky, A. A., et al. (1986). Methodological recommendations for the technology of manufacturing basalt concrete structures. Kyiv: NDIBK.
11. Abbas, U. (2013). Materials Development of Steel-and Basalt Fiber Reinforced Concretes. Norwegian University of Science and Technology.
12. DSTU B V.2.7-216:2009. (2010). Building materials. Concretes. Method for determining shrinkage and creep deformations. Kyiv: Ministry of Regional Development, Construction, and Housing of Ukraine.
13. DSTU B V.2.7-214:2009. (2010). Building materials. Concretes. Methods for determining strength by control samples. Kyiv: Ministry of Regional Development, Construction, and Housing of Ukraine.
14. DSTU B V.2.7-114-2002 (GOST 10181-2000). (2002). Building materials. Concrete mixtures. Test methods. Kyiv: State Committee for Architecture, Construction, and Housing Policy of Ukraine.
15. DSTU B V.2.7-85-99. (1999). Sulfate-resistant cements. Technical conditions (GOST 22266-94). Kyiv: State Committee for Architecture, Construction, and Housing Policy of Ukraine.
16. TU U V.2.7-20.5-33053410-004:2014. Chemical additives for concretes and mortars Sika. Technical conditions.
17. DSTU B V.2.7-32-95. (1996). Building materials. Dense natural sand for building materials, products, structures, and works. Technical conditions. Kyiv: State Committee for Urban Development of Ukraine.
18. DSTU B V.2.7-75-98. (1998). Building materials. Crushed stone and gravel are dense natural for building materials, products, structures, and works. Technical conditions. Kyiv: State Committee for Architecture, Construction, and Housing Policy of Ukraine.
19. DSTU B V.2.7-273:2011. (2012). Water for concretes and mortars. Technical conditions (GOST 23732-79, MOD). Kyiv: Ministry of Regional Development of Ukraine.
20. TU U V.2.7-26.8-34323267-002:2009. Basalt fiber roving. Technical conditions.
21. Doroshenko, O. Yu. (2021). Basalt fiber as a component of cement concrete. In Collection of scientific works of Ukr. State Univ. of Railway Transport, Series: Construction and Civil Engineering (192), 198, 22-29.
22. Runova, R. F., Sheynich, L. O., Gelevera, O. G., & Gots, V. I. (2001). Fundamentals of the production of wall and finishing materials. Kyiv: KNUCA.
23. Brazhnik, G. V. (2015). Monolithic road cement concretes of high frost resistance with organomineral complex and fiber: Abstract of the dissertation for the degree of Candidate of Technical Sciences: 05.23.05. Kharkiv.

Стаття надійшла до редакції 2.08.2024



Doi: <https://doi.org/10.33644/2313-6679-3-2024-6>

УДК 628.517



БІДА Д. В.
Канд. техн. наук, старший науковий співробітник, ДП «Державний науково-дослідний інститут будівельних конструкцій», м. Київ, Україна
Тел.: +38 (063) 930 11 92
e-mail: d.bida@ndibk.gov.ua
ORCID: 0000-0001-5185-0927



ДІДКОВСЬКИЙ В. С.
Доктор техн. наук, професор, Кафедра акустичних та мультимедійних електронних систем, Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського», м. Київ, Україна
e-mail: v.didkovskiy@gmail.com
ORCID: 0000-0002-0807-822X

РОЗРАХУНОК ЗВУКОІЗОЛЯЦІЇ БАГАТОШАРОВИХ КОНСТРУКЦІЙ

АНОТАЦІЯ

Останнім часом проблема захисту від шуму стала актуальною через збільшення кількості транспорту в містах та його потужності. Одним із ефективних рішень є використання звукоізолюючих конструкцій, зокрема багатошарових, які поєднують щільні матеріали, що відбивають звук, та легкі звукопоглинальні матеріали. Однак існуючі методи розрахунку звукоізоляції не враховують особливості однорідних товстих і важких конструкцій. Запропоновано новий метод, який розглядає конструкції як двошарові: перший шар – основна конструкція з твердих матеріалів (бетон або цегла), другий – облицювальний шар із звукопоглинальними властивостями. Запропонований метод дозволяє за фізичними та геометричними властивостями огороження визначити його частотну характеристику звукопоглинання. Розроблена математична модель враховує масу, товщину матеріалів та ефект резонансу для точного розрахунку звукоізоляційних характеристик. Система рівнянь враховує різні діапазони мас матеріалів для розрахунку звукоізоляції. Проведено розрахунки для різних комбінацій матеріалів, таких як цегла, акустична вата і гіпсоволокнисті плити, що дозволило оцінити ефективність конструкцій в різних частот-

них діапазонах. Точність результатів розрахунків, які збігаються з експериментальними даними з похибкою +/- 3 дБ, підтверджує надійність розробленого методу. Вона враховує товщину, масу та щільність конструкцій, дозволяючи інженерам обирати оптимальні матеріали для досягнення необхідного рівня звукоізоляції.

КЛЮЧОВІ СЛОВА: звукоізоляція, рівні шуму, захист від шуму, багатошарові конструкції, звукоізоляційні перегородки, звукоізоляційні матеріали.

ABSTRACT

Recently, the problem of noise protection has become relevant due to the increase in the number of vehicles in cities and their capacity. One of the effective solutions is the use of sound-insulating structures, in particular multilayer ones. They combine dense sound-reflecting materials and lightweight sound-absorbing materials. However, the existing methods of calculating sound insulation do not take into account the peculiarities of uniform thick and heavy structures. A new technique is proposed, which considers structures as two-layered: the first layer is the main structure made of solid materials (concrete or brick), the second is a facing layer with sound-



absorbing properties. The proposed method allows determining the frequency characteristics of sound absorption based on the physical and geometric properties of the enclosure. The developed mathematical model takes into account the mass, thickness of materials and the effect of resonance for accurate calculation of soundproofing characteristics. The system of equations takes into account different ranges of material masses to calculate sound insulation. Calculations were carried out for various combinations of materials, such as brick, acoustic wool and gypsum fiber boards, which allowed to evaluate the effectiveness of structures in different frequency ranges. The accuracy of the calculation results, which coincide with the experimental data with an error of +/- 3 dB, confirms the reliability of the developed methodology. It takes into account the thickness, mass and density of structures, allowing engineers to choose the optimal materials to achieve the required level of sound insulation.

KEYWORDS: sound insulation, noise levels, noise protection, multi-layer constructions, sound insulation partitions, sound insulation materials.

ВСТУП

Останнім часом виникла проблема захисту від шуму у зв'язку зі збільшенням кількості транспорту в містах та його потужності. Одним із способів захисту від шуму є використання звукоізолюючих конструкцій.

Питанням використання та розрахунку різного типу звукоізолюючих конструкцій присвячені роботи [1-3, 6]. Найбільш ефективними показали себе багат шарові конструкції, в яких високий рівень звукоізоляції досягається завдяки поєднанню щільних матеріалів, які відбивають звук, і легких матеріалів, які його поглинають. Відомі методи розрахунку багат шарових конструкцій належать Шарпу, Фахі [4, 5, 9].

Але в цих методах не враховано особливості однорідних товстих і важких конструкцій, у зв'язку з цим запропоновано метод, який враховує їх недоліки. Суть методу полягає в поділі конструкції на два шари з різними властивостями.

ВИКЛАД ОСНОВНОГО МАТЕРІАЛУ

З урахуванням вищезазначеного, у роботі [6] запропоновано новий метод для розрахунку звукоізоляції будівельних конструкцій, який містить експериментальні та змодельовані результати. Цей метод полягає в поділі конструкції на два шари з різними властивостями.

Перший шар – це основна існуюча конструкція, що складається з твердих матеріалів, таких як бетон або цегляна кладка. Цей шар забезпечує основну звукоізоляцію за рахунок своєї маси та щільності.

Другий шар – це облицювальний матеріал з

додатковими звукопоглинальними властивостями. До нього можуть входити гіпсоволокнисті плити, керамзитні плити або плити на основі кварцевого піску у поєднанні із звукопоглинальними матеріалами, такими як мінеральна вата, базальтова вата або войлок. Цей шар забезпечує додаткове поглинання звуку, що проходить через перший шар.

Грунтуючись на відомих формулах та методах розрахунків [6], розроблена математична модель наступного вигляду:

$$\begin{cases} R = R_1 + R_2 + C_{1,2} & f \leq 250 \text{ Гц} \\ R = R_1 + R_2 + C_{1,2} - 9 & 250 \geq f \geq 2500 \text{ Гц} \\ R = R_1 + R_2 + C_{1,2} + 9 & f \geq 2500 \text{ Гц} \end{cases}, (1)$$

де R_1 – індекс звукоізоляції на певній частоті існуючої конструкції з твердих матеріалів (бетону, цегляної кладки тощо), тобто зазначеного вище першого (існуючого, масивного) «шару» конструкції, дБ; R_2 – індекс звукоізоляції другого «шару» конструкції, відповідно, дБ; C – додатковий коефіцієнт поправки, дБ.

Коефіцієнт C розраховується за наступними формулами:

$$C_1 = 10 \lg \left(\frac{m_1 + 2m_2}{f(h_1 + h_2)} \right) - 20 \lg \left(\frac{m_1}{m_2} \right), \quad (2)$$

$$C_2 = 10 \lg \left(\frac{m_1 + 2m_2}{f(h_1 + h_2)} \right) - 10 \lg (R_1 - R_2), \quad (3)$$

де m_1 – поверхнева маса першого (існуючого, масивного) «шару» будівельної конструкції, кг/м²; m_2 – поверхнева маса другого (додаткової звукоізоляції) «шару» будівельної конструкції, кг/м²; h_1 – товщина першого «шару» будівельної конструкції, м; h_2 – товщина другого «шару» будівельної конструкції, м; f – частота, на якій проводяться розрахунки, згідно з третиннооктавною полосною частот, Гц.

В контексті розробленого методу для розрахунку звукоізоляції будівельних конструкцій варто зазначити, що кожна система рівнянь є релевантною для різних діапазонів поверхневої маси першого шару існуючої конструкції. Система рівнянь з коефіцієнтом C_1 (2) застосовується до будівельних конструкцій, у яких поверхнева маса першого шару (існуючої перегородки) лежить у межах від 100 до 400 кг/м². Цей діапазон є оптимальним для досягнення необхідних звукоізоляційних властивостей, оскільки матеріали з поверхневою масою нижче 100 кг/м² не забезпечують достатнього рівня звукоізоляції і, відповідно, не повинні використовуватися для цих цілей. Система рівнянь C_1 підходить для матеріалів, у яких поверхнева маса не перевищує 400 кг/м².



Система рівнянь з коефіцієнтом C_2 (3) використовується для матеріалів з поверхневою масою понад 400 кг/м². Ця система враховує більш високий рівень маси, що дозволяє розрахувати звукоізоляцію для конструкцій з більшим ступенем захисту від звуку. Показники R_1 та R_2 визначаються відповідно до [7, 8].

Цей підхід забезпечує точний розрахунок звукоізоляційних характеристик огорожувальних конструкцій, що дозволяє проєктувальникам і інженерам приймати обґрунтовані рішення щодо вибору матеріалів і конструкцій для досягнення необхідного рівня звукоізоляції. Коефіцієнти C_1 та C_2 (у формулах 2 і 3), які містять логарифмічні вирази залежно від товщини (h) і маси (m) шарів, мають важливу роль у розрахунках звукоізоляційних характеристик багатошарових конструкцій. Вони потрібні для компенсації ефекту резонансу в системі облицювання, що дозволяє точніше визначити вплив звукопоглинальних матеріалів на загальну звукоізоляцію.

Розрахунки систем, що містять комбінації цегли, акустичної вати і гіпсоволокнистих плит (ГКЛ), проводилися за формулами (1), (2), (3). Ці розрахунки охоплювали такі комбінації:

Система 1: Цегла 120 мм + 50 мм акустичної вати + 2 шари ГКЛ;

Система 2: Цегла 240 мм + 50 мм акустичної вати + 2 шари ГКЛ;

Система 3: Цегла 120 мм + 100 мм акустичної вати + 2 шари ГКЛ;

Вихідними даними для розрахунків було прийнято: поверхнева маса цегли товщиною 120 мм була прийнята як 200 кг/м²; поверхнева маса цегли товщиною 240 мм була прийнята як 400 кг/м²; поверхнева маса двох шарів гіпсоволокнистих плит і вати (незалежно від товщини) приймалася як 31 кг/м².

Результати розрахунків:

Отримані значення для звукоізоляції різних систем наведені в табл. 1-3. Розрахунки

Таблиця 1 – Частотна характеристика системи 1:120 мм цегла + 50 мм вата + 2 шари ГКЛ за експериментальними натурними даними

Частота, Гц	63	125	250	500	1000	2000	4000
Рівень звукоізоляції, дБ	44	48	44	52	62	67	74

Таблиця 2 – Частотна характеристика системи 2:240 мм цегла + 50 мм вата + 2 шари ГКЛ за експериментальними натурними даними

Частота, Гц	63	125	250	500	1000	2000	4000
Рівень звукоізоляції, дБ	53	57	56	63	72	76	87

Таблиця 3 – Частотна характеристика системи 3:120 мм цегла + 100 мм вата + 2 шари ГКЛ за експериментальними натурними даними

Частота, Гц	63	125	250	500	1000	2000	4000
Рівень звукоізоляції, дБ	46	50	46	55	64	69	75

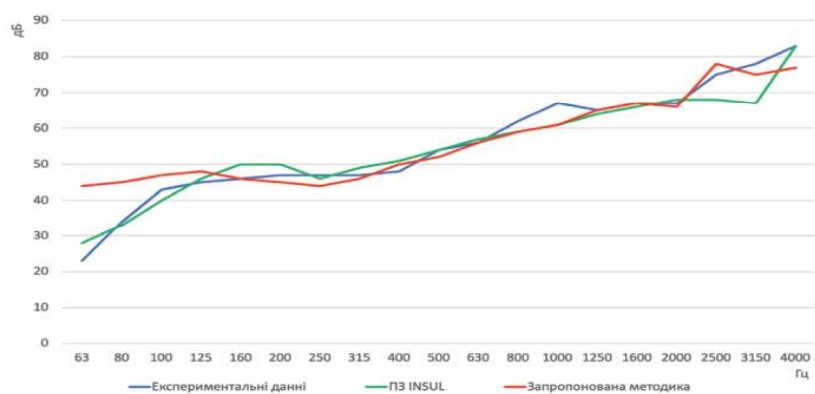


Рисунок 1 – Порівняння частотних характеристик, отриманих за допомогою ПЗ INSUL, експериментально та пропонуваним методом для системи 1

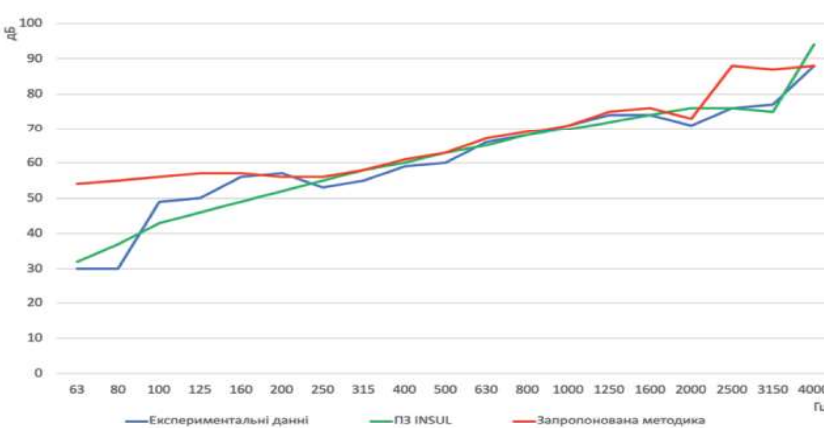


Рисунок 2 – Порівняння частотних характеристик, отриманих за допомогою ПЗ INSUL, експериментально та пропонуваним методом для системи 2

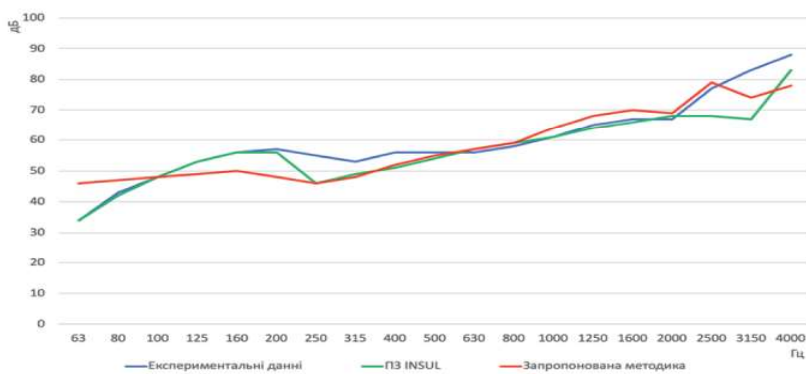


Рисунок 3 – Порівняння частотних характеристик, отриманих за допомогою ПЗ INSUL, експериментально та запропонованим методом для системи 3

проводилися в октавному спектрі частот для кращого розуміння звукоізоляційних характеристик у різних частотних діапазонах.

Цей підхід дозволяє оцінити ефективність кожної з конструкцій з точки зору її звукоізоляційних властивостей, враховуючи як масу, так і товщину матеріалів. Оскільки ефект резонансу може суттєво впливати на звукоізоляційні показники, особливо в багатошарових системах, використання логарифмічних виразів для коефіцієнтів S є важливим для отримання точних результатів.

Порівняння. На рис. 1-3 зображено частотні характеристики для системи 1, що складається з цегли 120 мм + 50 мм акустичної вати + 2 шари ГКЛ, системи 2 (цегла 240 мм + 50 мм акустичної вати + 2 шари ГКЛ), та системи 3 (цегла 120 мм + 100 мм акустичної вати + 2 шари ГКЛ), отримані трьома методами: розрахунком з використанням програмного забезпечення (ПЗ) Insul [10], з натурних експериментів [8] та розрахунком запропонованим методом [6].

ВИСНОВКИ

1. Розроблений метод розрахунку звукоізоляції є високонадійним та точним інструментом для аналізу та оцінки звукового перекриття в будівлях та конструкціях. Однією з ключових властивостей цього нового методу є її відповідність результатам натурних експериментів.
2. Запропонований метод дозволяє за фізичними та геометричними властивостями огорожувальних визначити його частотну характеристику звукопоглинання.
3. Результати порівняння розрахункових величин індексів звукоізоляції, отриманих з використанням запропонованого методу та отриманих експериментальним

шляхом, становлять +/- 3 дБ, що відповідає точності розрахунку з застосуванням програми INSUL, яка є світовим лідером в даній області.

4. Основною відмінністю та вагомим фактором коректності розробленого методу, в порівнянні з іншими, є урахування товщин, мас та щільності звукоізоляційної конструкції (див. коефіцієнти S_1 та S_2 у [7] та [8]), що дає можливість більш точно врахувати всі фізичні параметри використуваних матеріалів.

БІБЛІОГРАФІЧНИЙ СПИСОК

1. Котенко С. Г. Про акустичний комфорт малих придорожніх готелів. Системи обробки інформації. 2014. № 7. С. 32-40. URL: http://nbuv.gov.ua/UJRN/soi_2014_7_9
2. Gomperts, M. C. Kihlman, T. The Sound Transmission Loss of Circular and Slit-Shaped Apertures in Walls. Acta Acustica united with Acustica. 1967. № 18 (3). P. 144-150
3. Дідковський В.С., Луньова С.А., Богданов О.С. Архітектурна акустика. Навчальний посібник. Київ: КПІ, 2012. 78 с.
4. J. Kristensen, J.H. Rindel. Bygningsakustik. Teori og praksis. SBI-anvisning 166, Statens Byggeforskningsinstitut, SBI, Hørsholm, 1989. (Translation to English available from JHR).
5. F.Fahy. Sound and Structural Vibration Radiation. Transmission and Response, London: Academic Press, 1985. 656 p.
6. Біда Д.В. Методи розрахунку звукоізоляції багатошарових конструкцій: дис. д-ра філософії в галузі фіз.-мат. наук: 171. Київ, 2024. 147 с.
7. ДСТУ-Н Б В.1.1-34:2013. Настанова з розрахунку та проектування звукоізоляції огорожувальних конструкцій житлових і громадських будинків. Київ: Мінрегіон України, 2014. 92 с.
8. ISO 16283-1:2014. Acoustics. Field measurement of sound insulation in buildings and of building elements. Part 1: Airborne sound insulation. Geneva: ISO, 2014. 15 p.
9. Rasmussen B. Sound insulation between dwellings. Requirements in building regulations in Europe. Applied Acoustics. 2010. № 71 (4). P. 373-385.
10. Predict transmission loss, impact sound, and rain noise. Available at: <http://www.insul.co.nz/features/> Дата звернення: 4.09.2024



REFERENCES

1. Kotenko, S. G. (2014). On the acoustic comfort of small roadside hotels. *Information Processing Systems*, (7), 32-40.
2. Gomperts, M. C., & Kihlman, T. (1967). The sound transmission loss of circular and slit-shaped apertures in walls. *Acta Acustica united with Acustica*, 18(3), 144-150.
3. Didkovskiy, V. S., Luniova, S. A., & Bohdanov, O. S. (2012). *Architectural acoustics*. Kyiv: KPI.
4. Kristensen, J., & Rindel, J. H. (1989). *Bygningsakustik. Teori og praksis [Building acoustics: Theory and practice]*. Hørsholm: Statens Byggeforskningsinstitut (SBI). (Translation to English available from JHR).
5. Fahy, F. (1985). *Sound and structural vibration: Radiation, transmission, and response*. London: Academic Press.
6. Bida, D. V. (2024). *Methods for calculating soundproofing of multilayered structures*. (Doctoral dissertation). Kyiv.
7. DSTU-NBV.1.1-34:2013. (2014). *Guidelines for the calculation and design of soundproofing for enclosure structures in residential and public buildings*. Kyiv: Minrehion Ukrainy.
8. ISO 16283-1:2014. (2014). *Acoustics: Field measurement of sound insulation in buildings and of building elements. Part 1: Airborne sound insulation*. Geneva: ISO.
9. Rasmussen, B. (2010). Sound insulation between dwellings: Requirements in building regulations in Europe. *Applied Acoustics*, 71(4), 373-385.
10. Predict transmission loss, impact sound, and rain noise. (2024). Retrieved from <http://www.insul.co.nz/features/>

Стаття надійшла до редакції 5.08.2024



Doi: <https://doi.org/10.33644/2313-6679-3-2024-7>

УДК 624.04/.07:658.5:692



КИРИША Р.О.

Канд. техн. наук, старший науковий співробітник відділу економічних досліджень будівельного ринку та ціноутворення, ДП «Державний науково-дослідний інститут будівельних конструкцій», м. Київ,
тел.: +38 (097) 890 28 55,
e-mail: kyrysha@ndibk.gov.ua,
ORCID: 0009-0005-9951-1445.

ОСОБЛИВОСТІ РОЗРОБКИ ІНВЕСТИТОРСЬКОЇ КОШТОРИСНОЇ ДОКУМЕНТАЦІЇ ПРИ АВАРІЙНО-ВІДНОВЛЮВАЛЬНИХ РОБОТАХ ЖИТЛОВИХ БАГАТОКВАРТИРНИХ БУДИНКІВ, ПОШКОДЖЕНИХ В РЕЗУЛЬТАТІ ВІЙСЬКОВИХ ДІЙ, НА ПРИКЛАДІ РЕАЛІЗОВАНИХ ПРОЄКТІВ З ВІДНОВЛЮВАЛЬНИХ РОБІТ м. ЧЕРНІГОВА В 2022 РОЦІ

АНОТАЦІЯ

Державне підприємство «Державний науково-дослідний інститут будівельних конструкцій» (ДП НДІБК), будучи провідною організацією України з обстежень будівель та споруд, зокрема активно брало участь у обстеженні пошкоджених внаслідок збройної агресії росії житлових будинків в місті Чернігів. В статті розглянуто нормативно-правові аспекти та особливості розробки проєктів будівництва з капітального ремонту об'єктів, пошкоджених в результаті воєнних дій, у складі дефектного акта, пояснювальної записки та кошторисної документації на підставі звіту за результатами обстеження. Також зроблений аналіз техніко-економічних показників проєктів відновлення залежно від конструктивних особливостей будівель, категорії пошкоджень та категорії технічного стану.

Стаття підтверджує доцільність розгляду можливості оптимізації щодо можливості групування декількох об'єктів відновлення з різними адресами за різними ознаками (географічна близькість, аналогічні види робіт тощо) з наступним розробленням проєктної документації і вибору підрядної організації саме на групу об'єктів. Це дозволить оптимізувати бюрократичне наван-

таження, і оптимізувати витрати внаслідок зниження собівартості будівельного виробництва зменшення частини загальновиробничих витрат будівельного підприємства.

Також, враховуючи масштаби пошкоджень, розробка ресурсних елементних кошторисних норм на роботи з відновлення є актуальним завданням. Так як неефективне застосування існуючих розцінок, які не завжди точно відображають склад робіт, може призвести до завищення трудомісткості робіт, що прямопропорційно вплине на збільшення їх вартості.

КЛЮЧОВІ СЛОВА: проєктна документація, інвесторська кошторисна документація, капітальний ремонт, дефектний акт, категорія пошкоджень, аварійно-відновлювальні роботи

FEATURES OF DEVELOPING INVESTOR COST ESTIMATION DOCUMENTATION FOR EMERGENCY RESTORATION WORKS ON RESIDENTIAL APARTMENT BUILDINGS DAMAGED AS A RESULT OF MILITARY ACTIONS BASED ON EXAMPLES OF RESTORATION PROJECTS IMPLEMENTED IN THE CITY OF CHERNIHIV IN 2022



ABSTRACT

The State Research Institute of Building Structures, being the leading organization of Ukraine for surveying buildings and structures, including actively participated in the inspection of residential buildings in the city of Chernihiv damaged as a result of Russia's armed aggression. The article examines the regulatory and legal aspects and features of the development of construction projects for the capital repair of objects damaged as a result of military actions, as part of a defect report, an explanatory note and estimate documentation based on a report based on the results of the survey. An analysis of the technical and economic indicators of restoration projects was also made depending on the structural features of the buildings, the category of damage and the category of technical condition.

The article confirms the advisability of considering the possibility of optimizing the grouping of several restoration objects with different addresses based on various criteria (geographical proximity, similar types of work, etc.), followed by the development of project documentation and the selection of a contractor specifically for the group of objects. This will allow for the optimization of bureaucratic workload and cost reduction by lowering the cost of construction production due to a decrease in the overall production costs of the construction enterprise.

Additionally, given the scale of the damage, the development of resource-based elemental cost norms for restoration work is a relevant task. The ineffective application of existing rates, which do not always accurately reflect the complexity of the work, may lead to an overestimation of labor intensity, which will directly impact the increase in their cost

KEYWORDS: project documentation, investor estimate documentation, capital repair, defective certificate, damage category, emergency restoration works

ВСТУП

У зв'язку з широкомасштабною збройною агресією російської федерації проти України перед українцями постало багато викликів, які нам потрібно долати. Пошкодження внаслідок воєнних дій об'єктів інфраструктури, житлового фонду, споруд комерційного призначення були і є тими наслідками війни, які виникли з перших її днів. Особливо гостро постало питання можливої подальшої експлуатації пошкодженого житла. ДП НДІБК, будучи базовою організацією у будівництві та маючи значний досвід та відповідних спеціалістів з оцінки технічного стану та експлуатаційної придатності конструкцій будівель і споруд і розуміючи соціальну важливість даного напрямку відновлення, включився в роботу по обстеженню перш за все пошкодженого житлового фонду з перших днів деокупації регіонів Київщини та Чернігівщини.

В багатьох випадках ставилось завдання якомога оперативнішої розробки як самих звітів з обстеження, так і технічних рішень з протиаварійного

підсилення конструкцій, які ставали складовими частинами тих же звітів. Одночасно замовники займались організацією фінансування робіт з відновлення. І, відповідно, постало питання проєктної документації, зокрема і інвесторського кошторису, і позитивного експертного звіту, як підстави для затвердження проєктів. Оперативні дії уряду, в т.ч. прийняття Постанови КМУ від 19 квітня 2022 р. № 470 «Зміни до Порядку затвердження проєктів будівництва і проведення їх експертизи» дали можливість спростити та прискорити процес проєктування, а саме: під час дії воєнного стану розроблення проєктів будівництва з капітального ремонту об'єктів (незалежно від класу наслідків (відповідальності)), пошкоджених в результаті воєнних дій, допускається, відповідно до Постанови, здійснювати у складі дефектного акта, у якому визначаються фізичні обсяги робіт, пояснювальної записки, в якій зазначаються умови виконання робіт, та кошторисної документації на підставі звіту за результатами обстеження, розробленого відповідно до Порядку проведення обстеження прийнятих в експлуатацію об'єктів будівництва, затвердженого постановою Кабінету Міністрів України від 12 квітня 2017 р. № 257 (Офіційний вісник України, 2017 р., № 33, ст. 1045).

В даній статі проаналізовані проєкти в частині кошторисної документації на відновлювальні роботи (капітальний ремонт (аварійно-відновлювальні роботи) житлових будинків, пошкоджених в результаті військових дій), які виконані згідно з даними рекомендаціями.

АНАЛІЗ ОСТАННІХ ДОСЛІДЖЕНЬ І ПУБЛІКАЦІЙ

Участь наукових та академічних організацій у відбудові сприяла висвітленню даної проблематики в наукових публікаціях. Значна їх частина присвячена особливостям обстеження пошкоджених в результаті військових дій будівель та споруд [1-5]. Одним з основних показників при будівельних роботах, зокрема і при аварійно-відновлювальних в межах поточного чи капітального ремонтів, реконструкції та реставрації, є кошторисна вартість робіт. Визначити її можливо в межах саме проєктних робіт. Так, автори [6] розглядають проблематику розроблення спрощених проєктів капітального ремонту при аварійно-відновлювальних роботах при пошкодженні будівель та споруд в результаті військових дій відповідно з внесеними змінами до нормативної бази [7]. Узагальнення обсягу відновлення основних фондів, пошкоджених в результаті бойових дій в Україні, приведені авторами [8], свідчить про глобальні масштаби робіт, які належить виконати. В розрізі цього аналіз вже існуючої практики, змін в нормативній базі і їх практичне застосування [9, 10] дадуть можливість оптимізації процесів відновлення. Хоча слід зазначити, що питання виконання проєктних



робіт з відновлення основних фондів, пошкоджених в результаті воєнних дій, розкриті недостатньо. Особливої уваги потребує саме кошторисна документація проєкту, оскільки ціна реалізації робіт з відновлення є чи не головним критерієм доцільності їх реалізації.

ПОСТАНОВКА ЗАВДАННЯ

Метою даної статі є узагальнення досвіду реалізації проєктних робіт, а саме розробки інвесторської кошторисної документації, при аварійно-відновлювальних роботах житлових багатоквартирних будинків, пошкоджених в результаті військових дій, на прикладі реалізованих ДП НДІБК проєктів з відновлювальних робіт м. Чернігова в 2022 році.

ВИКЛАД ОСНОВНОГО МАТЕРІАЛУ

Місто Чернігів на початковому етапі вторгнення російської федерації 2022 року зазнало значних пошкоджень, особливо житлова забудова. Після деокупації Чернігівщини (весна 2022 року) місто почало відновлюватись. Зокрема, почались активні роботи з обстеження будівель та споруд. Початок будівельних робіт потребував виділення фінансування, що, в свою чергу, залежало від затвердження проєктів, в т.ч. зведених кошторисних розрахунків. В результаті прийняття урядом Постанови від 19 квітня 2022р. № 470 «Про внесення змін до Порядку затвердження проєктів будівництва і проведення їх експертизи» було надано можливість спрощення розробки проєктів будівництва з капітального ремонту об'єктів, пошкоджених в результаті воєнних дій, що дозволить скоротити їх склад до дефектного акта, пояснювальної записки та кошторисної документації на підставі звіту за результатами обстеження. Але з приміткою, що рішення щодо обсягу проєктної документації (щодо можливості розроблення проєкту будівництва у складі дефектного акта, пояснювальної записки та кошторисної документації (надалі – спрощений проєкт (авторське скорочення)) приймається головним архітектором проєкту та/або головним інженером проєкту за погодженням із замовником, що зазначається у завданні на проєкування. Також слід зазначити, що вже були внесені зміни до «Порядку розроблення проєктної документації на будівництво об'єктів», затвердженого наказом Міністерства регіонального розвитку, будівництва та житлово-комунального господарства України від 16 травня 2011 року № 45 згідно з Наказом Міністерства розвитку громад та територій № 343 від 21.12.2021, що зареєстровано Міністерством юстиції України 11 лютого 2022 р. за № 194/37530, згідно з яким головним інженером проєкту не міг бути інженер, який має кваліфікаційний сертифікат інженера-проектувальника з кошторисної документації. Так, виходячи зі змін до нормативної бази, спрощені

проєкти вимагали як мінімум двох сертифікованих інженерів-проектувальників, а саме в кошторисній частині та того, який мав право бути ГПом (головним інженером проєкту) та/або ГАПом (головним архітектором проєкту).

Внаслідок того, що до робіт з обстеження ДП НДІБК, маючи в своєму штаті також і сертифікованих інженерів-проектувальників, яких активно залучали до робіт з обстеження, склалися передумови щодо можливості оперативного та з мінімальними затратами (а значить і з низькою ціною для замовника) розроблення проєктів будівництва у складі дефектного акта, пояснювальної записки та кошторисної документації, так як дані спеціалісти і виїжджали на об'єкти, і брали участь в підготовці конструктивних рішень підсилення окремих будівельних конструкцій та обґрунтуванні рекомендації щодо їх відновлення.

Так, між ДП НДІБК та Замовниками було укладено ряд договорів на виконання спрощених проєктів на капітальні ремонти для аварійно-відновлювальних робіт житлових багатоквартирних будинків. Об'єкти проєкування вибирались ті, міцність та стійкість будівлі яких в цілому, окрім локальних ділянок, забезпечена, а основна увага в дефектних актах приділялась відновленню пошкоджених несучих та огорожувальних конструкцій та інших рішень згідно зі Звітом про обстеження об'єкта у зв'язку з пошкодженням внаслідок позапроєктних впливів (пожежі, стихійного лиха, аварії, воєнних дій або терористичних актів).

Розробляючи дефектний акт на основі звіту за результатами обстеження, розробленого відповідно до Порядку проведення обстеження прийнятих в експлуатацію об'єктів будівництва, затвердженого постановою Кабінету Міністрів України від 12 квітня 2017 р. № 257 (Офіційний вісник України, 2017 р., № 33, ст. 1045), фахівці ДП НДІБК стикнулись з труднощами щодо недостатньої деталізації в звіті технічних рішень з відновлення експлуатаційної придатності об'єкта. Так як сам звіт по суті не має містити робочої документації, а при одностадійному проєкуванні передбачено випуск локальних кошторисів з конкретними обсягами робіт, з деталізацією, яка дозволить виконання робіт, доводилось в процесі проєкування доповнювати звіти робочими кресленнями з деталізацією, достатньою для вибору розцінки та визначення обсягу робіт. Слід зазначити, що формування дефектного акта, у якому визначаються фізичні обсяги робіт, значно спрощувалось і пришвидшувалось коли до даної роботи долучались інженери-проектувальники, які в т.ч. брали участь в обстеженні того чи іншого об'єкта.

Також серед труднощів при складанні інвесторської кошторисної документації слід окремо виділити проблемність підбору тої чи іншої розцінки під певний вид роботи. Адже ресурсні елементні кошторисні норми на ремонтно-будівельні роботи,



ресурсні елементні кошторисні норми на будівельні роботи Збірник 46 «Роботи при реконструкції будівель та споруд» переважно містять роботи, які виникають внаслідок фізичного старіння будівель і споруд. Пошкодження різних конструкцій внаслідок дії зовнішніх та внутрішніх вибухів, при чому різної проникаючої та руйнівної дії, створює велику варіативність прийнятих технічних рішень з відновлення, технологія реалізації яких не завж-

ди точно відображена в складі робіт ресурсних елементних кошторисних норм.

В даній статті розглянемо ряд об'єктів згідно з табл. 1.

ІНТЕРПРЕТАЦІЯ РЕЗУЛЬТАТІВ ТА ЇХ АПРОБАЦІЯ

Розподілення об'єктів по території м. Чернігова представлено на рис. 1

Таблиця 1 – Об'єкти проектування з їх техніко-економічними характеристиками

№ п/п	Показники згідно зі ЗВІТами про детальне обстеження житлового будинку, який пошкоджено внаслідок військових дій					Показники інвесторської кошторисної документації					
	Конструктивна схема будівлі	Поверховість	Площа загальна, всього будинку, м ²	Категорія технічного стану (згідно з [11])	Категорія пошкоджень (згідно з [12])	Вартість згідно зі зведеним кошторисним розрахунком тис. грн, в т.ч. ПДВ	Кошторисна вартість будівельних робіт, тис.грн без ПДВ		Інших витрат, тис.грн., в т.ч. ПДВ	Кошторисна трудомісткість, люд.год	Середній розряд робіт
							всього	в т.ч. матеріали			
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
1	Безкаркасна з несучими поздовжніми цегляними стінами	5	2 034,0	3	2	208,537	132,635	87,965	75,902	251,16	3,3
2	Безкаркасна система з несучими поздовжніми та поперечними цегляними стінами	5	4 575,5	4	2	255,150	176,114	79,988	79,036	651,48	3,3
3	Жорстка безкаркасна система з несучими поперечними та поздовжніми стінами на які опираються плити перекриття по контуру	5	4 792,6	3	2	496,638	367,259	188,458	129,379	1 052,33	3,3
4	Жорстка безкаркасна система з несучими поперечними та поздовжніми стінами, на які опираються по контуру плити перекриття	5	3 801,3	4	2	310,771	218,192	151,597	92,579	374,99	3,6
5	Жорстка безкаркасна система з несучими поперечними та поздовжніми стінами, на які опираються плити перекриття по контуру	5	3572,9	3	2	450,813	328,645	189,547	122,168	843,20	3,7
6	Поздовжні несучі цегляні стіни розкріпленням в поперечному напрямку стінами сходової клітини	9	6 600,0	3	2	210,030	140,218	77,233	69,812	408,52	3,2
7	Безкаркасна, в якій панелі зовнішніх і внутрішніх стін сприймають все навантаження, що діє на будівлю	9	4 742,1	4	2	281,030	193,626	107,093	87,404	515,65	3,4
8	Жорстка безкаркасна система з несучими поперечними та поздовжніми стінами, на які опираються по контуру плити перекриття	9	3 793,2	3	2	135,228	81,707	46,221	53,521	216,76	3,1
9	Будівля жорсткої безкаркасної системи з несучими поперечними та поздовжніми стінами, на які опираються плити перекриття по контуру	5	2 700,0	3	2	403,160	297,624	176,005	105,536	630,12	3,5
10	Будівля жорсткої безкаркасної системи з несучими поперечними та поздовжніми стінами, на які опираються плити перекриття по контуру	5	2 700,0	3	2	168,583	107,141	59,307	61,442	267,50	3,2



1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
11	Жорстка великопанельна безкаркасна з поперечними та поздовжніми несучими стінами серії АППС ЧН-94	8	8 962,5	3	1	272,549	186,070	80,695	86,479	653,57	3,1
12	Жорстка великопанельна безкаркасна з трьома поздовжніми несучими стінами (дві зовнішні, одна внутрішня) та поперечними несучими стінами – перегородками	5	7 569,1	3	1	289,274	205,461	96,230	83,813	674,46	4,0
13	Жорстка великопанельна безкаркасна з трьома поздовжніми несучими стінами (дві зовнішні, одна внутрішня) та поперечними несучими стінами – перегородками	5	7 547,8	3	1	470,812	351,468	196,976	119,344	931,27	4,1
14	Безкаркасна стінова, цегляні стіни	2	880,0	4	2	679,063	509,772	271,086	169,291	1 530,06	3,2
15	Безкаркасна, перехресно-стінова – основними несучими елементами будинку служать крупнопанельні залізобетонні стіни, на які спираються залізобетонні плити перекриття	5	4 417,0	4	2	251,658	175,237	88,451	76,421	565,16	3,2
16	Безкаркасна, перехресно-стінова. Основними несучими елементами будинку служать крупнопанельні залізобетонні стіни, на які спираються залізобетонні плити перекриття	5	4 384,0	2	2	75,079	24,740	10,417	50,339	100,22	2,7
17	За «жорсткою» конструктивною схемою з несучими поздовжніми цегляними стінами та стінами сходових кліток	9	6 004,9	4	2	183,544	118,727	57,016	64,817	405,99	3,3
18	Стінова панельна з поперечними та поздовжніми несучими стінами	9	10 559,8	4	2	327,437	234,295	111,239	93,142	726,89	3,3
19	Безкаркасна, з несучими поздовжніми цегляними стінами, стінами сходових кліток	5	3 844,5	4	2	233,272	159,346	100,243	73,926	365,89	3,3



Рисунок 1 – Схема розміщення житлових багатоквартирних будинків, пошкоджених в результаті військових дій і відібраних для розроблення спрощених проєктів капітального ремонту при аварійно-відновлювальних роботах

Як бачимо з рис. 1, географія пошкоджених об'єктів є нерівномірною, з вираженими скупченнями. Самі ж вартості будівельних робіт є порівняно невеликими (усереднене значення вартості будівельних робіт по об'єкту) згідно з табл. 1, – 300,1 тис. грн з ПДВ). Попередній аналіз розташування об'єктів, їх групування за даним показником може бути використане для вибору в подальшому підрядника не на окремий об'єкт, а на їх групу. Це дозволить підряднику скоротити свої загальновиборничі та заготівельно-складські витрати внаслідок влаштування одного побутового містечка, скорочення витрат на



доставку працівників на об'єкт, влаштування одного приоб'єктного складу для групи об'єктів. Це, в свою чергу, прискорить темпи будівельного виробництва і знизить його собівартість.

Згідно з рис. 2 коефіцієнт детермінації становить 0,0172, а коефіцієнт кореляції між загальною площею житлового будинку та вартістю відновлювальних робіт, згідно зі зведеним кошторисним розрахунком, становить -0,13, що свідчить про відсутність кореляційного зв'язку.

Також слід зазначити, що величина площі житлового будинку безпосередньо впливає на, а зазвичай і визначає, клас наслідків будинку. З чого випливає, що класифікація пошкоджених житлових будинків, як об'єктів будівництва згідно з класами наслідків, також не дає загального уявлення про ступінь можливого їх пошкодження.

З діаграми (рис. 3) ми бачимо, що розподіли об'єктів відновлення відповідно до приналежності до категорії технічного стану [11] та категорії пошкоджень [12] в розрізі кількості об'єктів та ціни відновлення, є співрозмірними в процентному відношенні. Так, різниця між долями діаграми, що відображає кількісний розподіл, та долями

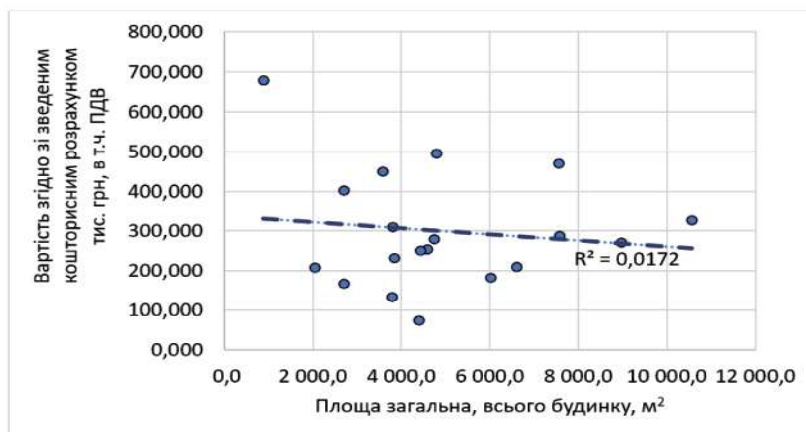


Рисунок 2 – Залежність вартості відновлення житлових багатоквартирних будинків від їхньої загальної площі (згідно з даними таблиці 1)

діаграми, що відображає вартісний розподіл, становить до 2 %, що, враховуючи долю величин в процентному відображенні, дає різницю до 12 % (табл. 2), якщо не враховувати п.16, який випадає з загальної тенденції і є в одиничному повторенні.

Так, більшість об'єктів відновлень відносяться до 2 категорії пошкоджень та 2, 3 категорій технічного стану. Також слід зазначити, що не дивлячись, що є 5 % об'єктів 4 категорії технічного стану, вони становлять всього 1 % відносно вартості відновлень.

Щодо залежності показників інвесторської

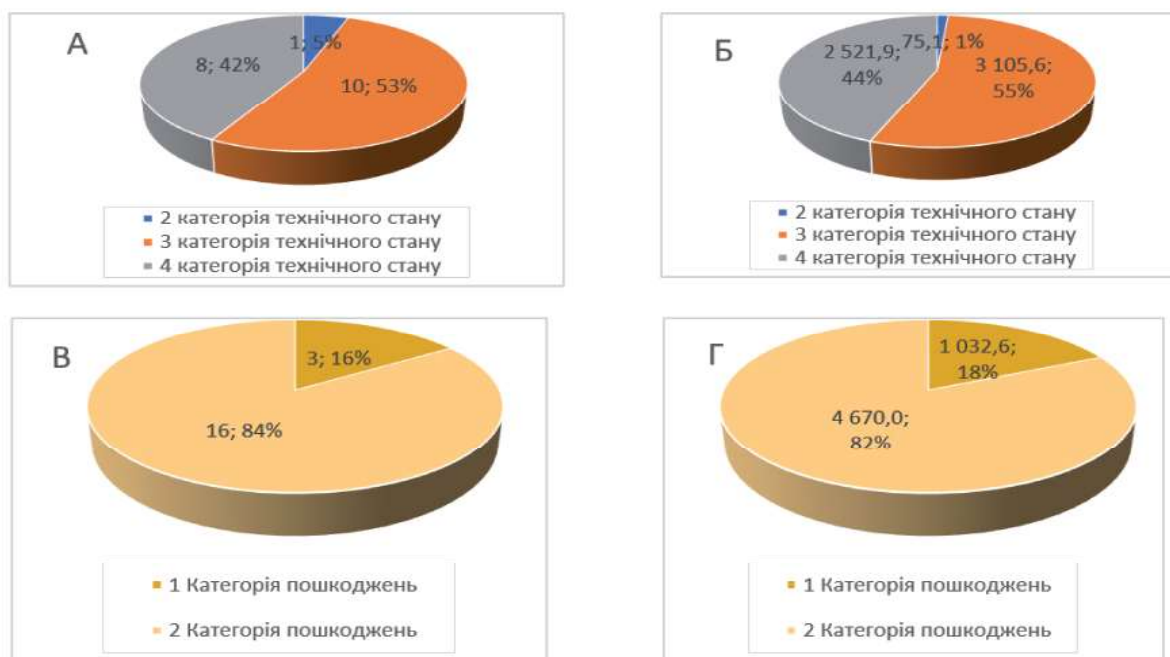


Рисунок 3 – Секторні діаграми розподілу об'єктів відновлення (згідно з даними табл. 1) залежно від кількості об'єктів (діаграми А, В) та вартості робіт згідно зі зведеним кошторисним розрахунком, тис. грн, в т.ч. ПДВ (діаграми Б, Г) в розрізі категорії технічного стану [11] (діаграми А, Б) та категорії пошкоджень [12] (діаграми В, Г))



Таблиця 2 – Розподіл об'єктів Таблиці 1 згідно з категоріями технічного стану та категоріями пошкоджень

Приналежність об'єкта згідно з:	Розподіл об'єктів			Відношення різниці до середньоарифметичної долі розподілу об'єктів	
	% по кількості	% по вартості	різниця		
Категорією технічного стану [11]	2	42	44	2	5%
	3	53	55	2	4%
	4	5	1	-4	-133%
Категорією пошкоджень [12]	1	16	18	2	12%
	2	84	82	-2	-2%

кошторисної документації від трудомісткості робіт (рис. 4) спостерігаємо сильний кореляційний зв'язок для вартісних показників: для вартості всього по кошторисному розрахунку (коефіцієнт кореляції 0,95; коефіцієнт детермінації 0,8995); для вартості будівельних робіт (коефіцієнт кореляції 0,95; коефіцієнт детермінації 0,8996); для вартості матеріалів (коефіцієнт кореляції 0,86; коефіцієнт детермінації 0,7471); вартості інших робіт (коефіцієнт кореляції 0,94; коефіцієнт детермінації 0,8865). Тому, на нашу думку, саме зменшення нормативної трудомісткості робіт прямопропорційно вплине на зменшення кошторисної вартості робіт з відновлення.

Також слід зазначити, що інженери-проектувальники в частині кошторисної документації можуть стикатися з труднощами підбору розцінок для певного технологічного процесу при відновленні конструкцій внаслідок воєнних дій через те, що збірники, які є в нормативній базі на ремонт чи реконструкцію, передбачають ремонтно-будівельні роботи внаслідок фізичного старіння конструкцій, які виникають внаслідок бойових дій, є в значній частині неповторювані в межах одного будинку і вимагають прийняття унікальних технологічних рішень з відновлення. Одним з рішень для оптимізації створення інвесторської кошторисної документації була б розробка в складі проекту індивідуальних ресурсних елементних кошторисних норм. Але це призведе до здорожчання проектних робіт, збільшить час на їх виконання та на проходження експертизи проекту в кошторисній частині. До того ж це може призвести до перезавантаження експертних організацій, які, як і більшість галузі, відчувають кадровий голод.

Також слід зазначити, що значна частина робіт з відновлення відбувається із залученням бюджетних коштів, коштів державних і комунальних підприємств, уста-

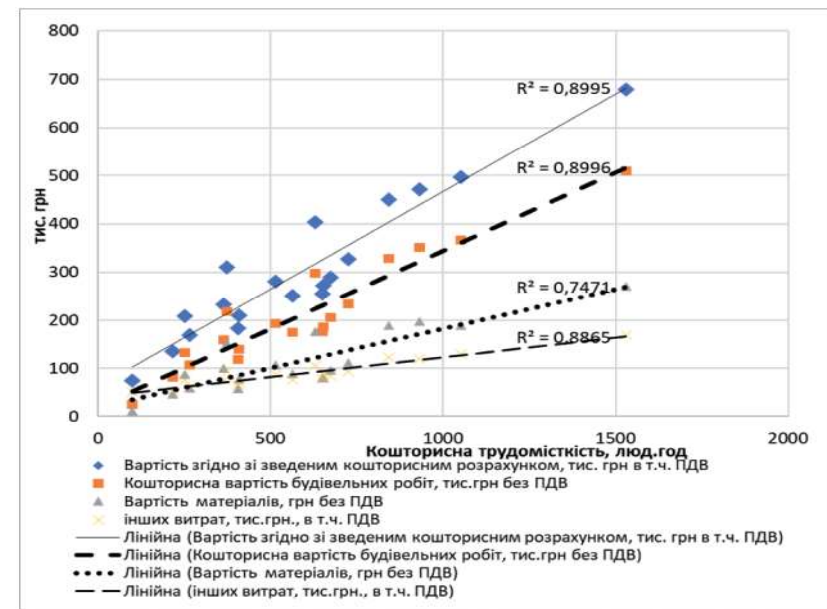


Рисунок 4 – Графік залежності показників інвесторської кошторисної документації від трудомісткості робіт

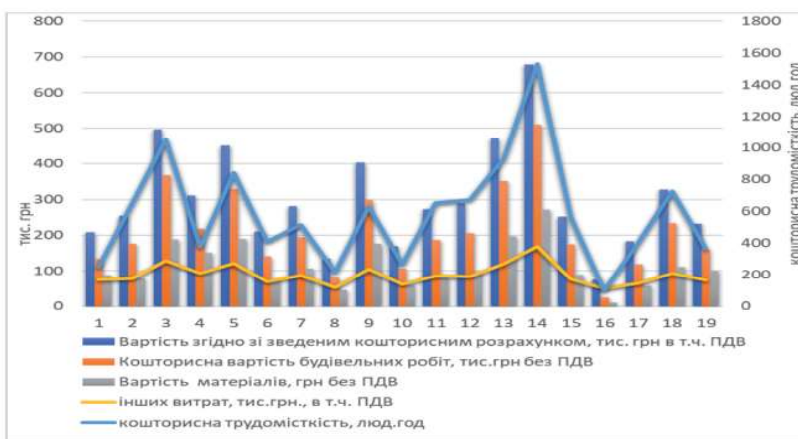


Рисунок 5 – Діаграма показників інвесторської кошторисної документації в розрізі об'єктів згідно з таблицею 1



нов та організацій, а також кредитів, наданих під державні гарантії. Тому розробка уніфікованих спеціальних ресурсних елементних кошторисних норм, які відображали б основні будівельно-ремонтні роботи з відновлення пошкоджених конструкцій внаслідок воєнних дій, стало б елементом їх оптимізації, зокрема через зниження нормативної трудомісткості робіт за рахунок уточненого складу робіт в ресурсній нормі.

ВИСНОВКИ ТА ПЕРСПЕКТИВИ ПОДАЛЬШИХ РОЗРОБОК

Складання кошторисів для капітального ремонту житлових будинків, пошкоджених внаслідок військових дій в Україні, є надзвичайно складним і багатогранним процесом, що потребує детального аналізу і ретельного планування. Складність полягає у тому, що пошкодження можуть бути різного типу та масштабу, що ускладнює оцінку витрат на відновлення. Нами були розглянуті показники інвесторської кошторисної документації 19 проєктів капітального ремонту з відновлювальних робіт після бойових дій в багатоквартирних житлових будинках м. Чернігова (рис. 5). Ці проєкти були реалізовані в 2022 році і здійснювались у складі дефектного акта, у якому визначались фізичні обсяги робіт, пояснювальної записки та кошторисної документації на підставі звіту за результатами обстеження.

Хоча спрощений порядок розробки проєктної документації для пошкоджених війною об'єктів і пришвидшує роботу над самим проєктом, він виставляє додаткові вимоги щодо розробки звітів з технічних обстежень. Так, в звітах особливу увагу та ретельність потрібно приділяти опису дефектів і пошкоджень та деталізації технічних рішень з посилення конструкції, так як в т.ч. на основі цих даних буде формуватися дефектний акт та інвесторська кошторисна документація, як його похідна. На нашу думку, попереднє виділення замовниками об'єктів капітального ремонту, які будуть попадати під спрощену проєктну документацію, доцільно на стадії розроблення технічного завдання на обстеження технічного стану об'єкта, з обов'язковим про це записом в технічному завданні. Але питання критеріїв такого відбору залишається відкритим і потребує подальшого вивчення.

Доцільно також розглянути можливість оптимізації щодо можливості групування декількох об'єктів відновлення з різними адресами за різними ознаками (географічна близькість, аналогічні види робіт тощо) з наступним розробленням проєктної документації і вибором підрядної організації саме на групу об'єктів. Це дозволить і оптимізувати бюрократичне навантаження, і оптимізувати витрати внаслідок зниження собівартості будівельного виробництва зменшення частини загальновиборничих витрат будівельного підприємства.

Також, враховуючи масштаби пошкоджень, на нашу думку розробка ресурсних елементних кошторисних норм на роботи з відновлення є актуальним завданням. Так як неефективне застосування існуючих розцінок, які не завжди точно відображають склад робіт, може призвести до завищення трудомісткості робіт, що прямопропорційно вплине на збільшення їх вартості.

БІБЛІОГРАФІЧНИЙ СПИСОК

1. Фаренюк Г.Г., Немчинов Ю.І., Белоконь О.Л., Мар'єнков М.Г., Богдан Д.В., Бабік К.М., Байтала Х.З. Оцінка стану будівель і споруд вібродинамічним методом після військових пошкоджень. Наука та будівництво. Київ, 2022. № 2 (32). С. 3-18.
2. Сергійчук В.А., Табаркевич Н.В., Белоконь А.М., Табаркевич О.О. Особливості обстеження та оцінки технічного стану житлового будинку, пошкодженого внаслідок військових дій, щодо його придатності до подальшої експлуатації. Наука та будівництво. Київ, 2023. № 1 (35). С. 27-42.
3. Слюсаренко Ю.С., Мелашенко Ю.Б., Іщенко Ю.І., Павлюк Є.О. Досвід обстеження панельних будинків, пошкоджених внаслідок бойових дій. Наука та будівництво. Київ, 2023. № 2 (36). С. 41-50.
4. Яковенко М.С. Щодо питань геодезичного обстеження будівель, що постраждали внаслідок воєнної агресії російської федерації. Наука та будівництво. Київ, 2022. № 3-4 (33-34). С. 41-50.
5. Менейлюк О.І., Менейлюк І.О., Руссий В.В. Дослідження стану будівель та споруд пошкоджених внаслідок воєнних дій. Будівельне виробництво. Київ, 2023. № 75. С. 17-26.
6. Фаренюк Г.Г., Рубан Ю.Я., Любченко І.Г. Обстеження та аварійно-відновлювальні роботи на об'єктах, які зазнали пошкодження внаслідок збройної агресії Російської Федерації. Наука та будівництво. Київ, 2022. № 3-4 (33-34). С. 49-54.
7. Про внесення змін до Порядку затвердження проєктів будівництва і проведення їх експертизи: Постанова Кабінету Міністрів України від 19 квітня 2022р. № 470. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/470-2022-%D0%BF#Text> (дата звернення 30.09.2024).
8. Джалалов М.Н., Бутнік С.В., Говоруха І.В. Аналіз прямих витрат та завдань відновлення основних фондів, пошкоджених у результаті бойових дій в Україні. Будівельне виробництво. Київ, 2022. № 74. С. 25-29.
9. Сергійчук В.А., Табаркевич О.О., Табаркевич Н.В. Відновлення пошкоджених обстрілами житлових будинків Чернігів-



щини. Наука та будівництво. Київ, 2023. № 3 (37). С. 63-70.

10. Симонов С.І., Гаркуша В.С., Пузачова А.С., Годун Т.М., Сергієнко Ю.В. Післявоєнна відбудова Маріуполя за допомогою BIM-технологій на прикладі «Приазовського державного технічного університету. Нові технології в будівництві. Київ, 2023. № 43. С. 57-59.
11. ДСТУ-Н Б В.1.2-18:2016. Настанова щодо обстеження будівель і споруд для визначення та оцінки їх технічного стану. Київ: ДП «УкрНДНЦ», 2017. 47 с.
12. Про затвердження Методики проведення обстеження та оформлення його результатів: наказ Міністерства розвитку громад та територій України від 06 серпня 2022 р. № 144. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/z0898-22#Text> (дата звернення 30.09.2024).

REFERENCES

1. Farenjuk, H.H., Nemchynov, Yu.I., Belokon, O.L., Maryenkov, M.H., Bohdan, D.V., Babik, K.M., & Baitala, Kh.Z. (2022). Assessment of the condition of buildings and structures by the vibrodynamic method after military damage. *Science and Construction*, 2(32), 3-18. Kyiv.
2. Serhiychuk, V.A., Tabarkevych, N.V., Belokon, A.M., & Tabarkevych, O.O. (2023). Features of inspection and assessment of the technical condition of a residential building damaged by military actions regarding its suitability for further operation. *Science and Construction*, 1(35), 27-42. Kyiv.
3. Slyusarenko, Yu.S., Melashenko, Yu.B., Ishchenko, Yu.I., & Pavlyuk, Ye.O. (2023). Experience of inspecting panel buildings damaged by military actions. *Science and Construction*, 2(36), 41-50. Kyiv.
4. Yakovenko, M.S. (2022). Regarding the issues of geodetic inspection of buildings damaged due to the military aggression of the Russian Federation. *Science and Construction*, 3-4(33-34), 41-50. Kyiv.
5. Meneilyuk, O.I., Meneilyuk, I.O., & Russyy, V.V. (2023). Research on the condition of buildings and structures damaged by military actions. *Construction Production*, 75, 17-26. Kyiv.
6. Farenjuk, H.H., Ruban, Yu.Ya., & Lyubchenko, I.H. (2022). Inspection and emergency restoration works on objects damaged by the armed aggression of the Russian Federation. *Science and Construction*, 3-4(33-34), 49-54. Kyiv.
7. Cabinet of Ministers of Ukraine. (2022, April 19). On amendments to the Procedure for approving construction projects and conducting

- their expertise: Resolution No. 470. Retrieved from <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/470-2022-%D0%BF#Text> (accessed on 30.09.2024).
8. Djalalov, M.N., Butnik, S.V., & Hovorukha, I.V. (2022). Analysis of direct losses and restoration tasks of fixed assets damaged as a result of hostilities in Ukraine. *Construction Production*, 74, 25-29. Kyiv.
9. Serhiychuk, V.A., Tabarkevych, O.O., & Tabarkevych, N.V. (2023). Restoration of residential buildings in Chernihiv damaged by shelling. *Science and Construction*, 3(37), 63-70. Kyiv.
10. Symonov, S.I., Harkusha, V.S., Puzachova, A.S., Hodun, T.M., & Serhiyenko, Yu.V. (2023). Post-war reconstruction of Mariupol using BIM technologies: The case of Pryazovskyi State Technical University. *New Technologies in Construction*, 43, 57-59. Kyiv.
11. DSTU-N B V.1.2-18:2016. (2017). Guidelines for the inspection of buildings and structures to determine and assess their technical condition. Kyiv: DP "UkrNDNTs".
12. Ministry of Community and Territorial Development of Ukraine. (2022, August 6). On approval of the Methodology for conducting inspections and formalizing their results: Order No. 144. Retrieved from <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/z0898-22#Text> (accessed on 30.09.2024).

Стаття надійшла до редакції 30.08.2024



ДІІ НДІБК -

ВАШ НАДІЙНИЙ ПАРТНЕР

ВЧОРА -

СЬОГОДНІ -

ЗАВТРА

Web: www.niisk.com

E-mail: ndibk@ndibk.gov.ua

**Україна, 03037, м. Київ-37,
вул. Преображенська, 5/2
Тел.: +(38 044) 249-38-00
+(38 050) 415-36-22**

**5/2, Preobrazhenska Str.
Kyiv, 03037, Ukraine
Tel.: +(38 044) 249-38-00
+(38 050) 415-36-22**