



НАУКА



ТА БУДІВНИЦТВО

1 (31)'2022

Виходить чотири рази на рік

ЗАСНОВНИК

Державне підприємство «Державний науково-дослідний інститут будівельних конструкцій»

Заснований в лютому 2014 року.

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

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

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

Головний редактор:

Фаренюк Г.Г., д.т.н., Україна

Заступник Головного редактора:

Калюх Ю. І., д.т.н., проф., 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 №1 від 22.02.2022).

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" 2022

Підписано до друку: 14.03.2022

Віддруковано: Товариство з обмеженою відповідальністю «Мастеркниг», 02000 м. Київ, вул. Максима Кривоноса, 2Б

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

Замовлення № 14/3 від 14.03.2022

Наклад 50 примірників

ЗМІСТ

3

Фаренюк Г.Г., Фаренюк Є.Г.

Методика оцінки мінімальних вимог до показників енергоефективності житлових та громадських будівель

13

Слюсаренко Ю. С., Галат В. В., Домбровський Я. І., Шумінський В. Д., Миколаєць М. Г., Крилов Є. О.

Оцінка технічного стану конструкцій водозливної греблі Дніпровської ГЕС

24

Дворник А. М., Степанчук Н. В., Шомка М. В.

Розрахунок осідань баретного фундаменту з використанням моделі еквівалентних паль

33

Домбровський Я. І., Степанчук С. В., Шидловська О. В., Шпаковська О. М., Шумінський В. Д.

Оцінка впливу нового будівництва житлово-громадського комплексу на вул. Велика Васильківська, 143/2 у Печерському районі м. Києва на головний міський каналізаційний колектор

42

Олексієнко О.Б.

Наукові основи забезпечення стійкості фасадних систем з штукатурним шаром до кліматичних впливів



1 [31]'2022

Published four times a year

FOUNDER

State enterprise «State Scientific Research Institute of Building Constructions»

Founded in February 2014.

Certificate of state registration

KV № 20575-10375 R dated on 24.02.2014

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

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

Editor-in-chief:

Farenjuk G., Dr., Ukraine

Deputy editor-in-chief:

Kaliukh Yu., Dr., Prof., 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 №1 dated on 22.02.2022)

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», 2022

Signed for printing: 14.03.2022

Printed: Master book Limited Liability Company 2B Maksyma Kryvonosa St., Kyiv, 02000

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

Order № 14/3 from 14.03.2022

Drawing: 50 copy

CONTENT

3

Farenjuk G., Farenjuk Y.

Assessment procedure of minimum requirements to energy performance indicators – residential and public buildings

13

Slyusarenko Y., Galat V., Domdrowskii Y., Shuminskyi V., Mykolayets M., Krylov Y.

Technical state assessment of overflow dam of the Dniprovsk Hydroelectric Power Plant

24

Dvornyk A., Stepanchuk N., Shomkam.V.

Calculation of barrette foundation settlements using the equivalent pile model

33

Domdrowskii Y., Stepanchuk S., Shydlovska O., Shpakovska O., Shuminskyi V.,

Assessment of the impact of the residential and public complex new construction at 143/2 Velyka Vasylkivska street in the Pechersk district of Kyiv on the main city sewer collector

42

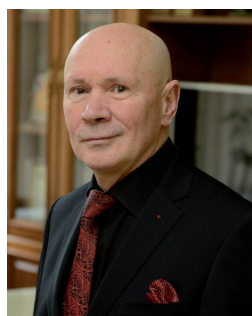
Oleksiienko O.

Scientific grounds, which provide etics resistance to climate



Doi: <https://doi.org/10.33644/2313-6679-16-2022-1>

УДК 624.011:536.2



ФАРЕНЮК Г.Г.

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



ФАРЕНЮК Є.Г.

Канд. техн. наук, директор
ДУ "Фонд енергоефективності"
ORCID: 0000-0001-8613-877x

МЕТОДИКА ОЦІНКИ МІНІМАЛЬНИХ ВИМОГ ДО ПОКАЗНИКІВ ЕНЕРГОЕФЕКТИВНОСТІ ЖИТЛОВИХ ТА ГРОМАДСЬКИХ БУДІВЕЛЬ

АНОТАЦІЯ

Мінімальні вимоги енергетичної ефективності будівель встановлюються відповідно до статті 6 Закону України «Про енергетичну ефективність будівель». Оптимальність витрат визначається як найбільш економічно ефективний варіант продукції або виробу шляхом порівняння витрат життєвого циклу різних варіантів. Аналітичні дослідження роботи ґрунтовані на методі, який встановлений Директивою щодо енергоефективності будівель (EPBD) 2010/31/ЄС та в делегованому Регламенті (ЄС) 244/2012. Порівняння показників енергоефективності за їх фізичними індикаторами у різних країнах є некоректними не тільки внаслідок різних кліматичних умов. Оптимальне значення показника енергоефективності будівлі визначається економічними умовами країни у існуючий час, точністю прогнозу зміни економічних показників на протязі проектного терміну служби об'єкту, структурою ринку будівельних матеріалів, виробів, конструкцій, інженерного устаткування у конкретній країні та її енергетичного ринку. У статті наводяться методичні принципи із встановлення для будівель-еталонів оптимальних значень показників енергоефективності, методика розрахунку мінімальних вимог до показників енергоефективності будівель з урахуванням вартості інвестиційних вкладень у створення необхідної теплоізоляційної оболонки будівель та інженерних систем, їх обслуговування і вартості енергетичних витрат під час експлуатації житлових та громадських будівель у встановлених температурних зонах України. Стаття розкриває

методологію визначення мінімальних вимог до енергоефективності, які регламентуються державними будівельними нормами та відповідного наказу згідно вимог Закону України «Про енергетичну ефективність будівель».

КЛЮЧОВІ СЛОВА: еталонні будівлі, питоме енергоспоживання, чиста приведена вартість, ставка дисконтування, критерій рентабельності.

ASSESSMENT PROCEDURE OF MINIMUM REQUIREMENTS TO ENERGY PERFORMANCE INDICATORS – RESIDENTIAL AND PUBLIC BUILDINGS

ABSTRACT

The minimum requirements for the energy performance of buildings are established in accordance with Article 6 of the Law of Ukraine "On the Energy Performance of Buildings". Cost optimality is defined as the most cost-effective option for a product or products by comparing the life cycle costs of different options. The performance analyzes are based on the method set by the Energy Performance in Buildings Directive (EPBD) 2010/31/EU and Delegated Regulation (EU) 244/2012.

Comparison of energy performance indicators by their physical indicators in different countries is incorrect, and this is not only due to different climatic conditions. The optimal value of the energy performance indicator of building is determined by economic conditions of the country at the current time, the accuracy of forecasting changes in economic



indicators during the design life of the facility, the structure of market for building materials, products, structures and engineering equipment in the specific country and its energy market. The paper presents methodological principles for reference buildings and introduces optimal energy performance indicators for such buildings as well as methodology for calculating the minimum requirements for energy performance indicators. The paper covers the cost of investments needed for thermal envelope of buildings and technical building systems, their maintenance and the cost of energy costs during the operation of residential and public buildings in the specific temperature zones of Ukraine. Methodology shown in the paper determines the minimum requirements for energy performance which is implemented at the regulatory level and the relevant order in accordance with the requirements of the Law of Ukraine "On the energy performance of buildings".

KEYWORDS: reference buildings, specific energy use, net present value, discount rate, cost-effectiveness criterion

ПОСТАНОВКА ПРОБЛЕМИ

Забезпечення раціонального використання енергії є однією з передумов розвитку цивілізації. Будівельні об'єкти житлового та громадського призначення потребують значних енерговитрат як на їх створення, так і на подальшу експлуатацію. Загальна світова тенденція при формуванні енергетичного балансу країн, де кліматичні умови навколишнього середовища потребують штучного створення мікроклімату в приміщеннях будівельних об'єктів, полягає в тому, що частка енерговитрат на кліматизацію будівель складає до 40% загального енергобалансу. Для зниження цієї частки потрібні значні капітальні витрати. При цьому інвестиційні вкладення здійснюються при одній вартості грошових одиниць, а їх окупність отримується вже при іншій вартості грошей. Оптимізація різночасових потоків потребує урахування значної кількості параметрів і від коректності прийнятої розрахункової моделі залежить подальший розвиток будівельної галузі.

АНАЛІЗ ОСТАННІХ ДОСЛІДЖЕНЬ ТА ПУБЛІКАЦІЙ

В статті [1] наведений аналіз стану нормативних актів і документів, що визначають вимоги до показників енергоефективності будівель та теплотехнічних характеристик огорожувальних конструкцій. Нормування здійснюється на основі методології розгляду будівля як єдиної енергетичної системи, що складається з теплоізоляційної оболонки та інженерних систем опалення, вентиляції, охолодження, кондиціонування, гарячого водопостачання, освітлення, які діють у взаємозв'язку між собою та оточуючим кліматичним середо-

вищем [2]. При цьому у вітчизняну нормативну базу покладений принцип забезпечення теплової надійності [3,4] огорожувальних конструкцій будівлі та їх елементів.

Методика розрахунків оптимальних значень показників енергоефективності будівель встановлена у стандарті [5], згідно якого проводяться розрахунки початкових витрат на створення енергозберігаючих конструктивних виробів та витрат на енергопостачання будівлі і, відповідно, здійснюється пошук оптимальних значень. Мінімальні вимоги до показників енергоефективності будівель та теплотехнічних властивостей огорожувальних конструкцій регламентується вимогами норм [6]. Згідно Закону України «Про енергетичну ефективність будівель» перегляд цих норм здійснюється не менш ніж раз на 5 років. У грудні 2021 року була прийнята нова редакція норм, які наберуть чинності у поточному 2022 році.

Мінімальні вимоги встановлюються для еталонних будівель, вибір яких обґрунтований у роботі [7].

ПОСТАНОВКА ЗАВДАННЯ

Основною задачею даного дослідження є проведення аналітичних досліджень, розрахунків та розроблення науково обґрунтованих пропозицій щодо встановлення мінімальних вимог до теплотехнічних характеристик огорожувальних конструкцій та вимог до енергетичної ефективності інженерних систем (у тому числі обладнання) будівель відповідно до економічно доцільного рівня та диференційованих залежно від функціонального призначення будівель, висотності будівель, виду будівельних робіт (нове будівництво, реконструкція, капітальний ремонт).

ВИКЛАД ОСНОВНОГО МАТЕРІАЛУ ДОСЛІДЖЕНЬ

Будівельна діяльність завжди є інвестиційною. Інвестування — це вкладання вільних фінансових ресурсів сьогодні з метою отримання стабільних грошових потоків у майбутньому, тобто вкладення грошей у якісь активи на довгострокову перспективу. Це відноситься і до напрямку із забезпечення енергоефективності, коли потрібно визначити обґрунтовані рівні інвестицій у технічні рішення, що забезпечують економію енергії під час експлуатації об'єкту. Метою будь яких інвестицій є не лише повернення вкладених коштів, а ще й отримати прибуток від інвестицій.

Загальноприйнятим методом оцінки ефективності інвестиційних проектів є метод NPV – «Net Present Value», що розшифровується як чиста приведена (до сьогоднішнього дня) вартість і який оснований на методології дисконтування грошових потоків за наступним загальним алгоритмом:



- оцінка грошових потоків проекту — первісне вкладення (відтік) коштів і очікувані надходження (притоки) коштів у майбутньому;
- визначення вартості капіталу (cost of capital) - ставка дисконтування
- дисконтування всіх грошових потоків (притоки та відтоки) від проекту за ставкою дисконтування;
- сума всіх дисконтованих потоків визначає NPV проекту.

Якщо NPV дорівнює нулю, то грошові потоки від проекту є достатніми для відшкодування інвестованого капіталу та забезпечення необхідного доходу від цього капіталу.

Мінімальні вимоги до енергетичної ефективності будівель є макроекономічним показником і мають визначати економічно доцільний рівень енергетичної ефективності будівель при поточному стані будівельного, енергетичного та фінансового рівня країни і відповідно встановлюватись за результатами проведення фінансових та макроекономічних розрахунків. В основу цих розрахунків покладена методика визначення загальних інвестиційних витрат, які необхідні для забезпечення відповідного енергетичного статусу будівлі і визначаються за формулою [5]:

$$CG = CO_{INT} + \sum_j \left[\sum_{i=1}^{TC} (CO_{a(i)}(j) \cdot (1 + RAT_{xx(i)}(j)) + CO_{CO2(i)}(j) \cdot [D - f(i) + CO_{fin(TLS)}(j) - VAL_{frc}t(j)] \right], \quad (1)$$

де

CG – загальні витрати (приведені на рік введення будівлі в експлуатацію T_0)

CO_{INT} – початкові інвестиційні витрати;

$CO_{a(i)}(j)$ – річні витрати року i для j -го компоненту будівлі (включаючи експлуатаційні витрати та періодичні витрати або відновну вартість);

$RAT_{xx(i)}(j)$ – зростання цін на рік i для компонента послуги j ;

$CO_{CO2(i)}$ – вартість викидів CO_2 для вимірювання протягом року i ;

$CO_{fin(TLS)}(j)$ – остаточні витрати на зняття з експлуатації, демонтажу та утилізації в останньому році експлуатації (життєвого циклу) TLS компонента j або будівлі (приведені на рік введення в експлуатацію T_0);

$VAL_{frcTC}(j)$ – ліквідаційна вартість компонента j в році TC в кінці розрахункового періоду (приведені на рік введення в експлуатацію T_0);

$D - f(j)$ – коефіцієнт дисконтування за рік i ;

TC – період розрахунку.

При проведенні аналізу за критерій рентабельності приймалось значення

$$\Delta NPV = (CO_{INT} - CG) / A_E, \quad (2)$$

яке визначає, що чистий дохід, отриманий і дисконтований протягом економічного життя

інвестицій, повинен бути більшим, ніж початкові інвестиції на заходи з покращення енергетичних властивостей будівлі при новому будівництві або її термомодернізації.

Розрахунки проводились для будівель, що прийняті як еталонні [7], енергетичні властивості яких оцінювались за показником питомого енергоспоживання при опаленні, охолодженні та постачанні гарячої води (ЕР), кВт×год/м² [кВт×год/м³], що розраховувався за положеннями [8]. Для кожної еталонної будівлі визначались зміни їх енергетичних показників при впровадженні наступних конструктивних заходів:

- 1) зменшення витрат енергії по забезпеченню кратності повітрообміну в будівлях за рахунок рекуперації тепла;
- 2) збільшення значень приведених опорів теплопередачі зовнішніх стін;
- 3) збільшення значень приведених опорів теплопередачі світлопрозорих огорожень;
- 4) збільшення значень приведених опорів теплопередачі покриттів;
- 5) зменшення тепловтрат трансмісією через цокольні перекриття та підлоги по ґрунту;
- 6) удосконалення інженерних систем централізованого тепlopостачання
- 7) теплоізоляція трубопроводів системи тепlopостачання;
- 8) теплоізоляція трубопроводів системи гарячого водопостачання
- 9) застосування повітряних теплових насосів
- 10) застосування ґрунтових теплових насосів
- 11) використання сонячної та вітрової електростанції.

Вартісні показники кожного із конструктивних заходів встановлювались за середньоринковими цінами. При аналізі вартісних показників розглядались три економічні сценарії:

- перший (песимістичний) з поточною ставкою дисконтування 18 % та рівнем інфляції 7,4 %;
- другий (можливий до реалізації стан економіки країни), коли поточна ставка дисконтування становить 10 %, а рівень інфляції становить 5 %;
- третій (оптимістичний) наближений до європейських стандартів з поточною ставкою дисконтування 1,5 % та рівнем інфляції 1 %.

Сценарії впровадження заходів підвищення енергоефективності в 1-й температурній зоні України [6] наведено в таблиці 1, у II температурній зоні наведено в таблиці 2.

Позначення заходів із зменшення енергоспоживання будівель наведено у таблиці 3.

Енергоспоживання одноповерхової еталонної будівлі та зміна вартості витрат при різних конструктивних заходах та джерелах енергії (газовий котел, повітряний тепловий насос, геотермальний тепловий насос) при поточній ставці дисконтування 18 %, та росту цін на енергоносії, який



Таблиця 1 - Сценарії впровадження заходів підвищення енергоефективності – 1-а температурна зона

Варіант	Точка на графіку	Приведений опір теплопередачі, м²К/Вт					Кратність повітрообміну
		стіни	покриття	перекриття	вікна	двері	
базовий		3,3	5,0	3,75	0,75	0,6	0,8
1	■/■	3,67	5,0	3,75	0,75	0,6	0,8
2	■/■	4,0	5,0	3,75	0,75	0,6	0,8
3	■/■	5,0	5,0	3,75	0,75	0,6	0,8
4	▲	3,3	6,0	3,75	0,75	0,6	0,8
5	▲	3,3	7,0	3,75	0,75	0,6	0,8
6	▲	3,3	8,0	3,75	0,75	0,6	0,8
7	■	3,3	5,0	5,0	0,75	0,6	0,8
8	■	3,3	5,0	6,0	0,75	0,6	0,8
9	■	3,3	5,0	7,0	0,75	0,6	0,8
10	◆	3,3	5,0	3,75	0,90	0,6	0,8
11	◆	3,3	5,0	3,75	1,10	0,6	0,8
12	◆	3,3	5,0	3,75	1,20	0,6	0,8
13	●	3,3	5,0	3,75	0,75	0,6	0,6
14	●	3,3	5,0	3,75	0,75	0,6	0,4
15	●	3,3	5,0	3,75	0,75	0,6	0,2

■ - утеплення стін мінеральною ватою ■ - утеплення стін пінополістиролом (або пінополістирол + мінеральна вата)

Таблиця 2 - Сценарії впровадження заходів підвищення енергоефективності – 2-а температурна зона

Варіант	Точка на графіку	Приведений опір теплопередачі, м²К/Вт					Кратність повітрообміну
		стіни	покриття	перекриття	вікна	двері	
базовий		2,8	4,5	3,30	0,60	0,5	0,8
1	■/■	3,3	4,5	3,30	0,60	0,5	0,8
2	■/■	3,67	4,5	3,30	0,60	0,5	0,8
3	■/■	4,0	4,5	3,30	0,60	0,5	0,8
4	▲	2,8	5,0	3,30	0,60	0,5	0,8
5	▲	2,8	6,0	3,30	0,60	0,5	0,8
6	▲	2,8	7,0	3,30	0,60	0,5	0,8
7	■	2,8	4,5	3,75	0,60	0,5	0,8
8	■	2,8	4,5	5,0	0,60	0,5	0,8
9	■	2,8	4,5	6,0	0,60	0,5	0,8
10	◆	2,8	4,5	3,30	0,75	0,5	0,8
11	◆	2,8	4,5	3,30	0,90	0,5	0,8
12	◆	2,8	4,5	3,30	1,00	0,5	0,8
13	●	2,8	4,5	3,30	0,60	0,5	0,6
14	●	2,8	4,5	3,30	0,60	0,5	0,4
15	●	2,8	4,5	3,30	0,60	0,5	0,2

■ - утеплення стін мінеральною ватою ■ - утеплення стін пінополістиролом (або пінополістирол + мінеральна вата)

згідно [5] визначався за рівнем інфляції, у даному випадку приймалися 7,4% в рік (при проведенні розрахунків не могло бути передбачено той рівень зростання цін на енергоносії, який відбувся у другій половині 2021 року внаслідок непередбачуваних політично-економічних подій) наведено на рис. 1. Від'ємні результати або такі, що розташовані на нульовій лінії графіків, ΔNPV , грн/м², вважаються

економічно доцільними. Економічно недоцільними є всі варіанти розрахунків, чисельні значення яких розташовуються вище нульової лінії у позитивній зоні графіку.

Наведені дані свідчать, що економічна доцільність конструктивних заходів залежить від виду джерела енергії для енергозабезпечення будівлі. Наприклад, при використанні газо-



Таблиця 3 - Позначення заходів зменшення енергоспоживання будівель

	Захід 1	Зниження кратності повітрообміну за рахунок рекуперації до рівнів: $0,6; 0,4; 0,2 \text{ год}^{-1}$
	Захід 2	Застосування систем фасадної теплоізоляції з мінераловатними плитами
	Захід 2	Застосування систем фасадної теплоізоляції з пінополістирольними плитами – будівлі від 1-9 поверхів; Застосування систем фасадної теплоізоляції з пінополістирольними плитами (до 9-го поверху) та мінераловатними плитами (вище 9-го поверху) будинків 16-24 поверхів
	Захід 3	Заміна вікон (світлопрозорих конструкцій)
	Захід 4	Утеплення покриття (мінеральною ватою)
	Захід 5	Утеплення перекриттів (екструдований пінополістирол)

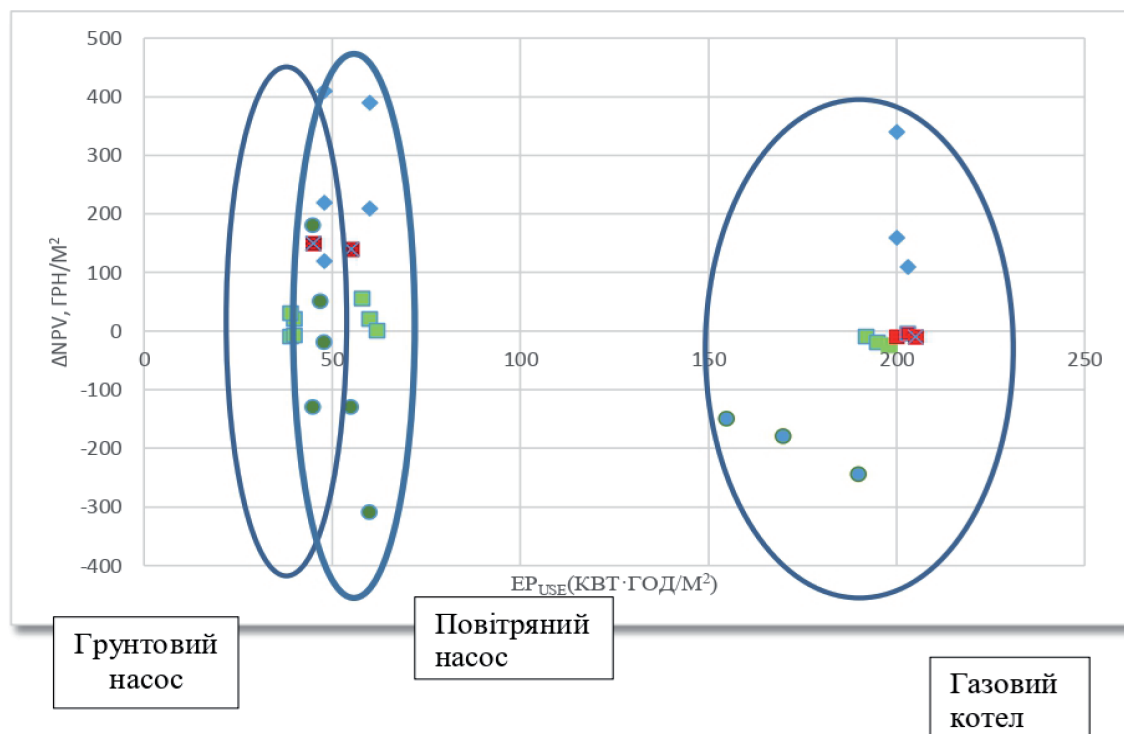


Рисунок 1 – Енергоспоживання одноповерхового еталонного будинку з різними конструктивними заходами для першого економічного сценарію при різних системах опалення в 1-й температурній зоні України

вих котлів для опалення та гарячого водопостачання в одноповерховому житловому економічно доцільними є: захід 2 – застосування зовнішніх стін із системами утеплення на основі пінополістиролу

та значеннями приведених опорів теплопередачі (3,7÷5,0) $\text{m}^2\text{K/Вт}$; захід 5 – застосування конструкцій цокольних перекриттів та підлог по ґрунту з приведеним опором теплопередачі (5,0÷7,0) $\text{m}^2\text{K/Вт}$, а

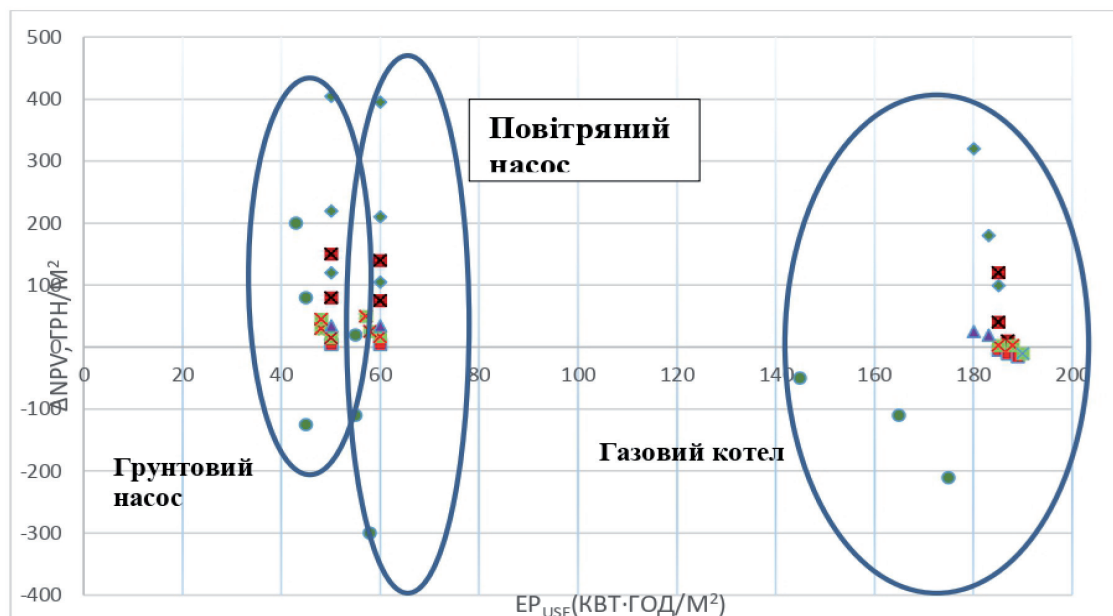


Рисунок 2 – Енергоспоживання одноповерхового еталонного будинку з різними конструктивними заходами для першого економічного сценарію при різних системах опалення в 2-й температурній зоні України

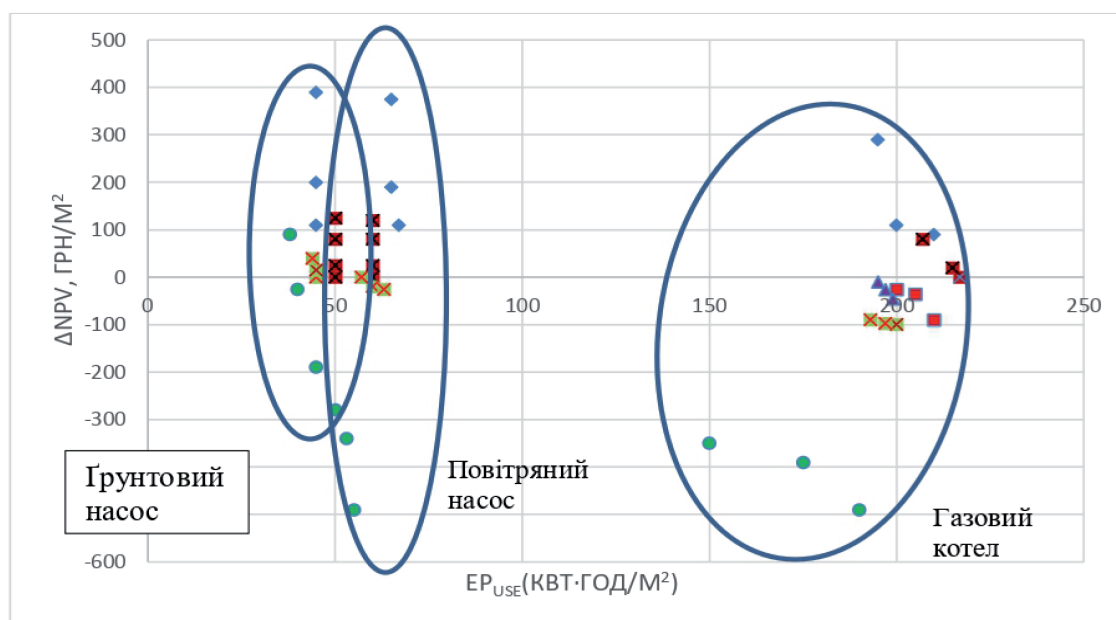


Рисунок 3 – Енергоспоживання одноповерхового еталонного будинку з різними конструктивними заходами для другого економічного сценарію при різних системах опалення в 1-й температурній зоні України

інші розглянуті заходи є економічно недоцільними. Застосування джерел енергії на основі теплових насосів більш ніж в 3 рази знижує показники питомого енергоспоживання одноповерхової будівлі. При цьому, як для 1-ї температурної зони, так і для 2-ї температурної зони України (рис.2) кількість економічно доцільних конструктивних заходів в умовах першого економічного сценарію є обмеженою.

На рис. 3 наведені дані з оцінки окупності різних конструктивних заходів для одноповерхового еталонного будинку при їх застосуванні в умовах другого економічного сценарію, на рис. 4 – третього економічного сценарію. При зниженні інфляційної складової до 5% та дисконтної ставки до 10% кількість конструктивних заходів із зниження енерговитрат будинку суттєво збільшується. При економічних характеристиках третього сценарію

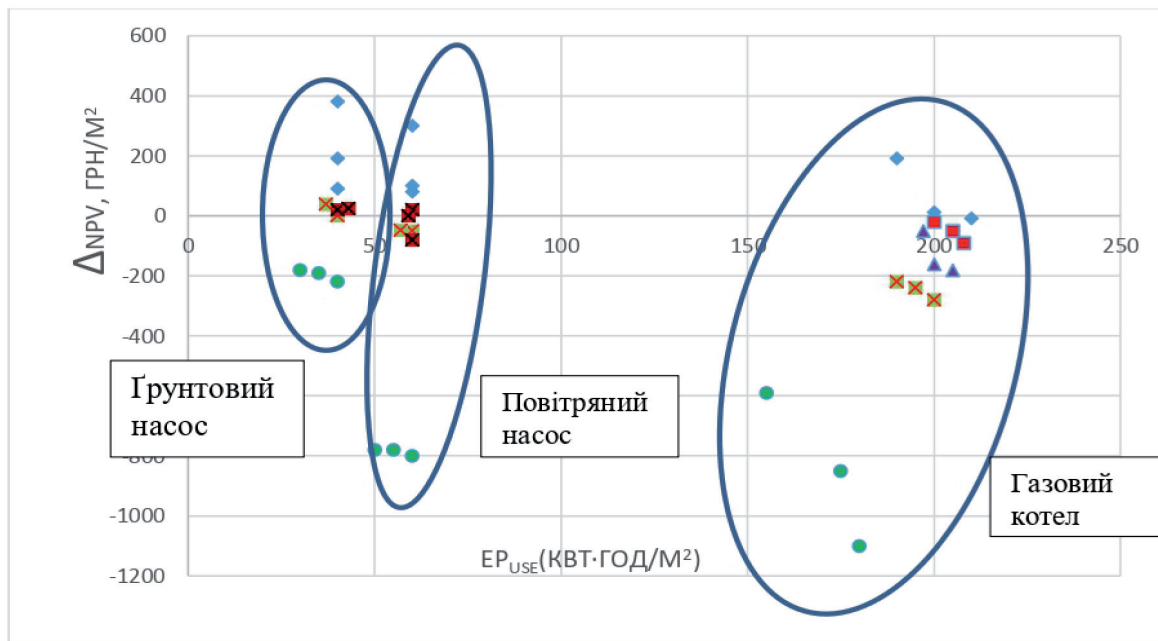


Рисунок 4 – Енергоспоживання одноповерхового еталонного будинку з різними конструктивними заходами для третього економічного сценарію при різних системах опалення в 1-й температурній зоні України

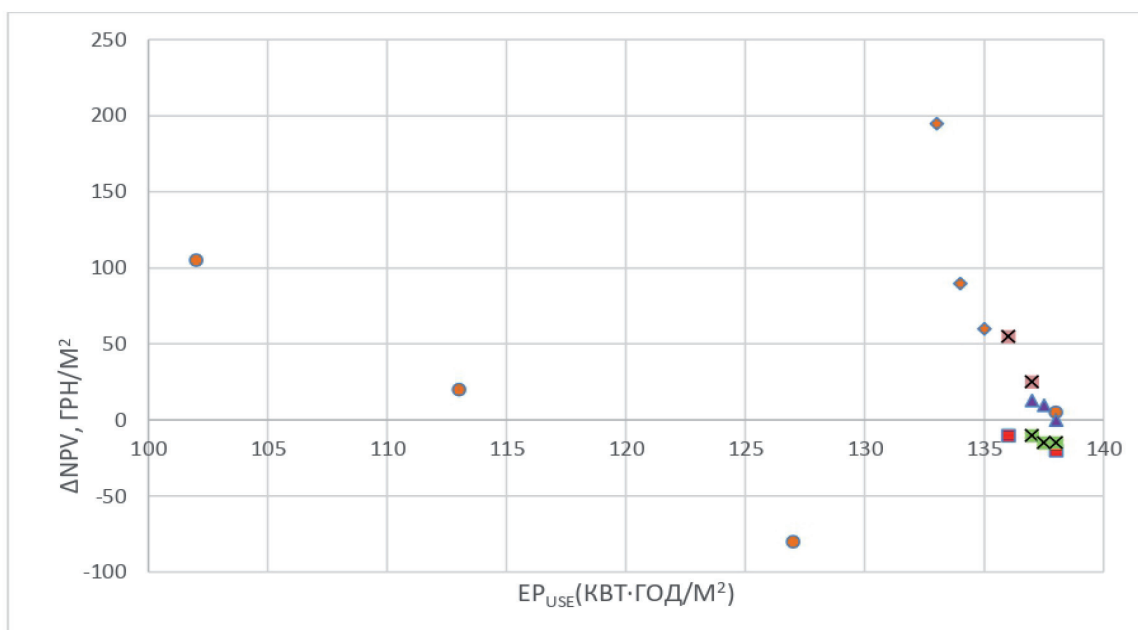


Рисунок 5 – Енергоспоживання п'ятиповерхового еталонного будинку з різними конструктивними заходами для першого економічного сценарію в 1-й температурній зоні України

- відповідно 1% та 1,5%, при застосуванні системи опалення на основі газового котла майже всі розглянуті конструктивні заходи із зниження енерговитрат будинку є економічно доцільними.

Для багатоповерхових будівель розглядався найбільш поширене джерело теплозабезпечення – центральне опалення. Енергоспоживання п'ятиповерхового еталонного будинку та зміна вартості витрат для різних конструктивних рішень при поточній ставці дисконтування 18 %, та росту

цін на енергоносії 7,4% в рік представлено на рис.5, для оптимістичного економічного сценарію – на рис.6.

Визначальними при виборі конструктивних заходів є інвестиційні умови – при вартості грошових коштів у 18% річних кількість конструктивних заходів із зниження енерговитрат з $\Delta NPV \leq 0$ є обмеженим, у той час як при дисконтній ставці 1,5% та рівні інфляції 1%, можливо вибирати конструктивні заходи, які суттєво знижують енер-

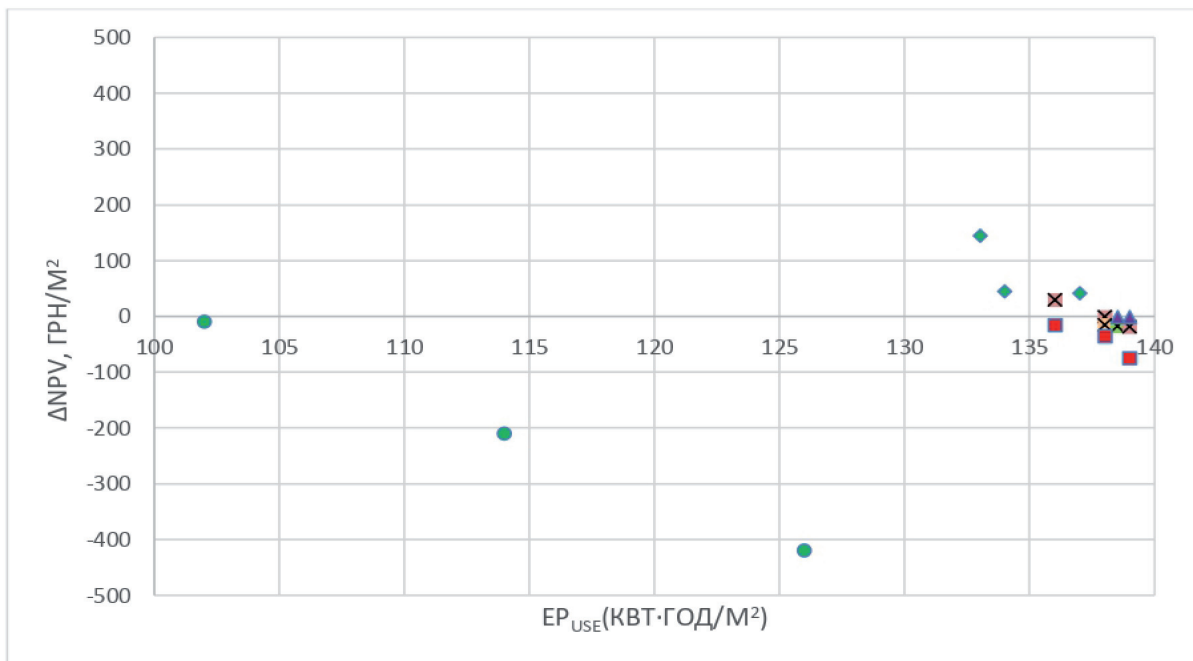


Рисунок 6 – Енергоспоживання п'ятиповерхового еталонного будинку з різними конструктивними заходами для першого економічного сценарію в 1-й температурній зоні України

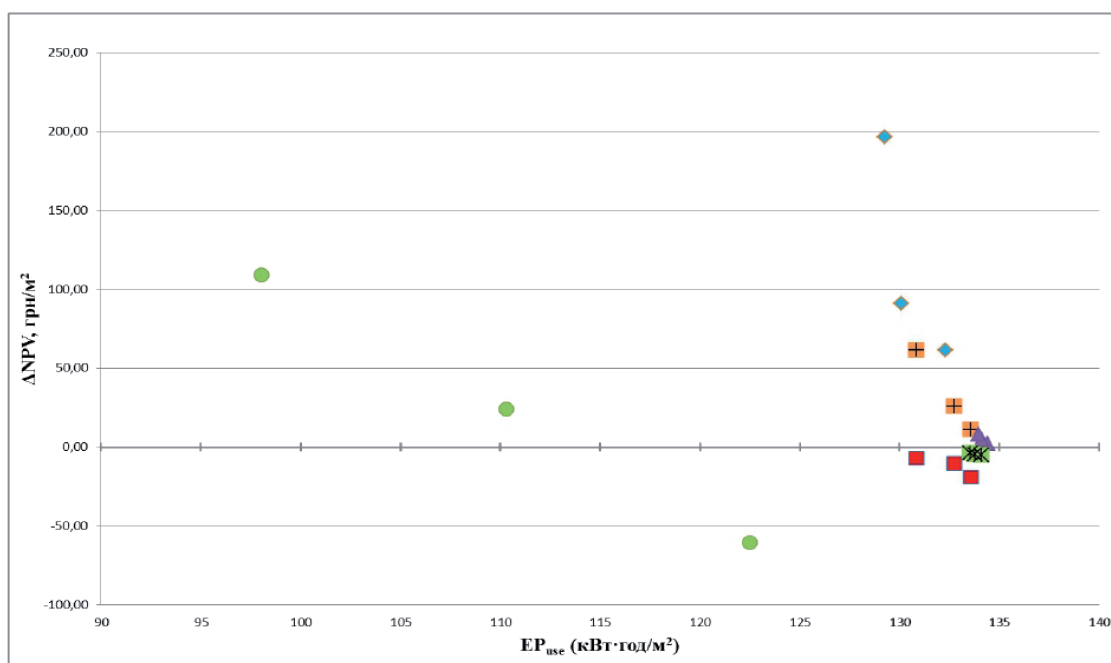


Рисунок 7 – Енергоспоживання дев'ятиповерхового еталонного будинку з різними конструктивними заходами для першого економічного сценарію в 1-й температурній зоні України

говитрати будівлі, з великого їх переліку.

Аналогічні результати отримані і для більш поверхових будівель (рис.7 – рис.8), які ілюструють, що при розвитку економічного стану із збереженням економічних показників з поточною ставкою дисконтування 18% та рівнем інфляції більше 7%, окупність заходів, що направлені на економію енергії, забезпечується тільки для конструктивних рішень окремих елементів теплоізоляційної оболонки та інженерного обладнання будівлі із корот-

кочасним періодом забезпечення.

При оптимістичному сценарію розвитку країни та будівельної галузі із зниженням поточної ставки дисконтування та рівня інфляції до існуючих показників європейських країн вірогідність окупності заходів збільшується більш ніж у 2 рази (рис.9, рис.10).

Аналогічні результати та висновки були отримані і для будівель-еталонів громадського призначення [7], що дозволило розробити відповідні значення

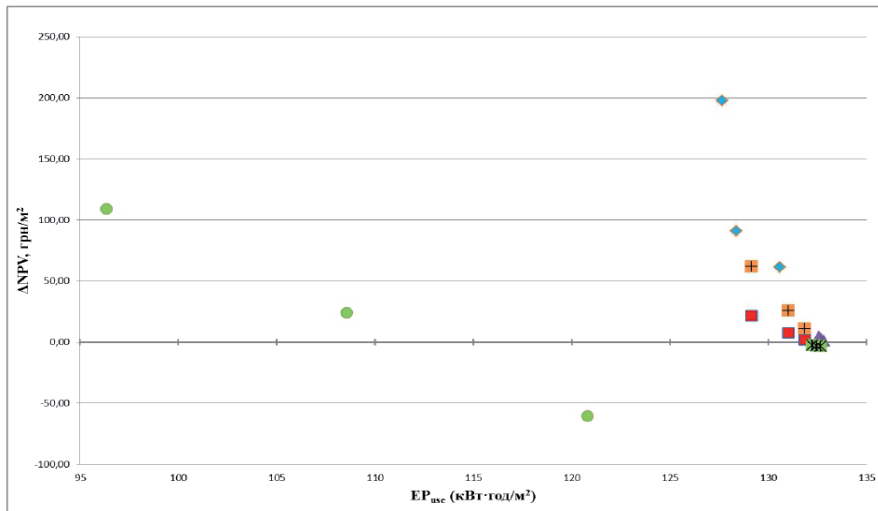


Рисунок 8 – Енергоспоживання шістнадцятиповерхового еталонного будинку з різними конструктивними заходами для першого економічного сценарію в 1-й температурній зоні України

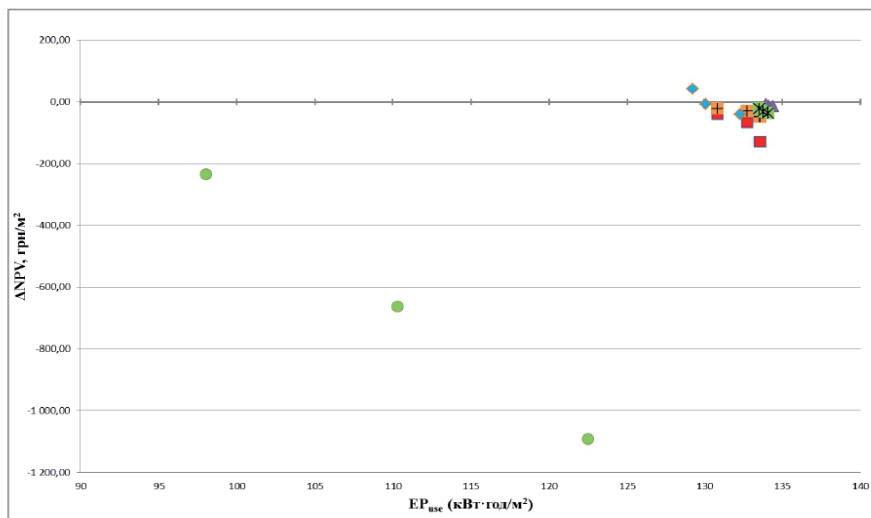


Рисунок 9 – Енергоспоживання дев'ятиповерхового еталонного будинку з різними конструктивними заходами для третього економічного сценарію в 1-й температурній зоні України

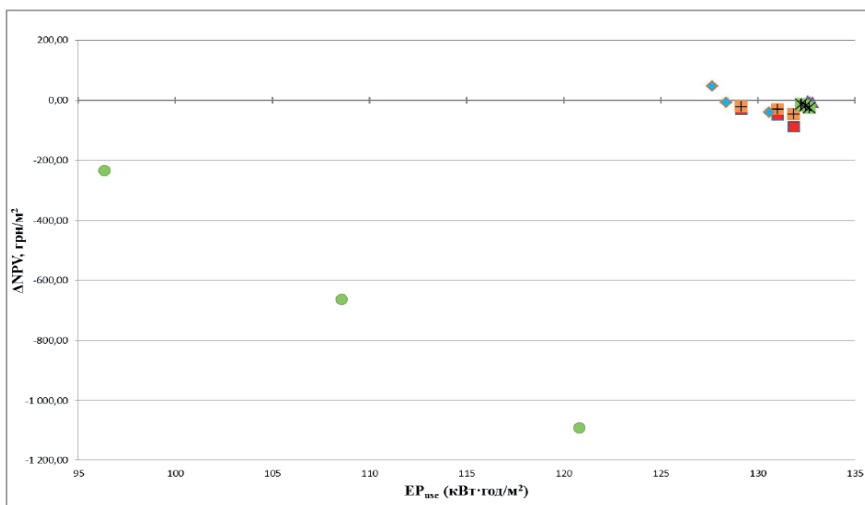


Рисунок 10 – Енергоспоживання шістнадцятиповерхового еталонного будинку з різними конструктивними заходами для третього економічного сценарію в 1-й температурній зоні України

для критеріїв енергоефективності житлових та громадських будівель, які покладені в основу нового покоління норм – ДБН В.2.6-31:2021, детальний аналіз яких буде приведений у наступних публікаціях авторів.

ВИСНОВКИ

Економічно доцільний рівень енергоефективності будівель залежить від особливостей формування макроекономічних показників країни. До таких показників відноситься ставка дисконтування кредитів на отримання коштів, що направляються на економію енергії, рівень інфляції в країні, життєвий цикл будівлі. На підставі аналізу можливих сценаріїв розвитку програми з підвищення енергоефективності будівель при новому будівництві та реконструкції (термомодернізації) існуючого фонду житлових та громадських будівель визначені економічно доцільні значення показників енергоефективності будівель та їх елементів, які покладені в основу регламентації нормативними актами мінімальних вимог з енергоефективності житлових та громадських будівель

БІБЛІОГРАФІЧНИЙ СПИСОК

1. Фаренюк Г.Г. Структура та методичні положення нормативної бази з питань енергоефективності будівель – Наука та будівництво. - 2017, №3 (13). с. 4-15.
2. Фаренюк Г.Г. Наукові основи нормативного забезпечення енергоефективності будівельних об'єктів. - Вентиляція, освітлення та теплогазопостачання, 2010, вип.14. с. 52-60
3. Фаренюк Г.Г. Основи забезпечення енергоефективності будинків та теплової надійності огорожувальних конструкцій /Г.Г.Фаренюк// - К.: Гама-Принт, 2009. - 216 с.



4. Farenjuk G. The determination of the thermal reliability criterion for building envelope structures/ - Technical Journal, Vol. 13 No. 2, 2019, p.129-133
5. ДСТУ EN 15459-1:2017 Енергоефективність будівель. Процедура економічного оцінювання енергетичних систем будівлі. Частина 1. Процедури розрахунку. Модуль М1-14 (EN 15459-1:2017, IDT)
6. ДБН В 2.6-31:2016 «Теплова ізоляція будівель».
7. Farenjuk G.G., Farenjuk Y.G. Definition of reference building in development of requirements to energy efficiency indicators - Science & Construction, 2021, №2. P.3-10.
8. ДСТУ Б А.2.2-12:2015 Енергетична ефективність будівель. Метод розрахунку енергоспоживання при опаленні, охолодженні, вентиляції, освітленні та гарячому водопостачанні

REFERENCES

1. Farenjuk G.G. (2017). Structure and methodical provisions of the building energy performance regulations. Science and Construction, 3 (13), 4-15.
2. Farenjuk G.G. (2010). Scientific basis for regulatory support of energy efficiency of construction projects. Ventilation, lighting and heat and gas supply, 14, 52-60.
3. Farenjuk, G. (2009). Basics of assurance of energy efficiency of buildings and thermal reliability of envelope. Kyiv: Gama-Print.
4. Farenjuk, G. (2019) The determination of the thermal reliability criterion for building envelope structures. Technical Journal, 13(2), 129-133.
5. Energy performance of buildings - Economic evaluation procedure for energy systems in buildings. Part 1: Calculation procedures, Module M1-14: DSTU EN 15459-1:2017.
6. Thermal insulation of buildings. (2017). DBN B.2.6-31:2016. Kyiv: Minregion of Ukraine.
7. Farenjuk G.G., Farenjuk Y.G. (2021). Definition of reference building in development of requirements to energy efficiency indicators. Science and Construction, 2, 3-1.
8. Energy performance of buildings. Method for calculation of energy use for space heating, cooling, ventilation, lighting and domestic hot water: DSTU B A.2.2-12:2015. (2016).

Стаття надійшла до редакції 24.12.2021 року



Doi: <https://doi.org/10.33644/2313-6679-16-2022-2>

УДК 626.8 (075.8)



СЛЮСАРЕНКО Ю. С.

канд. техн. наук, заступник
директора ДП «Державний
науково-дослідний інститут
будівельних конструкцій»,
м. Київ, Україна,
e-mail: slus@ndibk.gov.ua,
тел. +38 (044) 249-72-40,
ORCID: 0000-0002-0447-3927



ГАЛАТ В. В.

Головний інженер проекту,
ПрАТ «УКРГІДРОПРОЕКТ»,
м. Харків, Україна,
e-mail: galat_vadim@uhp.kharkov.
ua, тел. +38 (067) 577-01-24,
ORCID: 0000-0001-8108-4469



ДОМБРОВСЬКИЙ Я. І.

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



ШУМІНСЬКИЙ В. Д.

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



МИКОЛАЄЦЬ М. Г.

Канд. техн. наук, завідувач
лабораторії, ДП «Державний
науково-дослідний інститут
будівельних конструкцій»,
м. Київ, Україна,
e-mail: mykolayets@ndibk.gov.ua,
тел. +38 (096) 224-78-79
ORCID: 0000-0002-8823-3401



КРИЛОВ Є. О.

Канд. техн. наук, науковий
співробітник, ДП «Державний
науково-дослідний інститут
будівельних конструкцій»,
м. Київ, Україна,
e-mail: krylov@ndibk.gov.ua,
тел. +38 (095) 173-07-45
ORCID: 0000-0001-7944-2132

ОЦІНКА ТЕХНІЧНОГО СТАНУ КОНСТРУКЦІЙ ВОДОЗЛИВНОЇ ГРЕБЛІ ДНІПРОВСЬКОЇ ГЕС

АНОТАЦІЯ

В статті розглянуті результати досліджень стану бетону опор (биків) та поверхні водозливної греблі Дніпровської ГЕС, що знаходяться тривалий час під впливом природно-кліматичних чинників.

Надійність та безпека гідротехнічних споруд гідровузлів повинні бути забезпечені в період експлуатації, а також під час ремонту, реконструкції, консервації та їх ліквідації. Важливою задачею гідроенергетики України є забезпечення безпеки та надійності роботи гідротехнічних споруд, які широко застосовуються в різних сферах водного та гідротехнічного господарства. Відмічена важлива роль Дніпровського каскаду в забезпеченні надійної роботи об'єднаної енергетичної системи України.

Наведені особливості роботи гідротехнічних споруд та дана коротка характеристика споруд Дніпровської ГЕС. Фахівці ДП НДІБК на замовлення ПрАТ «Укргідропроєкт» виконали візуальне та інструментальне обстеження бетонних конструкцій водозливної греблі ГЕС і за результатами обстежень дали оцінку їх технічного стану і можливості подальшого використання. Проводилось визначення глибини карбонізації бетону з боку верхнього і нижнього б'єфів та у верхній потерні. Оцінка міцності бетону виконувалась із вибуруванням кернів та їх випробуванням в лабораторних умовах в ДП НДІБК.

Дослідження показали, що міцність бетону з часом суттєво не зменшилася, незважаючи на



те, що бетон знаходився тривалий час під впливом кліматичних чинників, а це свідчить про можливість бетонних конструкцій виконувати свої функції після реконструкції та ремонтних робіт по їх відновленню.

КЛЮЧОВІ СЛОВА: безпека, бик, водозливна поверхня, гідроелектростанція (ГЕС), гідротехнічні споруди, карбонізація, керн, міцність, надійність, обстеження, оцінка технічного стану.

TECHNICAL STATE ASSESSMENT OF OVERFLOW DAM OF THE DNIPROVSKA HYDROELECTRIC POWER PLANT

ABSTRACT

The paper considers the results of surveying the condition of concrete supports (piers) and surface of the Dniprovska HPP overflow dam, which have long been under the influence of natural and climatic factors.

The reliability and safety of the hydraulic structures of hydroelectric developments must be ensured during their operation, as well as during repair, reconstruction, conservation and liquidation. An important task of the hydropower industry of Ukraine is the operation safety and reliability of hydraulic structures widely used in the various fields of waterpower and hydraulic engineering. The important role of the Dniprovskiy chain of hydroelectrical power plants in ensuring the reliable operation of the United Power System of Ukraine is noted.

The total generation of electricity by hydroelectric power plants of the Dnieper cascade is up to 90% of the generation of all hydropower plants in Ukraine. Reservoirs of the Dnieper Cascade provide communal, industrial and agricultural needs of more than half of the territory of Ukraine. Therefore, considerable attention is paid to the reliability and safety of the GTS, as well as reliable and safe operation of hydraulic units of the Dnieper Cascade, the development and improvement of methods for assessing their reliability and safety.

The hydraulic structures operation features and facilities of the Dniprovska HPP are characterized. The specialists of the State Enterprise NIISK commissioned by the PJSC "Ukrhidroproekt" performed the visual and instrumental inspection of the overflow dam concrete structures and assessed their technical condition and the possibility of their further use based on the inspection results. The concrete carbonation depth from the side of the upper and lower basins and in the upper gallery was determined. The concrete strength was assessed by drilling cores and testing them in laboratory conditions in the SE NIISK.

According to the results of comparisons with the data of surveys performed in previous years, the

condition of all bulls of the dam has deteriorated, which manifested itself in an increase in the number of cracks, areas of corrosion of concrete and reinforcement. Operation of the facility may continue, but it is necessary to perform the reconstruction of bulls as part of the reconstruction of all hydraulic structures.

The studies show that the concrete strength has not decreased significantly over time, even though concrete was under the climatic factors influence for a long time, which indicates the ability of concrete structures to perform their functions after reconstruction and repair works on their restoration. **KEY WORDS:** safety, pier, spillway, hydroelectric power plant (HPP), hydrotechnical structures, carbonization, core, strength, reliability, inspection, assessment of technical condition.

ВСТУП

Гідротехнічні споруди (далі – ГТС) забезпечують надійну та безпечну роботу гідроелектростанцій (далі – ГЕС) та суттєво впливають на економічну, екологічну та соціальну ситуацію в регіоні їх розташування [1...3]. Вони постійно контактують з водою, солоною або прісною, яка знаходиться у спокої або русі і чинить на споруди механічні, фізико-хімічні та біологічні впливи.

ГЕС і ГАЕС відіграють важливу роль в роботі об'єднаної енергетичної системи України. Серед всіх гідроенергетичних об'єктів України найбільше значення має Дніпровський каскад ГЕС. Важко переоцінити його роль у забезпеченні надійної роботи об'єднаної енергетичної системи країни. Загальний виробіток електроенергії гідроелектростанціями Дніпровського каскаду становить до 90 % виробітку всіх ГЕС України. Во-досховища Дніпровського каскаду забезпечують комунально-побутові, промислові і сільськогосподарські потреби більш ніж половини території України. Тому питанням надійності і безпеки ГТС, а також надійної і безпечної експлуатації гідровузлів Дніпровського каскаду, розробці і удосконаленню методів оцінки їх надійності і безпеки приділяється значна увага.

Під час будівництва Дніпровської ГЕС-2 конструкція автодорожнього переїзду по греблі Дніпровської ГЕС була значно змінена для забезпечення нормативних показників в частині пропускної здатності мосту і несучої спроможності конструкцій. В теперішній час автодорожній переїзд потребує реконструкції для забезпечення довготривалої та надійної експлуатації споруд, тому виникла потреба перевірки технічного стану опор (биків) мосту та водозливної поверхні греблі. Це пов'язано також з тим, що міст розташовано на консолях, що спираються на бики, які були зведені в 1932 році і пережили часткове руйнування від вибухів у 1941 та 1943 роках та відновлення. Бетонні конструкції греблі зна-



ходяться в експлуатації майже 100 років, що відповідає нормативному граничному терміну їх експлуатації.

МЕТА РОБОТИ

Оцінка технічного стану бетону биків та водозливної греблі Дніпровської ГЕС, одного із головних гідроенергетичних об'єктів України, що дозволить забезпечити їх подальшу надійну і безпечну роботу, а також можливість реконструкції ав-тодорожнього мосту.

МЕТОДИКА ДОСЛІДЖЕНЬ

Візуальні обстеження, інструментальні дослідження стану бетону биків та водозливної греблі, що знаходяться тривалий час під впливом атмосферних чинників.

ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА ДНІПРОВСЬКОГО КАСКАДУ ГЕС

Основу гідроенергетики України складає Дніпровський каскад ГЕС (потужністю 3911,1 МВт), Дністровська ГЕС (потужністю 702 МВт) та діючі малі ГЕС (загальна потужність близько 100 МВт). Гідровузли Дніпровського каскаду ГЕС відносяться до об'єктів класу наслідків (відповідальності) ССЗ. Можливі аварії на цих потенційно небезпечних об'єктах будуть мати багатфакторний вплив на природне середовище, на життя людини та її господарську діяльність. Тому надійність і безпека цих гідровузлів повинні бути забезпечені на період експлуатації, а також при ремонті, реконструкції, консервації та ліквідації.

Саме ГЕС із крупними водосховищами комплексного призначення виконують задачі регулювання річкового витоку, утворюють водогосподарські комплекси. Це призводить до прискорення розвитку оточуючої інфраструктури й економічного зростання України.

Будівництво гідроелектростанцій Дніпровського каскаду дозволило забезпечити вироблення екологічно чистої пікової електроенергії, що створює сприятливі умови роботи енергосистеми України. В даний час здійснюється реконструкція ГЕС Дніпровського каскаду, яка дозволить підвищити безпеку основних споруд ГЕС каскаду, а також підвищити енергетичні характеристики. В результаті виконання реконструкції I та II черги сумарна встановлена потужність ГЕС Дніпровського каскаду буде підвищена на 554,5 МВт в генераторному режимі.

Експлуатація ГТС, що входять до складу гідровузлів Дніпровського та Дністровського каскадів ГЕС, здійснюється власником цих гідровузлів – ПрАТ «Укргідроенерго». Для підвищення оперативності та достовірності контролю за станом безпеки та надійності ГТС Дніпровського та Дністровського каскадів

(напружено-деформованим станом бетону, осіданнями споруд та основи, п'єзометричним рівнем води та фільтраційними витратами в тілі, основі та в примиканнях до берегів земляних гребель тощо) вони оснащені автоматизованими системами контролю (АСК). Надійність та безпека ГТС цих гідровузлів забезпечуються на основі оцінки їх технічного стану шляхом аналізу та узагальнення даних натурних візуальних та інструментальних спостережень на основі АСК та системи моніторингу просторових зміщень споруд, проведенням комплексних досліджень поточного стану гідротехнічних споруд.

За період тривалої експлуатації ГТС гідровузлів Дніпровського та Дністровського каскадів ГЕС на них не було значних аварій, що свідчить про надійність і безпеку цих споруд та необхідність розробки спеціальних заходів щодо забезпечення їх подальшої надійної і безпечної роботи на відповідному рівні.

ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА ДНІПРОВСЬКОЇ ГЕС

До складу Дніпровського каскаду ГЕС входять 93 гідроагрегати потужністю 3911,1 МВт в складі шести гідроелектростанцій: Київська ГЕС (20 гідроагрегатів потужністю 412 МВт), Канівська ГЕС (24 гідроагрегати потужністю 451 МВт), Кременчуцька ГЕС (12 гідроагрегатів потужністю 625 МВт), Середньодніпровська ГЕС (8 гідроагрегатів потужністю 360,8 МВт), Дніпровська ГЕС-1 та ГЕС-2 (9+8 гідроагрегатів потужністю 1503,6 МВт) та Каховська ГЕС (6 гідроагрегатів потужністю 323,2 МВт, а також Київська ГАЕС (6 гідроагрегатів потужністю 235,5 МВт) [2, 3].

Термін будівництва: ГЕС-1 – 1927...1932 роки, ГЕС-2 – 1970...1980 роки. Встановлена потужність – 1503,6 МВт.

ДніпроГЕС-1 та ДніпроГЕС-2 входять до складу гідровузлів Дніпровського каскаду, ведуть добове і тижневе регулювання, беручи участь в покритті піку добового графіка навантажень енергосистеми України.

До складу основних гідротехнічних споруд гідровузла входять:

- водозливна гребля;
- щитові стінки ГЕС-1 та ГЕС-2;
- будівлі ГЕС-1 та ГЕС-2 з монтажними майданчиками;
- спрягаючі споруди;
- однокамерний і трикамерний судноплавні шлюзи;
- глухі бетонні греблі лівого та правого берегів.

У загальній компоновці основних споруд: ГЕС-1 розташована на правому березі, ГЕС-2 та судноплавні шлюзи – на лівому.

Основою споруд Дніпровської ГЕС є кристалічні породи запорізького блоку, представлені, в



основному, гранітами (рідше гранітогнейсами), слабо вивітрілими, які іноді мають підвищену тріщинуватість. Покрівля їх має вельми нерівну поверхню з перепадами відміток від мінус 12,00 м до +15,00 м.

ОСНОВНІ ОСОБЛИВОСТІ КОМПОНОВКИ ТА КОНСТРУКЦІЇ

ГЕС-1: будівля прямолінійна в плані, розбита температурно-усадковими швами на блоки довжиною 22 м, з верхової сторони приєднується до щитової стінки. Надводна частина з закритим машинним залом.

ГЕС-2: будівля криволінійна в плані, паралельно окресленню водозливної греблі, напірні залізобетонні водоводи розташовані на водозливній поверхні греблі. План розташування автодороги через водозливну греблю Дніпровську ГЕС наведено на рисунку 1.

ВОДОЗЛИВНА ГРАВИТАЦІЙНА БЕТОННА ГРЕБЛЯ

Ґрунти основи під водозливною греблею – гранітогнейси, граніт. Відмітка гребня – 54,80 м, максимальний напір – 38,7 м, будівельна висота – 62,0 м, довжина по гребню – 760,5 м. В плані гребля має форму дуги радіусом 600 м, ширина по гребню – 2,8 м, ширина по підосві – 39,7 м. Водозливний фронт складає 47 отворів шириною 13 м кожний. З них 25 отворів використовуються для пропуску повені, 16 для водозабору ГЕС – 2, 4 (забетоновані) і на ГЕС-1 2 шт., один (№ 29) – не використовується згідно з проектом у зв'язку з можливим затопленням машинного залу ГЕС-2. Відмітка порогу водозливу – 41,65 м. Кількість водозливних отворів і їх основні розміри: 25 отворів шириною 13 м і напором на водозливі 9,75 м. Сумарні розрахункові витрати води через водозливні отвори: при НПР – 21300 м³/с.

В тілі греблі є дві потерни на відмітках +14,400 м і +29,900 м. За водобій слугує скельний ґрунт річки. Протифільтраційні пристрої: цементацийна завеса в основі глибиною до 30 м. Дренажні пристрої: свердловини діаметром 100...150 мм в тілі греблі на відстані 6,6 м; свердловини в основі греблі діаметром 100...150 мм глибиною 4,0 м.

Об'єкти розташовані у примиканні – бетонний стоян зі сторони правого берегу, скельна основа зі сторони лівого берегу.

З історичних джерел відомо, що водозливна гребля зазнавала підриву у 1941 році, коли було зруйновано верхню її частину приблизно від 13 до 21 бика (рисунк 2), а також вибуху у 1943 році, коли було зруйновано верхню частину биків №№ 1, 2, 4, 6, 7, 16-18, 22-25, 36-44, інші бики мали дефекти від вибуху. Детально утворені дефекти від вибухів описані у [4].

Крім того у верхніх частинах биків під

автомобільним проїздом по греблі укладався бетон в 1999-2000 роках (так звана набетонка).

Таким чином, бетон греблі можна розділити на такі основні частини:

- бетон укладений в 1929-1932 роках (основна частина споруди);
- бетон укладений при ремонті в 1942 році після вибухів в 1941 році (верхня частина дамби від 13 до 21 бика);
- бетон укладений при ремонті в 1944-1947 роках після вибухів в 1943 році (верхня частина дамби в биках №№ 1, 2, 4, 6, 7, 16-18, 22-25, 36-44);
- набетонка у верхній частині биків (виконана в 1999-2000 роках).

По гідротехнічних спорудах Дніпровської ГЕС проходить автодорожній переїзд, що пов'яже правий та лівий береги р. Дніпро.

У 1974 р. розпочато реконструкцію автодорожнього переїзду через греблю, аванкамеру і шлюзи, яка була закінчена в 1977 р.

Був розроблений варіант з використанням металевих конструкцій старого мосту і установкою сталевих консольних ригелів з ортотропною плитою проїзної частини. Розробка робочої документації була виконана інститутом «Укрпроектстальконструкція» на базі затвердженого варіанту.

Автодорожній переїзд по спорудах Дніпровської ГЕС складається з комплексу нижчеперелічених споруд:

- 1 Естакада через шлюзи довжиною 352,0 м;
- 2 Естакада сполучення греблі з лівим берегом довжиною 111,5 м;
- 3 Автопереїзд по греблі довжиною 666,0 м;
- 4 Міст через аванкамеру довжиною 319,75 м;
- 5 Земляна вставка довжиною 136,6 м;

Загальна довжина автодорожнього переїзду 1585,9 м.

У 2005 році були проведені локальні дослідження з визначення фізико-механічних характеристик бетону, вибуреного в місці контакту бетонскеля водозливної греблі. Вибування проводилось із потерни. За результатами випробувань зразків було визначено, що міцність бетону орієнтовно коливається від 330 до 600 кг/см² [5].

Також були проведені випробування міцності бетонних зразків виготовлених із бетонних конструкцій греблі. Дослідженнями по визначенню фізико-механічних характеристик бетону та параметрів його корозійного стану встановлено, що середня міцність бетону на стиск в основному коливається від 244 до 476 кгс/см², що відповідає класу бетону за міцністю від С12/15 до С30/35 [6].

Візуальні обстеження та інструментальні дослідження технічного стану биків і поверхні водозливної греблі у 2021 році.

Візуальні обстеження та інструментальні дослідження технічного стану биків і поверхні

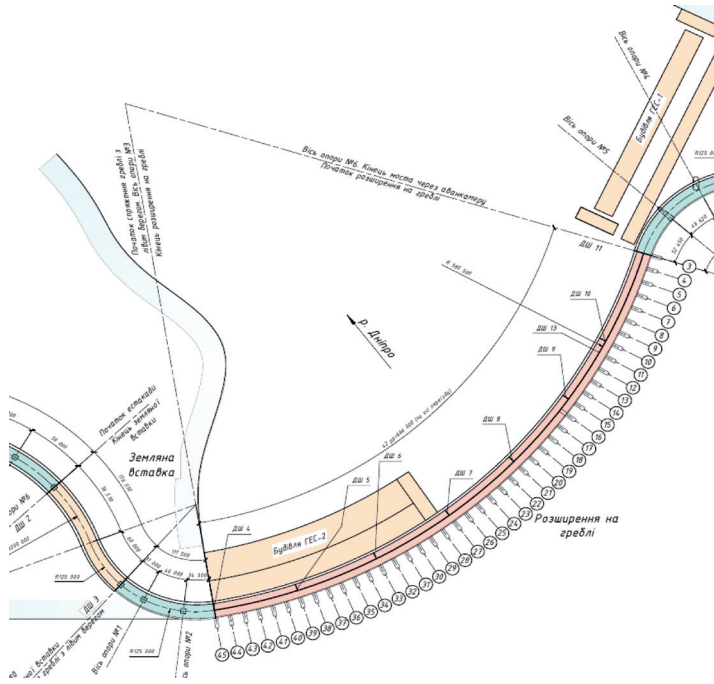


Рисунок 1 – План розташування автодорожнього переїзду через водозливну греблю Дніпровську ГЕС

водозливної греблі Дніпровської ГЕС, виконані у 2021 році, аналогічні роботам по обстеженню та дослідженню стану бетону недобудованих конструкцій на Дністровській ГАЕС, виконаним ДП НДІБК у 2020 році [7].

Візуальні обстеження технічного стану бетону биків та поверхні водозливної греблі проводилися з визначенням характеру та параметрів їх пошкоджень, фотофіксацією дефектів та пошкоджень. Візуальні обстеження верхніх частин поверхні всіх биків та водозливних поверхонь греблі проводилися з пішохідних підмостків та тротуару автодороги шляхом фотофіксації їх недоліків та пошкоджень (рисунок 3). Візуальні обстеження нижніх частин всіх биків та водозливних поверхонь греблі проводилися з човна з боку нижнього б'єфу шляхом фотофіксації недоліків та пошкод-

жень. При візуальному обстеженні розкриття оздоблювального шару конструкцій не виконувалося.

Інструментальні дослідження бетону биків проводилися шляхом вибурювання кернів з бетонних поверхонь в місцях, доступних до вибурювання. Місця вибурювання кернів вибиралися з урахуванням історії виконання бетонних робіт при будівництві і відновленні ДніпроГЕС після руйнувань в період II світової війни у 1941 і 1943 роках, а також можливості виконання робіт і дотримання техніки безпеки і узгоджувалися з представниками експлуатуючої організації.

Для визначення ступеня карбонізації бетону вирізалися керни $\varnothing 40$ мм і довжиною 30-50 мм в кількості 50 шт., які досліджувалися на місці хімічним методом. Місця проведення інструментальних досліджень стану бетону биків (місця вибурювання кернів) намічались після проведення та попереднього аналізу результатів візуальних обстежень биків. Для визначення міцності бетону з тіла конструкцій

вибурюються 16 кернів довжиною (350...400) мм та номінальним діаметром 100 мм, що випробовуються на стиск в лабораторних умовах в ДП НДІБК (рисунок 4). Керни вибурюватимуться за допомогою установки для вибурювання кернів на штативі та алмазної коронки. Установка дозволяє здійснювати вибурювання зразків як у вертикальному положенні, так в горизонтальному, а також штатив можна фіксувати під кутом.

Дослідження глибини карбонізації. Визначення глибини карбонізації бетону виконувалось в місцях, наведених на рисунку 4. Визначення корозійних пошкоджень (глибини карбонізації) бетону здійснювалось за методиками [8, 9] шляхом вибурювання зразка-керну, використовуючи ударну коронку (діаметр коронки 40 мм). За допомогою акумуляторного перфоратора вирізалися

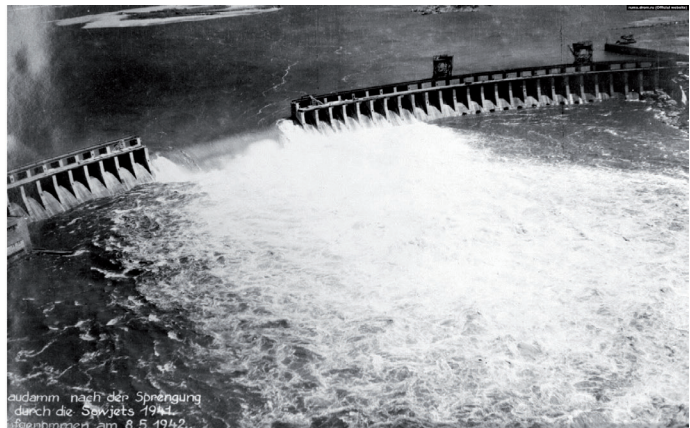


Рисунок 2 – Загальні види на Дніпровську ГЕС з лівого берега та на водозливну греблю після вибуху у 1941 р.



керни діаметром $\varnothing 40$ мм і довжиною 30-50 мм в кількості 5 кернів на 1 зону – всього 10 зон (рисунк 4). Після вибурування керну, його поверхню та місце вибурування ретельно очищали від утвореного пилу, продуваючи повітрям.

Для визначення глибини карбонізації бетону застосовувався розчин фенолфталеїну згідно ДСТУ 7258 [10], який наносився на місце вибурування. Через декілька секунд після нанесення розчину фенолфталеїну оцінювалась глибина карбонізації бетону конструкції за малиновим забарвленням розчину фенолфталеїну при його взаємодії з лужним середовищем бетону. В місцях де реакція не відбувалась фенолфталеїн не змінює свій колір на малиновий, що свідчить про карбонізацію бетону. Глибина карбонізації бетону вимірювалась штангенциркулем з точністю до 1 мм.

РЕЗУЛЬТАТИ ДОСЛІДЖЕНЬ

Результати візуальних обстежень. При візуальному обстеженні бетону биків з боку верхнього (рисунк 5) та нижнього (рисунк 6) б'єфів, верхньої потерни (рисунк 7) та поверхні водозливної греблі (рисунк 8) зафіксовано такі дефекти та пошкодження:

- окремі тріщини та сітки тріщин шириною розкриття 0,1...20 мм в бетоні;
- сітки тріщин шириною розкриття 0,1...10 мм в оздобленні;
- руйнування захисного шару бетону та сколи бетону;
- недостатній захисний шар бетону, неякісне бетонування;
- оголення та корозія арматури;
- руйнування, відшарування оздоблювального шару;
- сліди замокання, висоли;
- площинне руйнування бетону поверхні водозливу на глибину до 3,0 см;
- локальні руйнування бетону поверхні водозливу на глибину до 10 см;
- сліди замокання, проростання рослинності на поверхні водозливу;
- фільтрація води крізь шви бетонування на водозлив;
- розкриття швів між блоками бетонування водозливу.

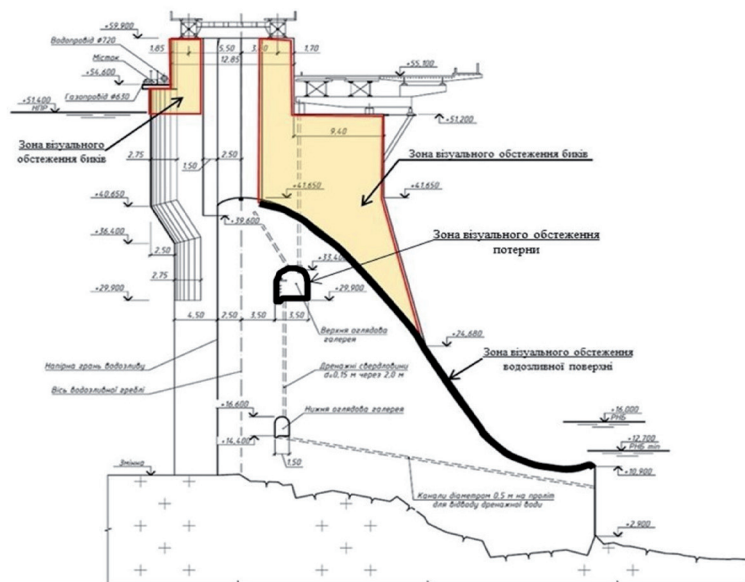


Рисунок 3 – Зони візуального обстеження биків та водозливної поверхні греблі

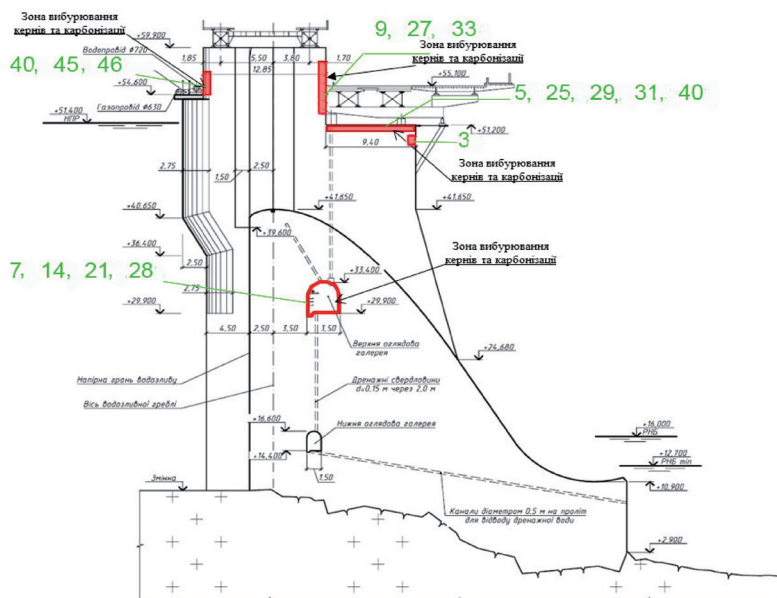


Рисунок 4 – Зони відбору кернів та номери биків, в яких проводилось вибурування

Виявлені пошкодження биків та водозливної греблі виникли внаслідок зовнішнього впливу (фізико-механічних та динамічних дій води), погодно-кліматичних факторів, недостатньо якісного виконання будівельно-монтажних робіт під час відновлення експлуатаційної придатності греблі у 1947 році та відсутності своєчасних ремонтів, що негативно впливає на міцність та довговічність бетону биків та водозливної поверхні греблі.

Аналіз результатів візуальних обстежень дозволяє зробити наступні висновки:

- у порівнянні з результатами обстежень, виконаними в 2008, 2017 та 2021 [11] роках, стан всіх биків водозливної греблі погіршився, що



Рисунок 5 – Руйнування захисного шару бетону, оголення та корозія арматури, сколи, висоли, тріщини (відповідно бички №№ 10, 11, 12 з боку верхнього б'єфу)



Рисунок 6 – Руйнування захисного шару бетону, тріщини шириною розкриття до 5 мм, висоли, неякісне бетонування, фільтрація (бики №№ 46, 47, 48 з боку нижнього б'єфу)



Рисунок 7 – Руйнування захисного шару бетону потерни, оголення та пластинчаста корозія арматури, сліди замокання



проявилось в збільшенні кількості тріщин, ділянок корозії бетону та арматури і прогресуючого розвитку блочної структури;

- експлуатація биків може продовжуватися, проте потрібне виконання планового попереджувального ремонту, що передбачає відновлення захисного шару бетону биків і ліквідації тріщин (тампонування ремонтними сумішами).

Оцінка технічного стану биків та водозливної греблі проводилася у відповідності з ДСТУ-Н Б В.1.2-18 «Настанова щодо обстеження будівель і споруд для визначення та оцінки їх технічного стану» [12]. Загальний технічний стан бетонних конструкцій биків та поверхні водозливної греблі Дніпровської гідроелектростанції характеризується як задовільний.

Для забезпечення подальшої надійної експлуатації споруди необхідно розробити і виконати комплекс ремонтно-відновлювальних робіт з усуненням дефектів, виявлених під час обстеження.

РЕЗУЛЬТАТИ ІНСТРУМЕНТАЛЬНИХ ДОСЛІДЖЕНЬ

Карбонізація бетону. Карбонізація є одним з видів корозії бетону, який приводить до зміни його фізико-механічних характеристик та, в результаті, до корозії арматури.

Найнебезпечніші пошкодження залізобетонних конструкцій в агресивних середовищах пов'язані, як правило, з корозією арматури внаслідок недостатньої товщини та щільності захисного шару бетону. Тривалість дії захисних властивостей бетону відносно арматури у вологій атмосфері визначається кінетикою його нейтралізації кисли-

ми газами і залежить від товщини захисного шару бетону, реакційної ємності відносно кислого газу і дифузійної проникності бетону. Слід контролювати глибину карбонізації бетону, щоб вона не була більше за товщину захисного шару бетону для уникнення корозії арматури.

Спостереження за бетонними та залізобетонними спорудами [13] показують, що вже через декілька місяців твердіння бетону на повітрі при підвищеній вологості карбонізований шар на конструкціях стає завтовшки в кілька міліметрів. Збільшення товщини карбонізованого шару при підвищеній вологості пояснюється тим, що вода має каталізуючий вплив на процес карбонізації [14]. Карбонізація може проходити лише за наявності певної кількості вологості в порах бетону (не менш 0,5...1,0 % загальної маси). В частинах споруд, які знаходяться під постійною дією води із вмістом агресивної вуглекислоти, карбонізований шар має незначну товщину. Це пояснюється перш за все руйнуванням карбонізованого шару на зовнішній поверхні під дією вуглекислоти внаслідок його вимивання водою, а також утворенням щільного карбонатного шару.

Глибину карбонізації бетону биків водозливної греблі визначали у п'яти поруч розташованих точках. Проведені дослідження показали, що середні показники глибини карбонізації бетону биків з боку нижнього б'єфу зменшується, бетону биків у потерні збільшується у напрямку від правого берега до лівого (рисунок 9).

На рисунку 9: об'єднані групи биків № 1 – бики №№ 1-18; № 2 – бики №№ 19-35; № 3 – бики №№ 35-49.

Найбільші значення глибини карбонізації бетону биків виявлені на бичу № 5, де середнє значення біля 20 мм, а максимальне сягає 45 мм. По



Рисунок 8 – Загальний вид на водозливну поверхню між биками № 3 і № 4. Руйнування захисного шару бетону, оголення та корозія арматури, сколи бетону биків №№ 18, 21



довжині водозливної греблі глибина карбонізації бетону знаходиться в межах від 8 мм (бик № 50) до 15 мм (бик № 40). Від бика № 40 і до краю греблі глибина карбонізації бетону знаходиться в межах від 3 до 13 мм.

У потерні глибина карбонізації бетону биків збільшується від 10 мм (бик № 7) до 19 мм (бик № 28). Максимальні значення виявлені на биках № 21 і № 28 – 32 мм і 30 мм, відповідно. Стінка потерни з боку верхнього б'єфу має досить рясні висолоутворення на поверхні бетону. В цих місцях тест на карбонізацію спочатку буде завжди показувати позитивний результат, оскільки сполуки кальцію (гідрокарбонати) вимиваються з тіла бетону на поверхню і індикатор реагує на лужне середовище. Бетон в таких місцях поступово втрачає свої характеристики та захисні властивості.

Визначення глибини карбонізації набетонки показало, що значення знаходяться у межах від 1 до 15 мм і відрізняються між собою по всій довжині водозливної греблі.

Значних відмінностей по відношенню до глибини карбонізації для різних видів основного бетону, що був укладений в різні роки, не виявлено.

Наявна на листопад 2021 р. глибина карбонізації бетону биків (10...45 мм) не є критичною, оскільки проєктний захисний шар має бути не менше 50 мм. Однак достовірно невідома глибина закладання металеві арматури в бетоні биків, що пов'язано з відсутністю матеріалів щодо товщини захисного шару при відновлювальних роботах по бетону-ванню биків після вибухів 1941 та 1943 років [4, с. 11...22]. Прогнозування строків безпечної експлуатації конструкцій без створення передумов для корозії арматури внаслідок поширення карбонізації не виконували. Розрахунок можна виконати за методикою [13].

Фізико-механічні дослідження. Для визначення міцності бетону на стиск з тіла конструкцій були вибурені керни довжиною від 350 мм до 400 мм. З кожного вибуреного керна, у відповідності з ДСТУ Б В.2.7-223 [15], виготовлено по три зразки. Визначення міцності виконували згідно з ДСТУ Б В.2.7-223 [15] та ДСТУ Б В.2.7-214 [15].

Зміну міцності бетону биків на різних ділянках биків водозливної греблі наведено на рисунку 10.

На рисунку 10: об'єднані групи биків № 1 –

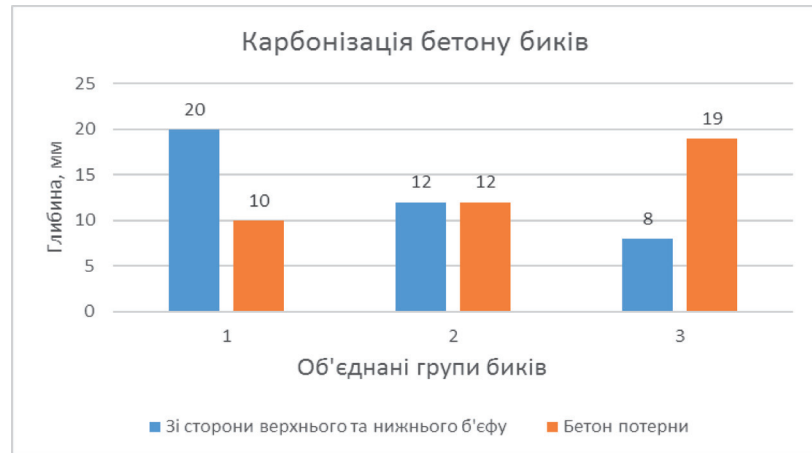


Рисунок 9 – Середні значення глибини карбонізації бетону биків по довжині водозливної греблі

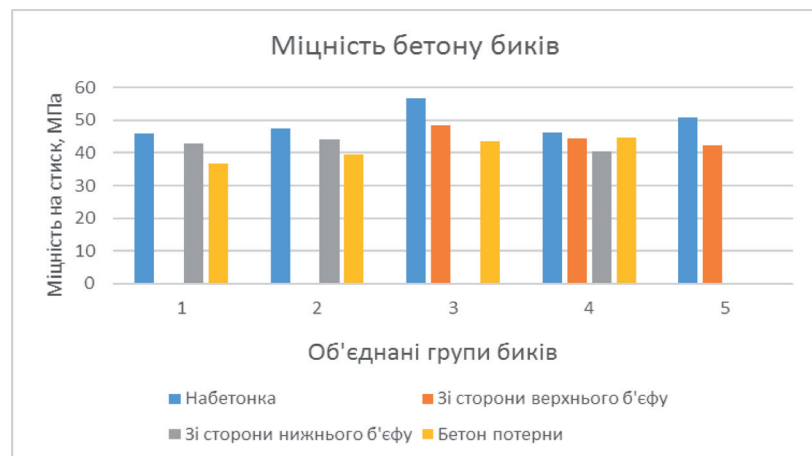


Рисунок 10 – Середні значення міцності бетону биків на стиск по довжині водозливної греблі

бики № 1-10; № 2 – бики № 11-20; № 3 – бики № 21-30; № 4 – бики № 31-40; № 5 – бики № 41-49.

Результати досліджень кернів в лабораторії ДП НДІБК показали, що міцність бетону на стиск становить: 42,7...62,1 МПа (клас бетону С30/35... С32/40) для набетонки (бики №№ 5, 25, 29, 31, 40); 37,7...47,7 МПа (клас бетону С20/25... С25/30) для бетону в потерні (бики №№ 7, 14, 21, 28); 33,3...51,1 МПа (клас бетону С25/30... С30/35) для бетону биків з боку верхнього б'єфу (бики №№ 9, 27, 33, 40, 45, 46).

Верхню частину бика № 40 було заново відновлено після вибуху 1943 року [4], тому бетон нижньої частини бика, не маючи дефектів від вибуху, має найвищі показники міцності серед «старого» бетону – до 51,1 МПа та відрізняється за кольором від бетону, укладеного під час будівництва.

Таким чином, міцність бетону в порівнянні із раніше встановленими значеннями не зменшилася, незважаючи на те, що він знаходиться тривалий час під впливом атмосферних чинників, а це свідчить про можливість биків виконувати функції опор мосту після реконструкції та ремонтних



робіт по відновленню стану пошкоджених ділянок бетону.

З урахуванням результатів виконаного натурного обстеження, а також результатів інструментальних та лабораторних випробувань, технічний стан бетону биків на ділянках, що обстежувались, згідно з п. 5.2 ДСТУ-Н Б В.1.2-18 [12] оцінюється як задовільний.

Подальші шляхи вдосконалення нормативного забезпечення проектування у галузі фундаментобудування, підземних споруд і геотехніки наведені в [17].

ВИСНОВКИ

1. За результатами порівняння з даними обстежень, виконаних в 2008 та 2017 роках, стан всіх биків водозливної греблі погіршився, що проявилось в збільшенні кількості тріщин, ділянок корозії бетону та арматури і прогресуючого розвитку блочної структури. Експлуатація споруди може продовжуватися, проте потрібно виконати реконструкцію биків в складі реконструкції всіх гідротехнічних споруд.
2. Міцність бетону в порівнянні із раніше встановленими значеннями не зменшилася, а це свідчить про можливість биків виконувати функції опор мосту після реконструкції. Бетон биків, станом на листопад 2021 р., переважно має клас за міцністю С25/30. Набетонка під мостовими конструкціями має клас за міцністю переважно С30/35.
3. Наявна на листопад 2021 р. глибина карбонізації бетону биків (10...45 мм) не є критичною, оскільки захисний шар має бути не менше 50 мм.
4. З урахуванням результатів виконаного натурного обстеження, а також даних інструментальних та лабораторних випробувань, технічний стан бетону биків та поверхні водозливної греблі згідно з ДСТУ-Н Б В.1.2-18 [12] оцінюється як задовільний.
5. В цілому конструкції биків та поверхні водозливної греблі відповідають нормативним вимогам, але для забезпечення їх надійності та безпечної експлуатації необхідно провести реконструктивні та відновлювані роботи.
6. Слід провести перевірочні розрахунки конструкцій биків за несучою здатністю як опоромосту, з врахуванням його реконструкції, згідно з чинними будівельними нормами.

БІБЛІОГРАФІЧНИЙ СПИСОК

1. Гідротехнічні споруди. Основні положення: ДБН В.2.4-3-2010. - [Чинні від 2011-01-01]. - Київ: ДП «Укрархбудінформ», 2010. - 37 с.

- (Державні будівельні норми України).
2. Фаренюк Г. Г., Вайнберг О. І., Хлапук М. М., Шумінський В. Д. Надійність та безпека гідротехнічних споруд в умовах тривалої експлуатації. Журнал «Наука та будівництво» № 2 (20). ДП НДІБК, 2019, С. 4-18.
3. Фаренюк Г. Г., Вайнберг О. І., Шумінський В. Д. Надійність та безпека гідротехнічних споруд Дніпровського та Дністровського каскадів ГЕС. Журнал «Наука та будівництво» № 3 (25). ДП НДІБК, 2020, С. 3-12.
4. Восстановление Днепровской гидроэлектростанции им. В.И. Ленина. Сборник статей. Под ред. начальника Днепростроя Ф.Г. Логинова – М. Л.: Государственное энергетическое издательство, 1947.
5. Отчет: Реконструкция ГЭС Днепровского каскада. СОБ ГТС. Днепровская ГЭС. Изучение состояния бетонного массива плотины Днепровской ГЭС. Физико-механические, физико-химические испытания образцов. Заключение о коррозионных и физико-механических характеристиках бетона, а также о современном состоянии внутренней части водосливной плотины Днепровской ГЭС. Шифр: 1396-1-T02 – Харків, Укргідропроєкт, 2005 р.
6. Отчет: Комплексное обследование сооружений водосливной плотины Днепровской ГЭС и конструкций автодорожного моста. Шифр 1530-1-T1 – Харьков: Укргідропроєкт, 2010.
7. Assessment of technical state of unfinished structures of the Dniistrovska PSP. Y. Slyusarenko, O. Shevchyk, Ya. Dombrovskiy, V. Shuminskyi, O. Lisenyi. Журнал «Наука і будівництво», 2021, №2. с.28-40
8. Оцінка технічного стану залізобетонних конструкцій під час експлуатації в агресивних середовищах: СОУ ДП НДІБК В.2.6-02495431-003:2020 [Чинні від 2020-10-09]. – К.: ДП НДІБК, 2020. – 15 с. – (Стандарт організації України)
9. Рекомендации по оценке состояния железобетонных конструкций при эксплуатации в агрессивных средах. – М: НИИЖБ Госстроя СРСР, – 1984 г.
10. Хімічні реактиви. Методи готування розчинів для кислотно-лужного титрування та визначення їхньої молярної концентрації: ДСТУ 7258:2012. – [Чинні від 2013-03-01]. – К.: Мінекономрозвитку України, 2013. – 13 с. – (Державний стандарт України)
11. Звіт: Результати аналізу технічного стану опор та конструктивні заходи щодо посилення опорних конструкцій. Шифр: 1442-14-00-T27 – Харків: Укргідропроєкт, 2021 р.
12. Настанова щодо обстеження будівель і споруд для визначення та оцінки їх технічного



стану: ДСТУ-Н Б В. 1.2-18:2016. – [Чинні від 2017-04-01]. – К.: ДП «УкрНДНЦ», 2017. – 43 с. – (Державний стандарт України)

13. Бліхарський З. Я. Дослідження карбонізації бетону в залізобетонних конструкціях. З. Я. Бліхарський, Р. Ф. Струк, Р. Є. Хміль. Вісник Національного університету «Львівська політехніка». – 2007. – № 600: Теорія і практика будівництва. – 583 с.
14. Коррозия бетонных и железобетонных конструкций. В.М. Москвин, Ф.М. Иванов, С.Н. Алексеев, Е.А. Алексеев. Под ред. В.М. Москвина. – М.: Стройиздат, 1980. – 536 с.
15. Будівельні матеріали. Бетони. Методи визначення міцності за зразками, відібраними з конструкцій: ДСТУ Б В.2.7-223:2009. – [Чинні від 2010-09-01]. – К.: Мінрегіонбуд, 2010. – 23 с. – (Державний стандарт України)
16. Будівельні матеріали. Бетони. Методи визначення міцності за контрольними зразками: ДСТУ Б В.2.7-214:2009. – [Чинні від 2010-09-01]. – К.: Мінрегіонбуд, 2010. – 43 с. – (Державний стандарт України)
17. Нормативне забезпечення проектування у галузі фундаментобудування, підземних споруд і геотехніки. Слюсаренко Ю.С., Титаренко В.А., Шумінський В.Д. Журнал «Нові технології в будівництві», 2017, вип. 33/1, с. 41-52

REFERENCES

1. Hydraulic structures. Basic principles: DBN V.2.4-3:2010. (2010).
2. Farenjuk, G., Vaynberg, O., Shuminskyi, V., & Khlapuk, N. (2019). The reliability and safety of hydraulic engineering structures in conditions of long operation. *Science and Construction*, 2 (20), 4-18.
3. Farenjuk, G., Vaynberg, O., & Shuminskyi, V. (2020). The reliability and safety of hydraulic engineering structures of the Dnieper and Dniester cascades of hydroelectric power plants. *Science and Construction*, 3 (25), 3-12.
4. Recovery of the Dnieper hydroelectric power station of V.I. Lenin. Collection of articles. Ed. F.G. Loginov. Moscow; Leningrad: State Energy Edition, 1947.
5. Report 1396-1 – t02. (2005). Reconstruction of the Dniprovskiy chain of hydroelectric power plants. Dniprovsk HPP. Study of the condition of the concrete massif of the Dniprovsk hydroelectric power station dam. Physical-mechanical, physical-chemical tests of samples. Conclusion on the corrosion and physical and mechanical characteristics of concrete, as well as on the current state of the internal part of the overflow dam of the Dnipro hydroelectric power station. Kharkiv: Ukrhydropro-ECT.
6. Report 1530-1-T1. (2010). Comprehensive examination of constructions of overflow dam of the Dniprovsk hydroelectric power station and designs of the road bridge. Kharkiv: Ukrhydroproekt.
7. Slyusarenko, Y., Shevchyk, O., Dombrovskiy, Ya., Shuminskyi, V., & Lisenyi, O. (2021). Assessment of technical state of unfinished structures of the Dnistrovsk PSP. *Science and Construction*, 2, 28-40.
8. Assessment of the technical condition of reinforced concrete structures during operation in aggressive environments: V.2.6-02495431-003:2020. (2020). SOU SE NIISK.
9. Recommendations for assessing the condition of reinforced concrete structures during operation in aggressive environments. Moscow: NIIZhB Gosstroy of the USSR, 1984.
10. Chemical reagents. Methods of preparation of solutions for acid-base titration and determination of their molar concentration: DSTU 7258:2012. (2013).
11. Report 1442-14-00-T27. (2021). Results of analysis of the technical condition of supports and structural measures to strengthen support structures. Kharkiv: Ukrhydroproekt.
12. Guidelines for the survey of buildings and structures to determine and assess their technical condition: DSTU-N B V. 1.2-18:2016. (2017).
13. Blikharsky, Z.Y., Struk, R.F., & Khmil, R.E. (2007). Research of concrete carbonization in reinforced concrete structures. *Bulletin of the National University "Lviv Polytechnic", Theory and practice of construction*, 600.
14. Moskvina, V.M. (ed.), Ivanov, F.M., Alekseev, S.N., & Guzeev, E.A. (1980). Corrosion of concrete and reinforced concrete structures. Moscow: Strojizdat.
15. Building materials. Concrete. Methods for determining strength from samples taken from structures: DSTU B V. 2.7-223:2009. (2010).
16. Building materials. Concrete. Methods for determining strength according to control samples: DSTU B V.2.7-214:2009. (2010).
17. Slyusarenko, Yu. S., Titarenko, V. A., & Shuminsky, V. D. (2017). Regulatory support for design in the field of foundation construction, underground structures and geotechnics. *New Technologies in Construction*, 33/1, 41-52.

Стаття надійшла до редакції 15.01.2022 року

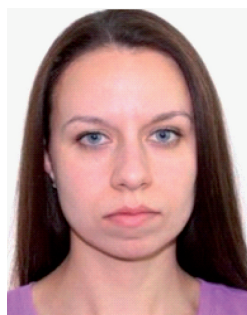


Doi: <https://doi.org/10.33644/2313-6679-16-2022-3>

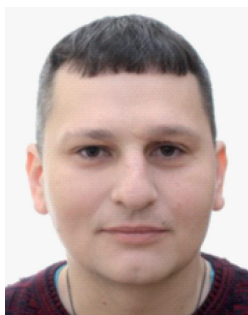
УДК 627.26:624.131



ДВОРНИК А. М.
Зав. лабораторії
ДП «Державний науково-
дослідний інститут
будівельних конструкцій»,
м. Київ, Україна
e-mail: dvornyka@gmail.com
тел.: +38 (050) 415-36-29
ORCID: 0000-0003-0266-8429



СТЕПАНЧУК Н. В.
Молодший науковий
співробітник ДП «Державний
науково-дослідний інститут
будівельних конструкцій»,
м. Київ, Україна
e-mail: nataskas666@gmail.com
тел. +38(044) 249-37-72
ORCID: 0000-0003-2562-7013



ШОМКА М. В.
Провідний інженер
ДП «Державний науково-
дослідний інститут
будівельних конструкцій»,
м. Київ, Україна
e-mail: vinickolas2@gmail.com
тел. +38(044)249-37-72
ORCID: 0000-0001-5724-0716

РОЗРАХУНОК ОСІДАНЬ БАРЕТНОГО ФУНДАМЕНТУ З ВИКОРИСТАННЯМ МОДЕЛІ ЕКВІВАЛЕНТНИХ ПАЛЬ

АНОТАЦІЯ

В статті приведено алгоритм аналітичного розрахунку баретного фундаменту висотної будівлі з використанням методики, викладеної в ДБН В.2.1-10-2009. Виконано розрахунок одиночних барет та їх груп, а також баретного фундаменту в цілому на прикладі висотної будівлі, запроектованої в складних інженерно-геологічних умовах. Фундаменти будівлі – барети шириною 800 мм різної конфігурації в плані, довжиною 34,5 м. Голови барет об'єднані жорстким сполученням з суцільною плитою ростверку, висотою 1,2 м.

Прийнята розрахункова модель основи барет верифікована та узгоджена з результатами чисельного моделювання в Plaxis 3D та ста-

тичних випробувань ґрунтів буровими пальями. Модель барети прийнята в розрахунках як група паль, розміщених умовно в межах «тіла» барети. Діаметр паль прийнятий 0,8 м, по ширині барети. Крок умовних паль підібраний для барети кожної конфігурації індивідуально для досягнення максимальної схожимості результатів розрахунків та моделювання і становить від 700 до 750 мм. Для паль в складі кожної барети визначено корекційний коефіцієнт для приведення розрахункової залежності «навантаження-осідання» до результатів моделювання роботи відповідної барети. Для кожного типорозміру барет підібрано значення коефіцієнтів корекції залежно від діапазону навантажень.



Розрахунок системи «основа-фундамент-споруда» виконано методом змінних коефіцієнтів жорсткості основи з використанням ПК Ліра-Сапр. Для контролю результатів розрахунків паралельно виконано дублюючий розрахунок просторової системи «основа-фундамент» в ПК Plaxis 3D. Розрахункові осідання, отримані в ПК Ліра, склали $32 \div 53$ мм, в ПК Plaxis 3D — $30 \div 47$ мм. Наведено проміжні результати геодезичного моніторингу осідань будівлі при завантаженні фундаментів до 50%. Наразі моніторинг за осіданнями продовжується. За наявними даними можна зробити висновок, що фактичні осідання фундаментів можуть бути меншими за розрахункові на величину до 30%.

КЛЮЧОВІ СЛОВА: барета, аналітичний розрахунок, чисельне моделювання, взаємний вплив

CALCULATION OF BARRETTE FOUNDATION SETTLEMENTS USING THE EQUIVALENT PILE MODEL

ABSTRACT

The paper presents an algorithm for analytical calculation of the barrette foundation of a high-rise building using the method described in DBN B.2.1-10-2009. The calculation of single barrettes and their groups, as well as of the entire barrette foundation is performed on an example of a high-rise building designed in complex engineering and geological conditions. The foundations of the building are the barrettes of various configurations with a width of 800 mm in the plan and a length of 34.5 m. The barrettes heads are connected by a rigid connection with a 1.2 m high grillage solid slab.

The calculation model for the barrette base is verified and agreed with the results of numerical modeling in Plaxis 3D software package and soils static tests with bored piles. The barrette model for calculations is taken as a group of piles conditionally arranged within the barrette "body". The diameter of a pile is 0.8 m according to the barrette width. The pitches of conditional piles are selected individually for the barrettes of each configuration to achieve a maximum convergence of the calculations and modeling results and are from 700 to 750 mm. For piles contained in each barrette, the correction factors are determined to bring the calculated "load-settlement" dependence to the results of modeling the corresponding barrette behavior. For each standard size of barrettes, the correction factors values are selected depending on the loads range.

The calculation of the "base-foundation-structure" system is performed by the method of base stiffness variable coefficients using the Lira-Sap software package. To check the calculations results, the dubbed calculations of the "base-foundation"

spatial system in the Plaxis 3D software package are performed in parallel. The calculated settlements are $32 \div 53$ mm in the Lira software and $30 \div 47$ mm in the Plaxis 3D software. The intermediate results of building settlements geodetic monitoring are given for the foundation loading up to 50%. The settlements monitoring is currently ongoing. Based on the available data, it is possible to conclude that the actual foundations settlements values can be less than the calculated ones up to 30%.

KEY WORDS: barrette, analytical calculation, numerical modeling, mutual influence

ВСТУП

Барети являють собою опори глибокого закладання, що виконуються за технологією «стіна в ґрунті». Застосовуються при навантаженнях $>0,8$ МПа (переважно для висотних будівель), як альтернатива буронабивним палям великого діаметра. Форма барет в плані може бути прямокутна, або різні комбінації прямокутників, що підбирається при проектуванні виходячи з принципу співвісної передачі навантаження від вертикальних конструкцій каркасу.

Важливою є достовірна оцінка несучої здатності та прогнозованих осідань баретного фундаменту. На стадії проектування це дозволяє розв'язати дві основні задачі: по-перше, мінімізувати вплив деформацій на надфундаментні конструкції за рахунок оптимізації розміщення та геометричних параметрів барет; по-друге, оцінити вплив на оточуючу забудову від осідань запроектованої будівлі.

Для підвищення ефективності використання баретних фундаментів, особливо складних геологічних умовах, необхідно удосконалювати методи їх розрахунків.

АНАЛІЗ ОСТАННІХ ДЖЕРЕЛ І ПУБЛІКАЦІЙ

За останні кілька років тема розрахунку барет піднімалась в наукових статтях зарубіжних вчених та інженерів-геотехніків. Питання взаємодії одиночних барет та їх груп з ґрунтовою основою розглядаються в роботах D. Basu (США) [1], Тер-Мартirosян З.Г. (РФ) [2], Шулятьев О.М. (РФ) [3] та ін [4÷6]. Спосіб використання еквівалентних круглих паль для розрахунку прямокутних барет розглянуто в роботі H.G. Poulos та H.S.W. Chow, Австралія, 2019 [7]. Дослідження спрямовані переважно на пошук аналітичної, або чисельно-аналітичної методики розрахунку, що дозволяла б отримувати достовірний НДС системи «основа-барета» при порівняно невеликих затратах трудових та фінансових ресурсів. В основі методик тою чи іншою мірою лежить верифікація результатів аналітичних розрахунків з чисельним моделюванням або експериментальними



даними.

ВИДІЛЕННЯ НЕВИРІШЕНИХ ПИТАНЬ ПРОБЛЕМИ, ЩО РОЗГЛЯДАЄТЬСЯ

Серед основних проблем, з якими може зіткнутись проектувальник при розрахунку баретного фундаменту вважаємо за необхідне виділити наступні: значна трудомісткість чисельних методів розрахунку, відсутність регламентованих національними стандартами моделей і методик розрахунку, складність виконання натурних випробувань ґрунтів баретами.

Дослідження поведінки одиночної барети в масиві ґрунту успішно виконується з використанням чисельних методів розрахунку в спеціалізованих програмних комплексах, таких як Plaxis 3D, Midas GTS NX тощо. Вирішення питання взаємодії барет в групі дещо ускладнює задачу, а моделювання повноцінного баретного фундаменту (та його подальше коригування в рамках варіантного проектування) в цих ПК призводить до суттєвих трудовитрат. Крім того, згідно з вимогами ДБН В.2.1-10:2018 «Основи та фундаменти будівель і споруд» [8] розрахункова схема споруд класу наслідків СС3 повинна враховувати просторову роботу каркасу при визначенні навантажень на фундамент. Ця проблема може бути вирішена шляхом використання аналітичного методу розрахунку, суть якого викладено нижче.

На даний час нормативні документи та стандартистосовно проектування основ та фундаментів не містять методик розрахунку барет за несучою здатністю та деформаціями. Згідно з вимогами [8] розрахункові моделі та методики, що не регламентовані національними стандартами, слід верифікувати шляхом перевірки відповідності результатів розрахунку натурним дослідженням (випробуванням, спостережен-

ням) чи тестовим прикладам, для яких відомі аналітичні розв'язки.

Випробування ґрунтів баретами на майданчику пов'язано з труднощами підбору необхідного обладнання (домкрати, противага, анкерні палі) для передачі навантажень в межах $3000 \div 5000$ т.

В статті приведено алгоритм розрахунку барет з використанням результатів випробувань ґрунтів палями $\varnothing 820$ мм та розв'язання задачі про переміщення стрижня в пружному півпросторі згідно з додатком П [9].

ПОСТАНОВКА ЗАВДАННЯ

Дослідження виконано на прикладі 33-поверхової будівлі в м. Києві. Будівництво розпочато у 2019 році, станом на початок 2022 року зведено 24 поверхи, будівництво продовжується. Фундаменти будівлі – барети шириною 800 мм різної конфігурації в плані, довжиною 34,5 м. Голови барет об'єднані жорстким сполученням з суцільною плитою ростверку, висотою 1,2 м.

Під подошвою барет залягають піски щільні пілуваті. По бічній поверхні барет у верхній частині розрізу залягають насипні ґрунти неоднорідного складу і потужності, що підстеляються мергельними твердими глинами. Під подошвою ростверку залягають насипні ґрунти з низькими фізико-механічними характеристиками. У зв'язку з цим реакцію ґрунту по підшві ростверку не враховано.

На майданчику будівництва були проведені випробування ґрунтів буронабивними палями $\varnothing 820$ мм статичним вдавлюючим навантаженням (5 паль). Результати випробувань використані надалі для верифікації розрахункової моделі системи «основа-барета».

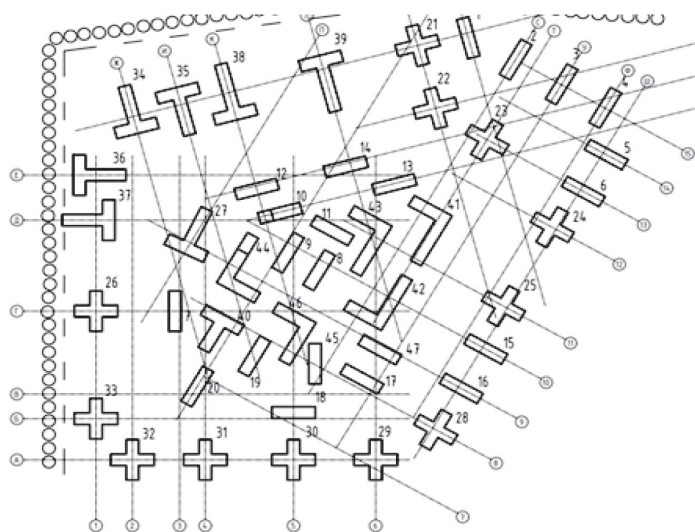
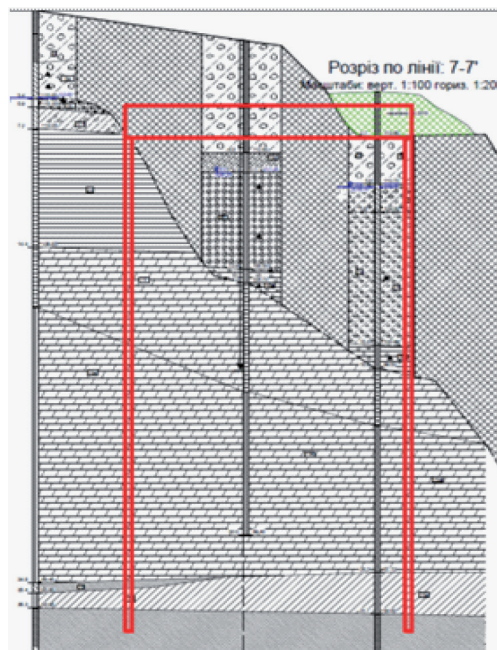


Рисунок 1 – Схема розташування барет в плані та з посадкою на інженерно-геологічний розріз





ОСНОВНИЙ МАТЕРІАЛ І РЕЗУЛЬТАТИ

Нижче наведено алгоритм розрахунку системи «основа-барети-споруда»:

1. Визначення теоретичної несучої здатності F_d палі, що підлягала випробуванням. Розрахунки виконано відповідно до додатка Н.2 [9]. Надалі для спрощення подачі матеріалу розглядається лише одна паля і відповідна їй будова ґрунтової основи. На практиці ж відповідно до мінливості інженерно-геологічних умов майданчик розділяється на відповідні розрахункові ділянки.
2. Будується теоретична залежність «навантаження-осідання» для випробуваної палі за результатом аналітичного розрахунку згідно додатка П [9] за формулою:

$$s_1 = \frac{s_e P}{P_u - P} \quad (1)$$

де s_e – пружна складова осідання палі, що визначається за формулою П.1.2 [9], при навантаженні на палю P_e ;

P_e – навантаження, кН, що обмежує лінійну ділянку спільного осідання (від стиснення стовбура та осідання ґрунтової основи) голови палі (межа пропорційності);

за відсутності результатів натурних випробувань палі приймаємо $P_e = 0,5P_u$;

P_u – величина граничного опору палі – навантаження, за якого вичерпується несуча здатність основи F_d .

Прийнято $P_u = 1,25F_d$ відповідно до рекомендацій [9].

3. Будується теоретична залежність «навантаження-осідання» для випробуваної одиночної палі за результатом чисельного моделювання роботи просторової системи «ґрунт-паля» методом скінченних елементів (Plaxis 3D, модель ґрунту “Hardening soil”).
4. Верифікація моделі «основа-паля» шля-

хом порівняння графіків залежності «навантаження-осідання», що отримані за результатами натурних випробувань, чисельного моделювання та аналітичних розрахунків (рис. 2). Для досягнення прийнятної збіжності натурних та розрахункових осідань варіювались наступні параметри:

- в «Plaxis 3D» міцність інтерфейсів на контакті поверхонь палі та ґрунту;
 - при розрахунку за додатком П [9] -- k_f – коефіцієнт умов роботи ґрунту вздовж бічної поверхні палі, прийнято $k_f = 1,3$ та P_e – навантаження, що обмежує лінійну ділянку осідання голови палі, прийнято $P_e = 0,4F_d$. Решта розрахункових параметрів ґрунтів прийнята відповідно до даних інженерно-геологічних вишукувань.
5. Після узгодження результатів статичних випробувань, чисельного моделювання та аналітичних розрахунків було підібрано параметри розрахункової моделі барети для розрахунків за додатком П [9]. Модель барети прийнята в розрахунках як група паль, розміщених умовно в межах «тіла» барети. Діаметр паль прийнятий 0,8 м, по ширині барети. Крок паль підібраний для барети кожної конфігурації індивідуально для досягнення максимальної сходимості результатів розрахунків та моделювання і становить від 700 до 750 мм. Для паль в складі кожної барети визначено корекційний коефіцієнт до граничного опору основи P_u (див. п.2) для приведення розрахункової залежності «навантаження-осідання» до результатів моделювання роботи відповідної барети.
 6. Будується теоретична залежність «навантаження-осідання» для одиночних барет за результатом чисельного моделювання роботи просторової системи «ґрунт-барета» методом скінченних елементів (Plaxis 3D, модель ґрунту “Hardening soil”).

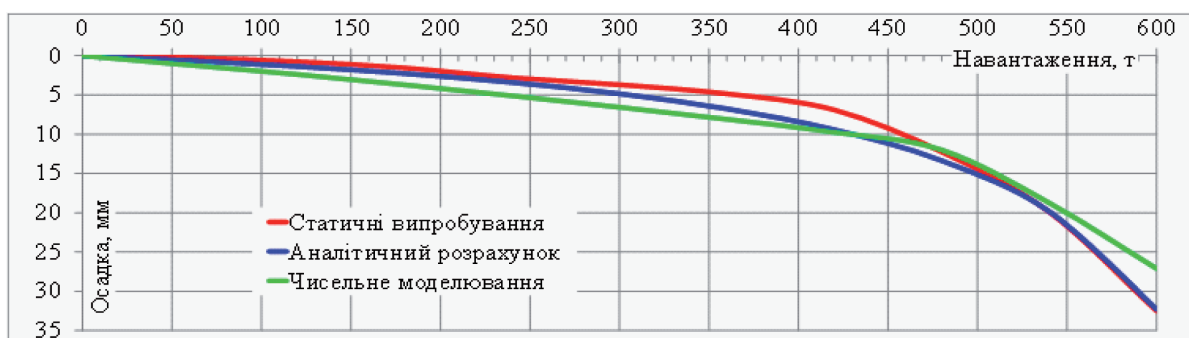


Рисунок 2 – Графік залежності «навантаження-осідання» для паль Ø820 мм



Розрахункові параметри чисельної моделі паль, отримані за результатами верифікації, застосовуються до моделі барет без змін.

7. Верифікація моделі «основа-барета» шляхом порівняння графіків залежності «навантаження-осідання», що отримані за результатами чисельного моделювання та аналітичних розрахунків (рис. 3). Для досягнення прийнятної збіжності чисельних та аналітичних рішень варіювався один параметр – відношення P_u/F_d (див. п. 2), яке за замовчуванням для одиночних паль становить $P_u/F_d=1,25$. Для барети, змодельованої палями, значення P_u/F_d є змінним і залежить від навантаження. Для кожного типорозміру барет підібрано значення коефіцієнтів корекції залежно від діапазону навантажень (рис. 3).
8. Визначаються параметри взаємодії барет у групі за результатом чисельно-

го моделювання в Plaxis 3D. Барети окремих типорозмірів розміщуються з певним кроком, що є характерним для їх розміщення в запроектованому фундаменті. Визначаються додаткові осідання барет при навантаженні однієї барети з групи, а також осідання при навантаженні всіх барет у групі.

9. Верифікація моделі «основа - група барет». В аналітичній розрахунковій схемі основи барети прийнято відповідні поправки для узгодження з результатами моделювання (рис. 4). Осідання s_i барети у фундаменті визначено з урахуванням взаємного впливу барет у фундаменті за формулою для розрахунку паль:

$$s_i = s_1 + \sum_{j=1}^n P_j s_{ij}, \quad (2)$$

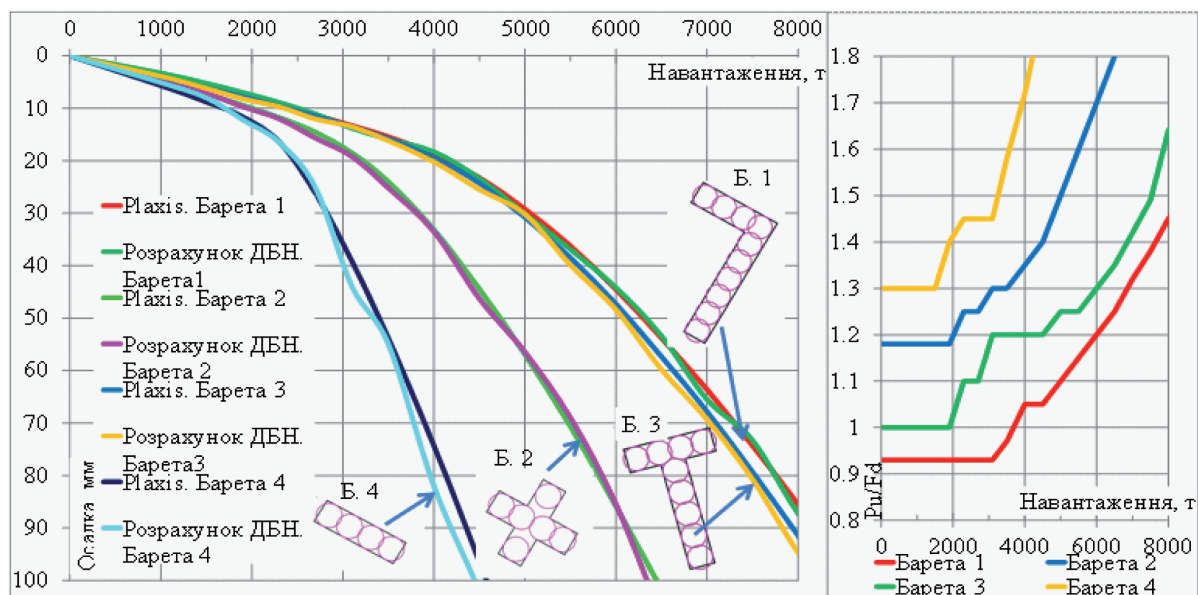


Рисунок 3 – Графік залежності «навантаження-осідання» для барет та значення параметру P_u/F_d залежно від навантаження.

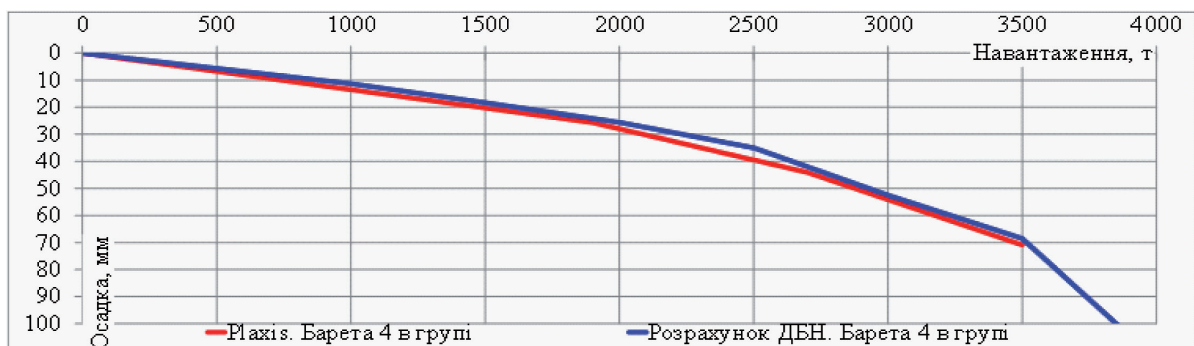


Рисунок 4 – Графік залежності «навантаження-осідання» для групи барет типу 4. Всі барети в групі навантаженні однаково, на графіку показано осідання середньої барети



де s_j – власні осідання одиночної палі від навантаження P , визначаються за (1);

P_j – навантаження на j -ту палю у фундаменті;

s_{ij} – осідання i -ої палі під дією одиночного навантаження на j -ту палю у фундаменті, визначається за формулою:

$$s_{ij} = 2(1+\nu) \frac{w_j k_b}{El} \quad (3)$$

Модуль деформації ґрунту при розрахунках впливу палей прийнято $E_{(e,i)} = 6E_s$, відстань від барети, на якій розраховується вплив на інші барети становить $14,5 \div 17,5$ м.

10. Включення розрахункової моделі основи барет в чисельну просто-

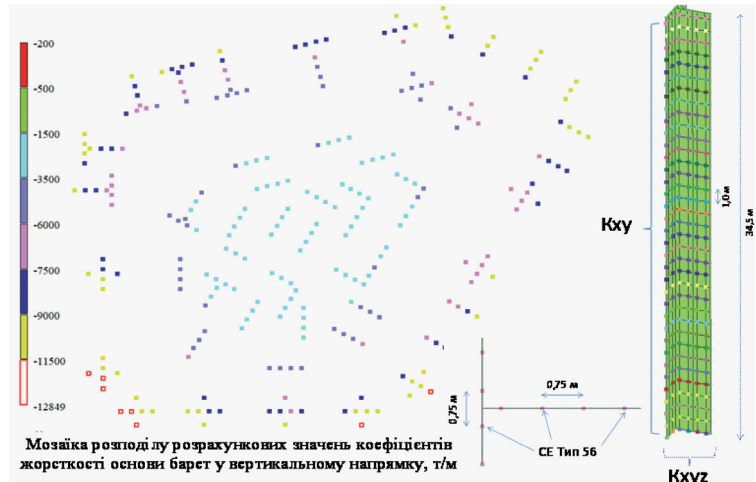


Рисунок 5 – Розрахункова модель баретив ПК Ліра-Сапр. Мозаїка розподілу значень коефіцієнтів жорсткості основи барет у вертикальному напрямку, т/м

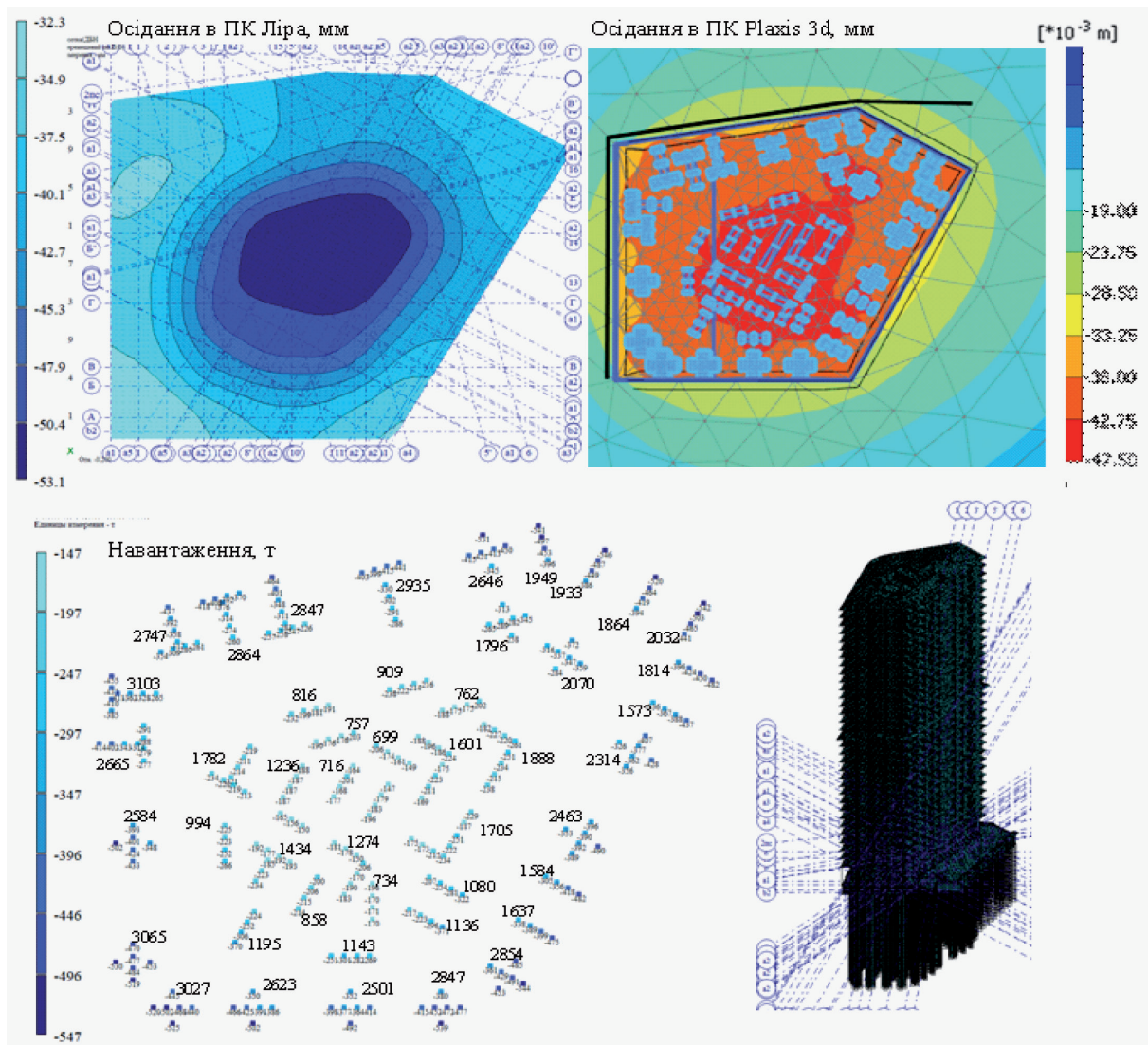


Рисунок 6 – Розрахункові осідання фундаменту та навантаження на барети



рову модель каркасу для виконання розрахунків системи «основа-фундамент-споруда». Розрахункова модель барети (рис. 5) представлено приведеною жорсткістю у вертикальному напрямку KZ та горизонтальному напрямку KXY для одновузлових елементів Типу 56, що моделюють ґрунтову основу барет.

Розрахунки з визначення коефіцієнтів жорсткості паль виконані ітераційним способом з послідовним уточненням коефіцієнтів KZ на кожній ітерації методом змінних коефіцієнтів жорсткості [10]. Ітерації виконуються до тих пір, поки не буде отримано «урівноважене» значення коефіцієнтів жорсткості основи на останній та попередній ітерації (рис. 5). Методика розрахунку фундаментів передбачає контроль несучої здатності ґрунтової основи в ході ітераційного процесу шляхом використання нелінійних залежностей «навантаження-осідання» для кожної розрахункової барети.

Коефіцієнти жорсткості основи паль в горизонтальному напрямі KX та KY визначено відповідно до додатка Н [9]. Для визначення початкових значень коефіцієнтів жорсткості виконувався одностадійний розрахунок паль, що приймається в умовах можливого розвитку тільки першої стадії НДС системи «паль-ґрунт». В процесі ітераційного розрахунку коригувались значення коефіцієнтів з умови забезпечення несучої здатності ґрунту по бічній поверхні барети [11,12].

11. Виконується аналіз НДС системи «основа-фундамент-споруда». Отримано розподіл навантажень на барети, їх осідання з урахуванням просторової жорсткості каркасу, взаємного впливу барет та мінливості геологічних умов майданчику (рис. 6).

Для контролю результатів розрахунків паралельно виконано дублюючий розрахунок просторової системи «основа-барети» в ПК Plaxis 3D. Модель включає всі барети фундаменту, навантаження визначені з розрахунку в ПК Ліра на попередньому етапі. Розрахункові осідання, отримані в ПК Ліра ($32 \div 53$ мм) та ПК Plaxis 3D ($30 \div 47$ мм) є співставними (рис. 6). На час підготовки цього матеріалу каркас будівлі зведено до 24-го поверху, частково завантажено огорожуючими конструкціями. Поточні навантаження складають близько 48 % від розра-



Рисунок 7 – Розрахункові осідання фундаменту та навантаження на барети

хункових. Відповідно до даних геодезичного моніторингу осідання мали лінійний характер до рівня навантажень 35%, що відповідає фазі нормального ущільнення ґрунту, значення осідань при цьому склали 5 мм проти розрахункових 15 мм. В межах навантажень 35-48% крива осідань змінює напрям, що відповідає початку фази зсувів (рис. 7). Наразі моніторинг за осіданнями продовжується, після завантаження будівлі та затухання деформацій можна бути зробити висновки про співставність результатів розрахунків з фактичними даними.

ВИСНОВКИ

Запропонований алгоритм аналітичного розрахунку баретного фундаменту дозволяє досягти прийнятного наближення до результатів чисельного моделювання. При цьому використовуються результати випробувань ґрунтів палями та методики розрахунку палевих фундаментів. Верифікація розрахункової моделі основи барети виконується на етапах дослідження залежності «навантаження-осідання» для одиночної барети, групи барет та баретного фундаменту в цілому. Цей підхід дає можливість виконувати розрахунок сумісної роботи основи фундаменту та каркасу в єдиній системі, як того вимагають державні будівельні норми.



БІБЛІОГРАФІЧНИЙ СПИСОК

1. Basu D., Prezzi M., Salgado R., Chakraborty T. Settlement analysis of piles with rectangular cross sections in multi-layered soils. *Computers and Geotechnics journal*. 2008. V.35, No. 4. P. 563–575. URL: https://www.researchgate.net/publication/228534595_Settlement_analysis_of_piles_with_rectangular_cross_sections_in_multi-layered_soils.
2. Сидоров В.В., Степанищев К.Ю. Исследование взаимодействия баррета с основанием с учетом их размера и формы. *Вестник ПНИПУ. Строительство и архитектура*. 2017. Т.8, №3. С. 78-88. URL: <https://ered.pstu.ru/index.php/CG>.
3. Shulyatiev O., Dzagov A., Bokov I. and Shuliatev S. Correction of soil design parameters for the calculation of the foundation based on the results of barrettes static load test. *Proceedings for 18th International Conference on Soil Mechanics and Geotech. Paris, 2013*. P.615-618. URL: <https://www.cfms-sols.org/sites/default/files/Actes/615-618.pdf>.
4. Plumbridge G.D., Sze J.W.C. and Tham T.T.F. Full scale lateral load tests on bored piles and a barrette. *Proceedings of 19th Annual Seminar of the Geotech. Division, Hong Kong Institution of Engineers, Causeway Bay, Hong Kong, 2000*. P. 211–220.
5. Jitesh T. Chavda, Dodagoudar G. R. Evaluation of Ultimate Capacity of a Single Barrette using Finite Element Analysis. *Department of Civil Engineering, Indian Institute of Technology Madras, Chennai. Indian Geotechnical Conference GeoNest 14-16 December, 2017. IIT Guwahati, India*. URL: http://www.igs.org.in:8080/portal/igc-proceedings/igc-2017-guwahati-proceedings/Theme16/Th16_314.pdf.
6. Lei G., Hong X., Approximate three-dimensional analysis of rectangular barrette-soil-cap interaction. *Canadian Geotechnical Journal*. 2007. Vol. 44, No. 7. P. 781-796.
7. Poulos H. G., Chow H. S. W. and Small J. C. The Use of Equivalent Circular Piles to Model the Behaviour of Rectangular Barrette Foundations. *Geotechnical engineering of the SEAGS and AGSSEA*. 2019. Vol 50, No. 3. P. 106-109. URL: https://www.researchgate.net/publication/335260089_The_Use_of_Equivalent_Circular_Piles_to_Model_the_Behaviour_of_Rectangular_Barrette_Foundations.
8. ДБН В.2.1-10-2018. Основи і фундаменти будівель та споруд. Основні положення. [Чинний від 2019-01-01]. Вид. офіц. Київ: Мінрегіон України, 2019. 36 с.
9. ДБН В.2.1-10-2009. Основи і фундаменти будівель та споруд. Основні положення. Зміна 1. Вид. офіц. Київ: Мінрегіонбуд України, 2011. 57 с.
10. Червинский Я. И. Совместный расчет системы «сооружение-основание» с применением метода переменных коэффициентов жесткости основания. *Зб. наукових праць Серія «галузеве машинобудування, буд-во»*. 2010. Вип. 3 (28). С. 278-285.
11. Дворник А.М., С.П. Безсалова (2018) Чисельне моделювання споруд огороження котлованів. *Ресурсоєкономні матеріали, конструкції, будівлі та споруди*. Рівне: НУВГП, вип. 36. – С. 228-239. : http://nbuv.gov.ua/UJRN/rmkbs_2018_36_31.
12. Домбровский Я. И. Особенности работы свайных фундаментов в грунтах основания при действии горизонтальных нагрузок. *Збірник наукових праць Серія «галузеве машинобудування, будівництво»*. 2012. Т. 2, вип. 4 (34). С. 72-84.

REFERENCES

1. Basu, D., Prezzi, M., Salgado, R., & Chakraborty, T. (2008). Settlement analysis of piles with rectangular cross sections in multi-layered soils. *Computers and Geotechnics journal*, 35, 4, 563–575. Retrieved from https://www.researchgate.net/publication/228534595_Settlement_analysis_of_piles_with_rectangular_cross_sections_in_multi-layered_soils.
2. Sidorov, V.V., & Stepanishchev, K.Yu. (2017). Study of interaction between barrettes and soil base considering their sizes and shapes. *Bulletin of PNRPU. Construction and Architecture*, 8, 3, 78-88. DOI: 10.15593/2224-9826/2017.3.09
3. Shulyatiev, O., Dzagov, A., Bokov, I., & Shuliatev, S. (2013). Correction of soil design parameters for the calculation of the foundation based on the results of barrettes static load test. In: *Proceedings of the 18th International Conference on Soil Mechanics and Geotechnical Engineering*, pp. 615-618. Paris. Retrieved from: <https://www.cfms-sols.org/sites/default/files/Actes/615-618.pdf>.
4. Plumbridge, G.D., Sze, J.W.C., & Tham, T.T.F. (2000). Full scale lateral load tests on bored piles and a barrette. In: *Proceedings of the 19th Annual Seminar of the Geotechnical Division, Hong Kong Institution of Engineers*, pp. 211–220.
5. Chavda, J. T., & Dodagoudar, G. R. (2017). Evaluation of Ultimate Capacity of a Single Barrette using Finite Element Analysis. In: *Extended abstracts of Indian Geotechnical*



- Conference 2017 GeoNEst, IIT Guwahati. Retrieved from: http://www.igs.org.in:8080/portal/igc-proceedings/igc-2017-guwahati-proceedings/Theme16/Th16_314.pdf.
6. Lei, G., & Hong, X. (2007). Approximate three-dimensional analysis of rectangular barrette-soil-cap interaction. *Canadian Geotechnical Journal*, 44, 7, 781-796.
 7. Poulos, H. G., Chow, H. S. W., & Small, J. C. (2019). The Use of Equivalent Circular Piles to Model the Behaviour of Rectangular Barrette Foundations. *Geotechnical Engineering Journal of the SEAGS and AGSSEA*, 50, 3, 106-109. Retrieved from: https://www.researchgate.net/publication/335260089_The_Use_of_Equivalent_Circular_Piles_to_Model_the_Behaviour_of_Rectangular_Barrette_Foundations.
 8. Bases and foundations of buildings and structures. Main principles: DBN V. 2.1-10:2018. (2019).
 9. Bases and foundations of structures. Main provisions of design: DBN V. 2.1-10:2009. Amendment No. 1. (2011).
 10. Chervinskii, Ya. I. (2010). Joint calculation of the "structure-foundation" system using the method of variable coefficients of foundation stiffness. *Academic Journal "Industrial Machine Building, Civil Engineering"*, 3 (28). 278-285.
 11. Dvornik, A. M., & Bezsalova, S. P. (2018). Numerical modeling of pit fencing structures. Collection of scientific works "Resource-saving materials, constructions, buildings and structures", 36, 228-239. Rivne: NUWEE. Retrieved from: http://nbuv.gov.ua/UJRN/rmkbs_2018_36_31.
 12. Dombrovskii, Ya. I. (2012). Pile foundations behavior in the base soils under the horizontal loads action. *Academic Journal "Industrial Machine Building, Civil Engineering"*, 2, 4(34), 72-84.

Стаття надійшла до редакції 04.01.2022 року



Doi: <https://doi.org/10.33644/2313-6679-16-2022-4>

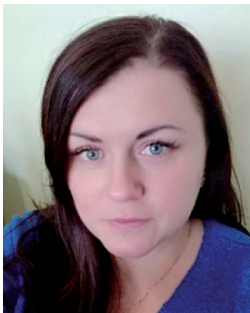
УДК (045)



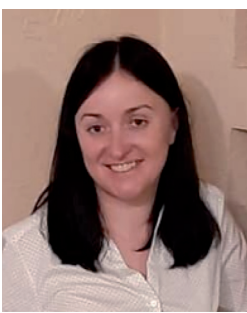
ДОМБРОВСЬКИЙ Я. І.
Завідувач лабораторії,
ДП «Державний науково-
дослідний інститут будівельних
конструкцій»,
м. Київ, Україна,
355niisk356@gmail.com,
тел. +38 (067) 420-57-55,
ORCID: 0000-0003-0687-1256



СТЕПАНЧУК С. В.
Старший науковий співробітник,
ДП «Державний науково-
дослідний інститут будівельних
конструкцій»,
м. Київ, Україна,
e-mail: serij19071982@gmail.com,
tel. +38 (097) 645-38-70,
ORCID: 0000-0002-5591-1827



ШИДЛОВСЬКА О. В.
Молодший науковий
співробітник, ДП «Державний
науково-дослідний інститут
будівельних
конструкцій»,
м. Київ, Україна,
e-mail: shidoksana@gmail.com,
tel. +38 (068) 476-16-18,
ORCID: 0000-0002-7126-9133



ШПАКОВСЬКА О. М.
Молодший науковий
співробітник, ДП «Державний
науково-дослідний інститут
будівельних конструкцій»,
м. Київ, Україна,
e-mail: andresolkaoli4ka@gmail.com,
tel. +38 (068) 476-16-12,
ORCID: 0000-0001-6063-6607



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

ОЦІНКА ВПЛИВУ НОВОГО БУДІВНИЦТВА ЖИТЛОВО-ГРОМАДСЬКОГО КОМПЛЕКСУ НА ВУЛ. ВЕЛИКА ВАСИЛЬКІВСЬКА, 143/2 У ПЕЧЕРСЬКОМУ РАЙОНІ М. КИЄВА НА ГОЛОВНИЙ МІСЬКИЙ КАНАЛІЗАЦІЙНИЙ КОЛЕКТОР

АНОТАЦІЯ

В статті наведені результати з оцінки впливу нового будівництва житлово-громадського комплексу на головний міський каналізаційний колектор, розташований у Печерському районі м. Києва, з метою з'ясування можливості руйнування колектору та його подальшого впливу на новобудову. Діаметр каналізаційного колектору становить 3,6 м. Головний міський каналізаційний колектор розташований на глибині 25÷30 м від поверхні землі. Цей факт ускладнює проектування житлово-громадського комплексу, оскільки необхідно враховувати небезпечні інженерні

ризики, інженерно-геологічну будову основи, зокрема, негативний вплив новобудови на колектор. Крім того, важливим моментом є оцінка впливу можливого руйнування колектору на новобудову. В результаті можливого руйнування міського каналізаційного колектору м. Києва відбудеться забруднення ґрунту та ґрунтових вод, що призведе до суттєвої зміни гідрогеологічного режиму у Печерському районі м. Києва, що також слід врахувати при проектуванні об'єкту будівництва.

Для оцінки впливу каналізаційного колектору на новобудову була розроблена розрахункова



ва модель системи «будівля-фундамент-грунтова основа», по якій оцінювались зміни напружено-деформованого стану ґрунту навколо колектору. За результатами розрахунків визначались значення вертикальних осідань колектору, додаткових вертикальних переміщень масиву ґрунту при руйнуванні колектору без врахування новобудови, а також додаткові осідання основи новобудови в разі руйнування колектору, що необхідно враховувати при проектуванні нового будівництва житлово-громадського комплексу. Крім того відмічено, що в результаті можливого руйнування головного міського каналізаційного колектору виникає загроза забруднення ґрунту та ґрунтових вод, що може призвести до суттєвої зміни гідрогеологічного режиму у Печерському районі м. Києва, що також слід врахувати при проектуванні новобудови.

КЛЮЧОВІ СЛОВА: будівництво, вплив, каналізаційний колектор, напружено-деформований стан, новобудова.

ASSESSMENT OF THE IMPACT OF THE RESIDENTIAL AND PUBLIC COMPLEX NEW CONSTRUCTION AT 143/2 VELYKA VASYLKYVSKA STREET IN THE PECHERSK DISTRICT OF KYIV ON THE MAIN CITY SEWER COLLECTOR

ABSTRACT

The article presents the results of the assessment of the impact of the new residential complex on the main city sewerage system, located in the Pechersk district of Kyiv. Kyiv, finding out the possibilities of destruction the collector and its subsequent impact on the new building. The diameter of the sewer is 3.6 m. The main city sewer is located at a depth of $25 \div 30$ m from the upper layer of the earth. This fact creates a project of housing and communal services, as it is necessary to build the risks of hazardous engineers, engineering and geological basis, in particular, the negative impact of the new building on the collector. In addition, an important point is to assess the impact of possible destruction of the collector on the new building. As a result of the possible destruction of the Kyiv city sewage collector, soil and groundwater pollution will occur, which will lead to a significant change in the hydrogeological regime in the Pechersk district of Kyiv, which should also be taken into account when designing the construction site.

To assess the impact of the sewer on the new building, a calculation model of the system "building-foundation-soil base" was developed, which assessed changes in the stress-strain state of the soil around the collector. The calculations determined the values of vertical subsidence of the reservoir, additional vertical displacements of the soil mass during the destruction of the reservoir without taking into account the new building, as well as additional subsidence of the

new building in case of collector destruction, that must be taken into account when designing a new construction of housing and public complex. In addition, it is noted that the possible destruction of the main city sewer threatens soil and groundwater contamination, which can lead to a significant change in the hydrogeological regime in the Pechersk district of Kyiv, which should also be taken into account when designing a new building.

KEYWORDS: construction, impact, sewer collector, stress-strain state, new building.

ВСТУП

Житлово-громадський комплекс, що проектується, розташований по вул. Велика Васильківська в Печерському районі м. Києва. Цей район, як і більшість в Києві, характеризується щільною забудовою. Проектом передбачається будівництво шести пускових комплексів. В рамках II черги будівництва розглядаються пускові комплекси 1 та 2, які розташовані в межах зони можливого впливу на каналізаційний колектор. Клас наслідків (відповідальності) житлово-громадського комплексу СС3.

Під ділянкою будівництва II черги на глибині $25 \div 30$ м від поверхні землі проходить головний міський каналізаційний колектор м. Києва діаметром 3,6 м. Цей факт ускладнює проектування об'єкту, оскільки необхідно враховувати небезпечні інженерні ризики, зокрема, негативний вплив новобудови на колектор. Крім того, важливим моментом є оцінка впливу можливого руйнування колектору та його негативний вплив на новобудову.

В результаті можливого руйнування міського каналізаційного колектору м. Києва діаметром 3,6 м відбудеться забруднення ґрунту та ґрунтових вод, що призведе до суттєвої зміни гідрогеологічного режиму в Печерському районі м. Києва, що також слід врахувати при проектуванні об'єкту будівництва.

МЕТА РОБОТИ

Оцінка зміни напружено-деформованого стану ґрунтового масиву в різних інженерно-геологічних умовах при моделюванні впливу новобудови на конструкції підземних комунікацій та їх взаємодію з ґрунтовою основою.

На основі результатів таких розрахунків виникає можливість розробки рекомендації щодо вимог до проектування будівель та споруд на різних ділянках з різними інженерно-геологічними умовами, в основі яких розташовуються різні види підземних комунікаційних колекторів і застосування цих рекомендацій на всіх етапах життєвого циклу об'єктів будівництва. Узагальнення висновків з цих робіт дозволить розробити відповідний нормативний документ.



МЕТОДИКА ДОСЛІДЖЕНЬ

Розробка розрахункової моделі системи: «будівля-фундамент-грунтова основа» для оцінки змін напружено-деформованого стану ґрунту навколо колектору, оцінки впливу каналізаційного колектору на новобудову та можливих деформацій колектору в межах впливу на нього новобудови.

ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА

Зведення будівель та споруд в складних інженерно-геологічних умовах, на слабких та просідаючих ґрунтах, в зонах впливу небезпечних геологічних процесів, а також інші небезпечні інженерні ризики розглянуті в ряді нормативних документів: ДБН В.2.1-10 (із змінами №№ 1 і 2), ДБН В.1.1-45, ДСТУ-Н Б В.1.1-39, ДСТУ-Н Б В.1.1-40, ДСТУ-Н Б В.1.1-44 [1-7]. Аналогічні питання розглядалися співробітниками ДП НДІБК щодо впливу будівництва житлового комплексу по вул. А. Барбюса в Києві на стан каналізаційного колектору та підземного водогону [8].

На даний час не розроблені рекомендації щодо оцінки впливу нового будівництва на підземні споруди (каналізаційні колектори), які здатні забезпечити в повній мірі можливість проектування будівель та споруд з врахуванням складних інженерно-геологічних умов. Їх розробка дозволить правильно виконувати оцінку впливу нового будівництва на підземні комунікації, а також враховувати можливість руйнування колекторів та їх вплив на стан існуючих споруд.

Ділянка забудови має витягнуту форму, обмежена вулицями Маккейна, Філатова та Велика Васильківська, північно-східна частина ділянки межує з житловою та муніципальною забудовою. Проектом передбачається будівництво шести пускових комплексів. В рамках II черги будівництва розглядаються пускові комплекси № 1 та № 2, які розташовані в межах зони можливого впливу на каналізаційний колектор (див. рисунок 1).

Перший пусковий комплекс передбачає будівництво двосекційного житлового будинку № 1 (секції 1.1, 1.2) та побутових приміщень. Секція 1.1 має 20 поверхів, секція 2.2 – 16 поверхів. За відносну позначку 0,000 прийнято рівень підлоги першого поверху будинку, що відповідає

абсолютній відмітці 127,0 м [9].

Конструктивна схема будинку – монолітний залізобетонний рамнов'язевий каркас із вертикальними залізобетонними діафрагмами жорсткості. Фундаменти будинку – буріон'єкційні палі Ø 820 мм, довжиною 26,95 м. Нижній кінець паль знаходиться на відмітці 95,8 м (ІГЕ-46 – глина мергельна). Загальна кількість паль – 139 шт. По верху палі житлового будинку об'єднуються монолітним залізобетонним плитним ростверком товщиною 1200 мм [9]. Клас наслідків (відповідальності) будинку № 1 – значні наслідки ССЗ [9, 10].

Другий пусковий комплекс передбачає будівництво двох перших секцій багато-секційного житлового будинку № 2. Секція 2.1 має 22 поверхи, секція 2.2 – 15 поверхів. За відносну позначку 0,000 прийнято рівень підлоги першого поверху будівлі, що відповідає абсолютній відмітці 125,95 м [10].

Конструктивна схема будинку – монолітний залізобетонний рамнов'язевий каркас із вертикальними залізобетонними діафрагмами жорсткості. Фундаменти будинку – буріон'єкційні палі Ø820 мм, довжиною 24,55 м. Нижній кінець паль знаходиться на відмітці 95,8 м (ІГЕ-46 – глина мергельна). Загальна кількість паль – 132 шт. По верху палі житлового будинку об'єднуються монолітним залізобетонним плитним ростверком товщиною 1200 мм [10].

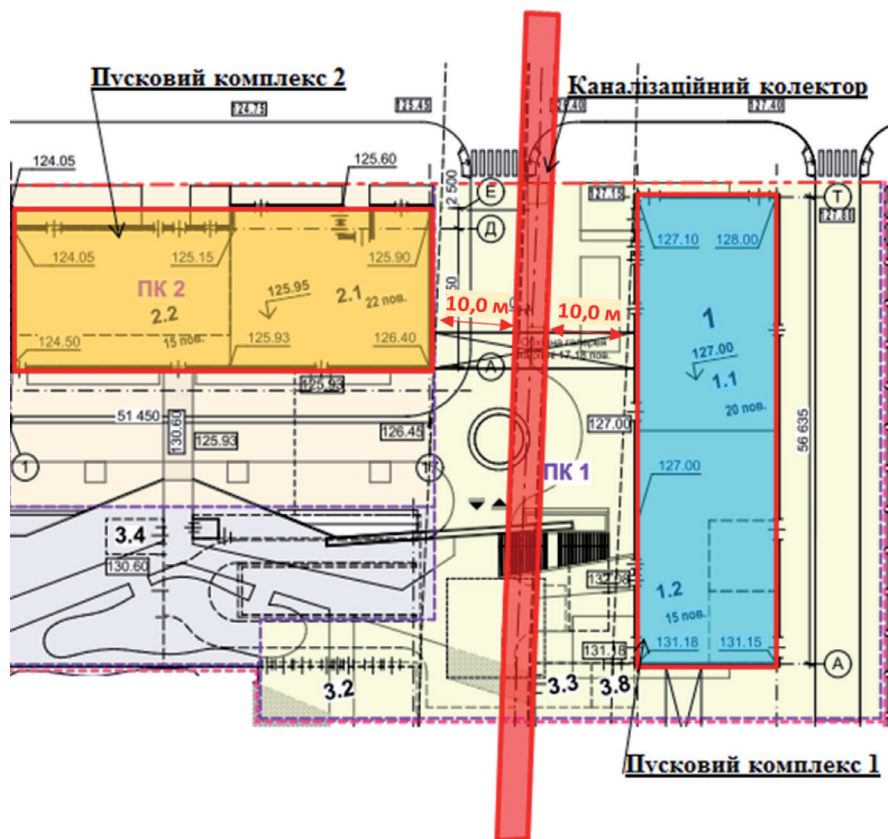


Рисунок 1 – Схема розташування пускових комплексів 1 та 2 (II черга будівництва)



Клас наслідків (відповідальності) будинку № 2 – значні наслідки СС3 [9, 10].

Відмітки поверхні землі в межах будівництва будинку №1 – $127,6 \div 129,0$ м. Палі виконуються з відмітки дна котловану $122,7$ м. Відмітки поверхні землі в межах будівництва секцій 2.1 та 2.2 – $123,2 \div 128,7$ м. Палі виконуються з відмітки дна котловану $120,3$ м. Будівельні котловани влаштовуються з укісними бортами.

Головний міський каналізаційний колектор проходить в межах ділянки будівництва. У 1999 році, технічний стан Головного міського каналізаційного колектору, який побудовано у 70-х роках ХХ століття, визнано як аварійний та непридатний до нормальної експлуатації. У 2005 році колектор внесено до Державного реєстру потенційно небезпечних об'єктів. У 2020 році завершено будівництво та прийнято у експлуатацію другу нитку Головного міського каналізаційного колектору, яка забезпечить надійнішу систему відведення стічних вод. Відмітка низу лотка колектору становить $98,3$ м. Внутрішній діаметр 3100 мм. Колектор побудований методом щитової проходки, діаметром 3600 мм (див. рисунок 2) [11].

Несучими конструктивними елементами колектору є тюбінги шириною $1,0$ м. Уклон колектору складає $i = 0,0005$. Кільце колектору складається з 7 тюбінгів та внутрішньої монолітної залізобетонної оболонки («сорочки») товщиною 140 мм. Через отвори в тюбінгах в простір між тюбінгами і щитовою проходкою виконувалось нагнітання бетону. Клас бетону тюбінгів С25/30 (за проектом). Армування тюбінгів виконується 5 стержнями $\varnothing 12$ мм. Арматура періодичного профілю.

У *структурно-геоморфологічному* відношенні територія вишукувань знаходиться в межах Української платформної рівнини, у Лесовій області, на правобережжі Дніпра у верхній частині високого лівого схилу долини р. Либідь [12].

Інженерно-геологічні вишукування на ділянці ІІ черги будівництва були проведені ДП «Український інститут інженерно-технічних розвідувальних робіт для будівництва» у лютому-квітні 2020 року [12]. У вересні 2020 року ТОВ «Основа» були проведені додаткові інженерно-геологічні вишукування на ділянці будівництва ІІ та ІІІ черг [13].

В геологічній будові майданчика до розвіданої глибини $60,0$ м, приймають участь: з поверхні території – сучасні насипні відклади, з включенням будівельного сміття, що покривають четвертинні делювіальні піски та супіски, з лінзами суглинків, які в свою чергу підстеляються товщею палеогенових відкладів харківської серії, київського регіонального ярусу та бучацької серії.



Рисунок 2 – Конструкція каналізаційного колектору

Гідрогеологічні умови ділянки вишукувань характеризуються розповсюдженням декількох водоносних горизонтів, приурочених до відкладів різного віку. Перший від поверхні безнапірний водоносний горизонт приурочений до алювіально – делювіальних відкладів. Живлення горизонту здійснюється за рахунок інфільтрації атмосферних опадів та аварійних витоків із водонесучих комунікацій. Розвантаження ґрунтових вод відбувається в р. Либідь. Прогнозне коливання рівня даного горизонту на протязі року можливе на $\pm 0,5$ м від зафіксованого під час даних вишукувань [12].

Другий від поверхні водоносний горизонт приурочений до відкладів бучацької серії, водовмісткими породами є кварцево-глауконітові піски, рівень водоносного горизонту зафіксований в межах абсолютних відміток $85,15 \div 80,60$ м [12].

РЕЗУЛЬТАТИ РОЗРАХУНКІВ

Для оцінки впливу міського каналізаційного колектору на новобудову була розроблена розрахункова модель системи: «будівля-фундамент-ґрунтова основа», по якій оцінювались зміни напружено-деформованого стану ґрунту навколо колектору та визначились деформації [14].

Оцінка зміни НДС ґрунтової основи міського каналізаційного колектору виконана методом чисельного моделювання. Метою розрахунків є визначення основних технічних параметрів напружено-деформованого стану системи «основа-споруда»: деформації основи, приріст деформацій колектору від ваги новобудови у період експлуатації та при його можливому руйнуванні.

Розрахунки включали такі основні етапи:

1. Складання розрахункової моделі як систе-



ми «грунтовий масив – колектор - новобудова» для виконання розрахунку з визначення впливу новобудови на колектор і при руйнуванні колектору на новобудову.

2. Призначення геометричних та жорсткісних параметрів елементів системи, навантажень та впливів, розрахункових фаз, що відповідають етапам будівництва.
3. Виконання розрахунків з імітаційного моделювання функціонування системи та визначення основних технічних параметрів напружено-деформованого стану її елементів.
4. Аналіз зміни основних параметрів напружено-деформованого стану напружено-деформованого стану елементів системи «грунтовий масив колектор-новобудова» - деформації основи, приросту напружень у ґрунті навколо колектору при його можливому руйнуванні.

Для вирішення поставлених задач в даній роботі виконано розрахунки, які дозволили змоделювати додаткове навантаження масиву ґрунту від будинків № 1 та № 2, що проектується, і оцінити зміну технічних параметрів напружено-деформованого стану системи «основа-колектор-фундамент». Для визначення змін в напружено-деформованому стані системи моделювався фрагмент масиву ґрунту в тривимірній моделі з врахуванням всіх етапів будівництва.

В розрахунковій моделі (див. рисунок 3) враховані: колектор, влаштування котловану, фундаменти новобудови. Навантаження від надфундаментної частини новобудови задано відповідно до даних наданих Замовником.

Розрахунки з визначення напружено-

деформованого стану ґрунтового масиву виконано ітераційним способом по моделі «твердіючого тіла». Це гіперболічна модель пружно-пластичного типу, яка формується в рамках пластичності із твердінням при зсуві. Крім того, дана модель враховує твердіння при стиску, з метою моделювання незворотного ущільнення ґрунту при попередньому його стисненні від навантаження.

Розрахунковий ітераційний процес виконувався з врахуванням всіх етапів, що відповідають послідовності будівництва за наступними фазами [14]:

Вплив новобудови на колектор:

- Фаза 1 – гравітаційне навантаження масиву ґрунту;
- Фаза 2 – влаштування колектору;
- Фаза 3 – розробка ґрунту до відмітки дна котловану;
- Фаза 4 – моделювання фундаменту новобудови;
- Фаза 5 – моделювання навантаження від власної ваги залізобетонних конструкцій будівлі (будівельний випадок);
- Фаза 6 – моделювання навантаження від повної ваги будівлі (експлуатаційний випадок).

Результати розрахунків наведені на рисунках 4÷6.

Вплив руйнування колектору на новобудову:

- Фаза 7 – моделювання руйнування колектору (без врахування новобудови);
- Фаза 8 – моделювання руйнування колектору (на етапі влаштування фундаментів новобудови);
- Фаза 9 – моделювання руйнування колектору (на етапі експлуатації новобудови).

Результати розрахунків наведені на рисунках 7÷9.

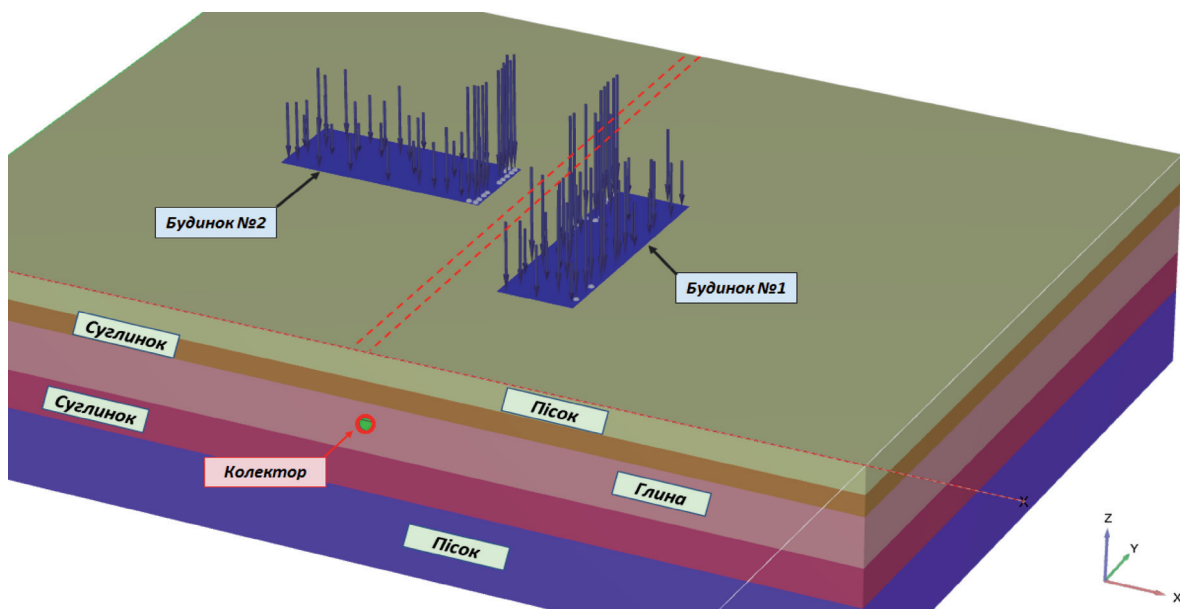


Рисунок 3 – Схема до розрахунку напружено-деформованого стану системи «ґрунтова основа-колектор-новобудова»

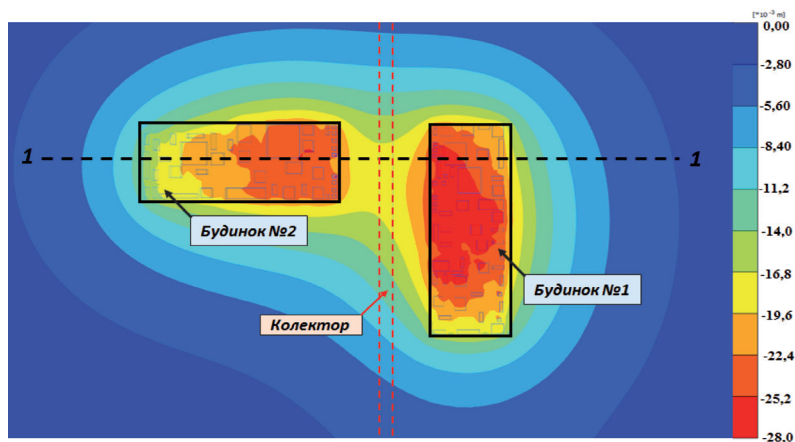


Рисунок 4 – Ізополя вертикальних переміщень при прикладанні власної ваги конструкцій в рівні низу фундаментів (будівельний випадок)

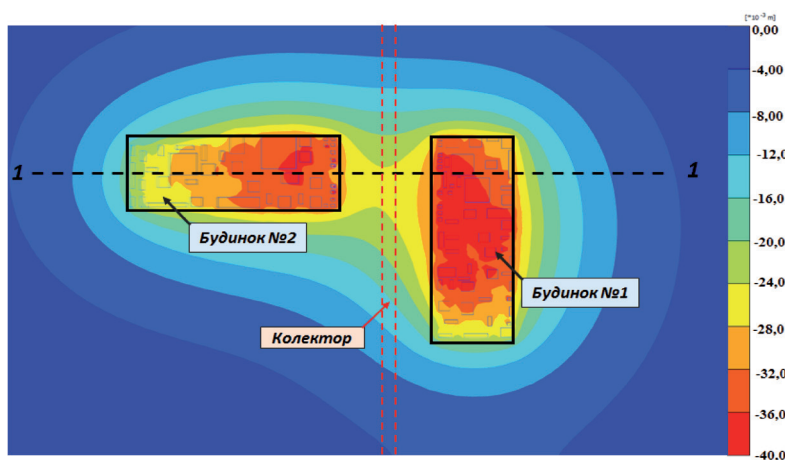


Рисунок 5 – Ізополя вертикальних переміщень при прикладанні повної ваги будинку в рівні низу фундаментів (експлуатаційний випадок)

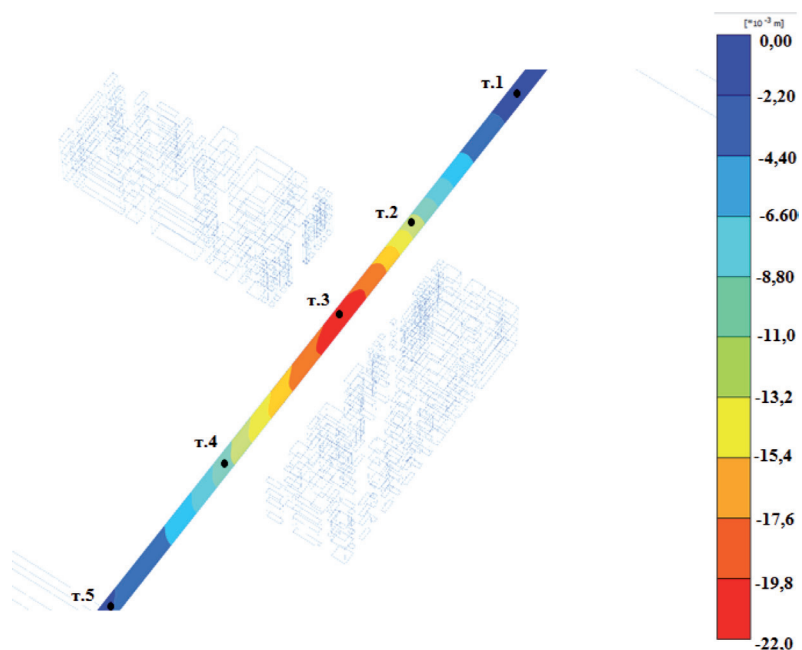


Рисунок 6 – Ізополя вертикальних переміщень по довжині колектору

РЕЗУЛЬТАТИ РОЗРАХУНКІВ ВПЛИВУ НОВОГО БУДІВНИЦТВА НА КОЛЕКТОР

За результатами розрахунків напружено-деформованого стану додаткові вертикальні осідання основи новобудови (експлуатаційний випадок) становлять 40,0 мм, значення абсолютних вертикальних осідань колектору становлять 22,0 мм. В разі руйнування колектору додаткові вертикальні осідання основи новобудови можуть скласти 4,6 мм, що необхідно врахувати при проектуванні.

ВИСНОВКИ

1. Будівництво житлово-громадського комплексу не приведе до зміни технічного стану колектору, а функціонування головного міського каналізаційного колектору (при плановій реконструкції до 2025 року), що проходить через ділянку будівництва, не матиме негативних наслідків для його експлуатації.
2. В результаті виконаних розрахунків системи «грунтовий масив-колектор-будівля» визначені додаткові деформації колектору, які становлять 22,0 мм.
3. На основі аналізу виконаних розрахунків зміни напружено-деформованого стану системи «грунтовий масив-колектор-новобудова» встановлено:
 - додаткові вертикальні осідання основи новобудови (експлуатаційний випадок) становлять 40,0 мм.
 - значення абсолютних вертикальних осідань колектору становлять 22,0 мм.
4. В разі руйнування колектору додаткові вертикальні осідання основи новобудови можуть скласти 4,6 мм, що необхідно врахувати при проектуванні новобудови.
5. Крім того, в результаті можливого руйнування міського каналізаційного колектору м. Києва діаметром 3,6 м відбудеться забруднення ґрунту та ґрунтових вод, що призведе до суттєвої зміни гідрогеологічного режиму в Печерському районі м. Києва, що слід врахувати при проектуванні новобудови.

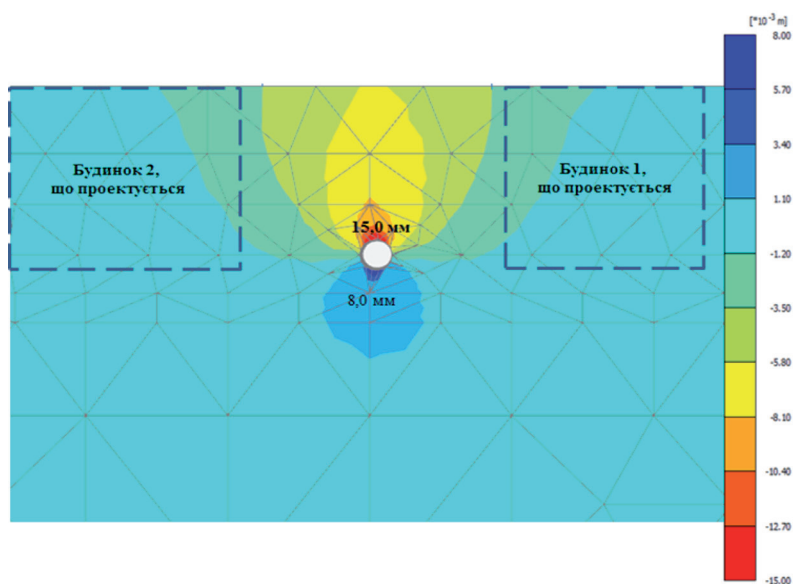


Рисунок 7 – Ізополя додаткових вертикальних переміщень масиву ґрунту при руйнуванні колектору (без врахування новобудови)

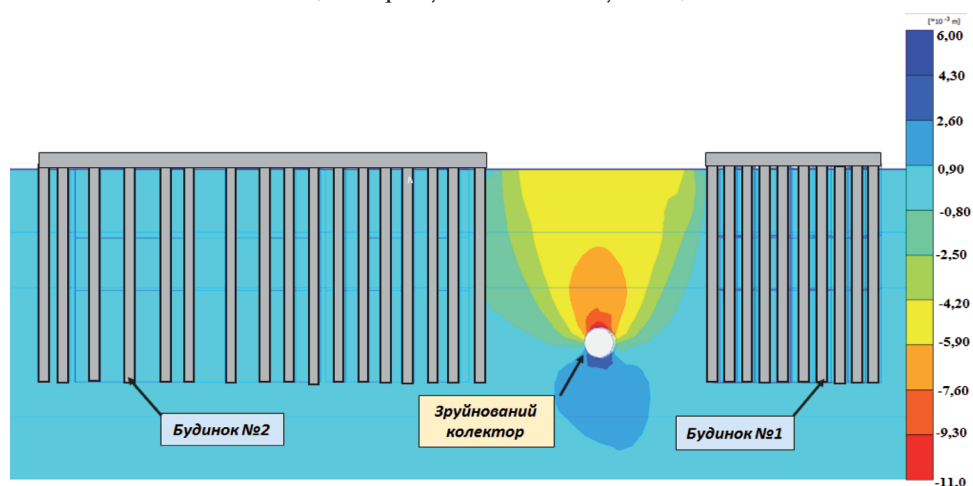


Рисунок 8 – Ізополя вертикальних переміщень масиву ґрунту при руйнуванні колектору (на етапі влаштування фундаментів новобудови)

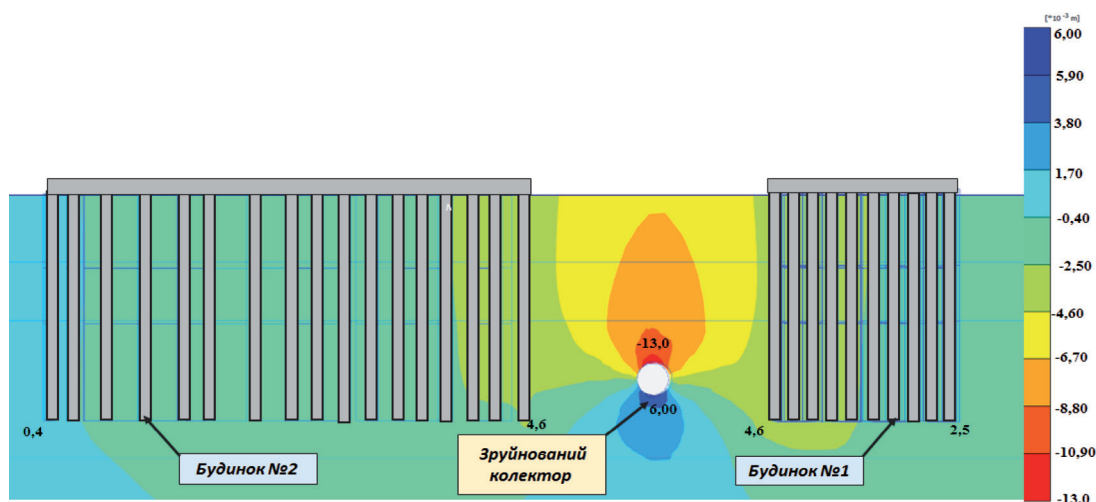


Рисунок 9 – Ізополя вертикальних переміщень масиву ґрунту при руйнуванні колектору (на етапі експлуатації новобудови)



БІБЛІОГРАФІЧНИЙ СПИСОК

1. Основи та фундаменти споруд. Основні положення проектування: ДБН В.2.1-10:2009. [Чинні від 2009-07-01]. – К.: Мінрегіон України, ДП «Укрархбудінформ», 2009. – 78 с. – (Державні будівельні норми).
2. Основи та фундаменти споруд. Основні положення проектування: ДБН В.2.1-10:2009. Зміна № 1. [Чинна від 2011-07-01]. – К.: Мінрегіон України, ДП «Укрархбудінформ», 2011. – 55 с. – (Державні будівельні норми).
3. Основи та фундаменти споруд. Основні положення проектування: ДБН В.2.1-10:2009. Зміна № 2. [Чинна від 2012-07-01]. – К.: Мінрегіон України, ДП «Укрархбудінформ», 2012. – 18 с. – (Державні будівельні норми).
4. Будівлі і споруди в складних інженерно-геологічних умовах. Загальні положення: ДБН В.1.1-45:2017. [Чинна від 2017-10-01]. – К.: Мінрегіон України, ДП «Укрархбудінформ», 2017. – 23 с. – (Державні будівельні норми).
5. Настанова щодо інженерної підготовки ґрунтової основи будівель і споруд: ДСТУ-Н Б В.1.1-39:2016. [Чинні від 2017-04-01]. – К.: Мінрегіон України, ДП «Укрархбудінформ», 2009. – 71 с. – (Державний стандарт України).
6. Настанова щодо проектування будівель і споруд на слабких ґрунтах: ДСТУ-Н Б В.1.1-40:2016. [Чинні від 2017-04-01]. – К.: Мінрегіон України, ДП «Укрархбудінформ», 2017. – 66 с. – (Державний стандарт України).
7. Настанова щодо проектування будівель і споруд на просідаючих ґрунтах: ДСТУ-Н Б В.1.1-44:2016. [Чинні від 2017-04-01]. – К.: Мінрегіон України, ДП «Укрархбудінформ», 2017. – 95 с. – (Державний стандарт України).
8. В. Д. Шумінський, С. В. Степанчук, Я. І. Домбровський, С. М. Костецька, Є. Г. Косточка Вплив будівництва житлового комплексу по вул. А. Барбюса в Києві на стан каналізаційного колектору та підземного водогону. Галузеве машинобудування, будівництво: зб. наук. праць. – Полтава, 2018. – Вип. 2 (51) – С. 115-123.
9. Будівництво житлово-громадського комплексу з об'єктами соціального призначення на вул. Велика Васильківська, 143/2 у Печерському районі м. Києва (II черга будівництва). Житловий будинок за ГП №1. Секції 1.1÷1.2. – Дніпро: ТОВ «ДАКК», 2020.
10. Будівництво житлово-громадського комплексу з об'єктами соціального призначення на вул. Велика Васильківська, 143/2 у Печерському районі м. Києва (II

черга будівництва). Житловий будинок за ГП №2. Секції 2.1÷2.8. – Дніпро: ТОВ «ДАКК», 2020.

11. Лист № 71/6/602-19 від 24.01.2019 ПРАТ АК «Київводоканал».
12. Будівництво житлово-громадського комплексу з об'єктами соціального призначення на вул. Велика Васильківська, 143/2 у Печерському районі м. Києва. Науково-технічний звіт про інженерно-геологічні вишукування. – Київ: ДП «УКРІНТР», 2020.
13. Будівництво житлово-громадського комплексу з об'єктами соціального призначення на вул. Велика Васильківська, 143/2 у Печерському районі м. Києва. Інженерно-геологічні вишукування. Шифр 11/06-1702-ІГ.ГД – Київ: ТОВ «Основа», 2020.
14. Оцінка впливу об'єкту: «Будівництво житлово-громадського комплексу з об'єктами соціального призначення на вул. Велика Васильківська, 143/2 у Печерському районі м. Києва» (II черга будівництва) на Головний міський каналізаційний колектор Ду = 3100 мм. Звіт про науково-технічну роботу. – Київ: ДП НДІБК, 2021.

REFERENCES

1. Bases and foundations of structures. Main provisions of design: DBN V. 2.1-10:2009. (2009).
2. Bases and foundations of structures. Main provisions of design: DBN V. 2.1-10:2009. Amendment No. 1. (2011).
3. Bases and foundations of structures. Main provisions of design: DBN V. 2.1-10:2009. Amendment No. 2. (2012).
4. Buildings and structures in difficult engineering and geological conditions. General provisions: DBN V. 1.1-45:2017. (2017).
5. Guidelines for engineering preparation of the soil base of buildings and structures: DSTU-N B V. 1.1-39:2016. (2017).
6. Guidelines for designing buildings and structures on soft soils: DSTU- N B V. 1.1-40:2016. (2017).
7. Guidelines for designing buildings and structures on subsidence soils: DSTU- N B V. 1.1-44:2016. (2017).
8. Shuminsky, V. D., Stepanchuk, S. V., Dombrovsky, Ya. I., Kostetskaya, S. M., & Kostochka, E. G. (2018). Influence of the residential complex construction at A. Barbusse Street in Kyiv on the condition of the sewer collector and underground water supply. Branch mechanical engineering and



construction: Collection of scientific works, 2 (51), pp. 115-123. Poltava.

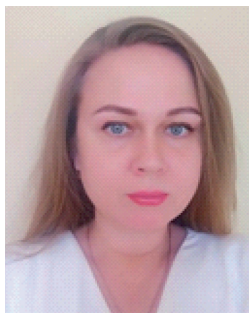
9. Construction of a Residential and Public complex with social facilities at 143/2 Velyka Vasylkivska St. in the Pechersk District of Kyiv (the construction stage II). Residential building according to the GP No. 1. Sections 1.1÷1.2. (2020). Dnipro: LLC «DHAKK».
10. Construction of a Residential and Public complex with social facilities at 143/2 Velyka Vasylkivska St. in the Pechersk District of Kyiv (the construction stage II). Residential building according to the GP No. 2. Sections 2.1÷2.8. (2020). Dnipro: LLC "DHAKK".
11. Letter No. 71/6/602-19 dated 24.01.2019 of PJSC AK «Kyivvodokanal».
12. Construction of a Residential and Public complex with social facilities at 143/2 Velyka Vasylkivska St. in the Pechersk District of Kyiv. Scientific and Technical Report on engineering and geological surveys. (2020). Kyiv: SE "UKRIINTR".
13. Construction of a Residential and Public complex with social facilities at 143/2 Velyka Vasylkivska St. in the Pechersk District of Kyiv. Engineering and geological surveys: 11/06-1702-IG.DG. (2020). Kyiv: Osnova LLC.
14. Assessment of the impact of the “Construction of the Residential and Public complex with social facilities on 143/2 Velyka Vasylkivska St. in the Pechersk District of Kyiv (the construction stage II)” project on the main city sewer Du= 3100 mm. Report on scientific and technical work. (2021). Kyiv: SE NIISK.

Стаття надійшла до редакції 28.01.2022 року



Doi: <https://doi.org/10.33644/2313-6679-16-2022-5>

УДК 624.04:692.232:697.11:699.86



ОЛЕКСІЄНКО О.Б.

Канд. техн. наук, в.о. завідувача відділу будівельної фізики та енергоефективності, ДП «Державний науково-дослідний інститут будівельних конструкцій», м. Київ, Україна
+38(066)93-84-096,
mb-elena@ukr.net,
ORCID: 0000-0002-5329-2217

НАУКОВІ ОСНОВИ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ СТІЙКОСТІ ФАСАДНИХ СИСТЕМ З ШТУКАТУРНИМ ШАРОМ ДО КЛІМАТИЧНИХ ВПЛИВІВ

АНОТАЦІЯ

У статті наводиться розроблена у ДП НДІБК методика з визначення можливості виконання робіт при температурах зовнішнього повітря до мінус 10°C з виготовлення комплексу фасадної теплоізоляції з опорядженням тонкошаровими штукатурками. Особливістю будівельного сезону в Україні є входження у холодний період року при виконанні будівельно-монтажних робіт. Тому у сучасному будівництві широко застосовуються протиморозні добавки при виготовленні облицювальних матеріалів. Їх використання може розширити календарний сезон для виконання робіт з інсталяції фасадних збірних конструктивних систем, якщо закінчення робіт з утеплення фасадів припадає на кінець листопада та початок грудня.

Метою випробувань є проведення досліджень з визначення можливості виконання робіт при температурах зовнішнього повітря до мінус 10°C з виготовлення комплектів фасадної теплоізоляції з опорядженням тонкошаровими штукатурками. Задача випробувань є експериментальне оцінювання критеріїв теплової надійності – стійкості системи до циклічних кліматичних впливів з встановленням зміни опору теплопередачі, адгезійної міцності, ударної міцності захисно-опоряджувального шару системи до та після кліматичних впливів комплектів фасадної теплоізоляції з опорядженням тонкошаровими штукатурками при імітації умов їх інсталяції при температурах зовнішнього повітря до мінус 10°C з подальшою імітацією процесу експлуатації системи теплоізоляції.

В статті наведені результати досліджень експериментального оцінювання критеріїв теплової надійності – стійкості комплексу до циклічних кліматичних впливів з встановленням зміни опору теплопередачі, адгезійної міцності, ударної міцності захисно-опоряджувального шару комплексу до та після кліматичних впливів комплекту фасадної теплоізоляції з опорядженням тонкошаровими штукатурками при імітації умов їх інсталяції при температурах зовнішнього повітря до мінус 10°C з подальшою імітацією процесу експлуатації комплексу фасадної теплоізоляції.

КЛЮЧОВІ СЛОВА: фасадна теплоізоляція, термін ефективної експлуатації, довговічність, адгезійна міцність, ударна стійкість.

SCIENTIFIC GROUNDS, WHICH PROVIDE ETICS RESISTANCE TO CLIMATE

ABSTRACT

The paper presents a method developed by the State Research Institute of Building Constructions. The method shows the possibility to perform work at ambient temperature up to minus 10°C aimed at the manufacture of set of facade insulation with thin-layer plasters. A feature of the construction season in Ukraine is the entry into the cold period of the year during building and assembly work. Therefore, in up-to-date construction, antifreeze additives are widely used in the manufacture of finishing materials. The use of those can extend the calendar season for the ETICS installation, if the insulation of facades is completed in late November and early December.



The purpose of the tests is to conduct research to determine the feasibility of work at ambient temperatures up to minus 10°C for the manufacture of set of facade insulation with thin-layer plasters. The task of the tests is to experimentally evaluate the criteria of thermal reliability - resistance of the system to cyclical climatic effects and finding changes in heat transfer resistance, adhesive strength, impact strength of the protective and finishing layer of the system before and after climatic effect when simulating installation conditions of air temperature to minus 10°C with subsequent simulation of the operation of the insulation system.

The paper presents the results of research on experimental evaluation of thermal reliability criteria - ETICS resistance to cyclic climate effect with changes in heat transfer resistance, adhesive strength, impact strength of the protective and finishing layer before and after climatic effect of the facade insulation at ambient temperatures up to minus 10°C with the subsequent simulation of operation.

KEYWORDS: facade thermal insulation, term of effective operation, durability, adhesive strength, impact resistance

ВСТУП

Комплект фасадної теплоізоляції з оздобленням штукатуркою – це конструктивне рішення, в якому шар теплоізоляції кріпиться до несучої частини стіни за рахунок клейової суміші і/або механічного кріплення з нанесенням оздоблювального покриття по шару теплоізоляції. Призначення комплектів фасадної теплоізоляції є забезпечення нормативних теплотехнічних показників зовнішніх стін [1], захисту конструкцій від впливу навколишнього середовища, забезпечення нормативного мікроклімату приміщень і додання фасадам будівель привабливого естетичного вигляду.

Особливістю будівельного сезону в Україні є входження у холодний період року при виконанні будівельно-монтажних робіт. Такий технологічний режим часто спостерігається при інсталяції комплектів фасадної теплоізоляції з опорядженням штукатурками. Згідно з [2] роботи з улаштування збірних комплектів з штукатурним шаром із застосуванням клеєвого з'єднання мають виконуватися за температури навколишнього середовища вище +5°C, що вважається нормальною температурою для виконання фасадних робіт, нанесення клейових і штукатурних розчинів. Відповідно проводити фасадні роботи рекомендується з квітня до початку листопада, коли температура тримається в допустимих межах.

В той же час, у сучасному будівництві широко застосовуються протиморозні добавки при виготовленні облицювальних матеріалів. Їх вико-

ристання може розширити календарний сезон для виконання робіт з інсталяції фасадних збірних конструктивних систем, якщо закінчення робіт з утеплення фасадів припадає на кінець листопада та початок грудня. Такі матеріали при їх застосуванні можуть дозволити проводити роботи по влаштуванні фасадної теплоізоляції при атмосферній температурі до мінус 10 °C і при цьому забезпечувати еластичність клейових сумішей та надійність приклеювання матеріалів, збільшення захисту від технологічної та атмосферної вологи, забезпечувати необхідну міцність оздоблювальних матеріалів та не утворення на стінах фасаду тріщин.

Для вирішення сформульованих питань розроблена методика експериментальних досліджень та здійснена оцінка можливості виконання робіт з улаштування конструкцій фасадної теплоізоляції з штукатурним шаром при температурах зовнішнього повітря до мінус 10°C.

АНАЛІЗ СТАННІХ ДОСЛІДЖЕНЬ І ПУБЛІКАЦІЙ

Основними кліматичними параметрами впливу на фасадну теплоізоляцію прийняті: температура повітря, вологістні кліматичні впливи на конструкції, сонячне опромінення і кількість вірогідних переходів температури через 0°C. Якщо фасадна система періодично заморожується і відтає, не менш значиме є число циклів заморожування й відтавання, яке залежить від кількості переходів температури через 0°C.

Низькі температури повітря, значні її перепади й особливо багаторазові переходи температури повітря через 0°C викликають негативний вплив на експлуатаційну надійність фасадних комплектів теплоізоляції [3]. Результати таких циклічних знакозмінних переходів можна виокремити в наступні прояви:

- зміну деформаційних характеристик складових матеріалів фасадної теплоізоляції, що призводить до скорочення терміну експлуатації комплекту в цілому [4];
- прискорення процесів старіння матеріалів [5];
- виникнення температурних деформацій, що погіршують експлуатаційні якості конструкцій [6 – 11];
- виникнення в конструкції додаткових зусиль від зміни температури [6 – 11].

Перехід температури через 0°C скорочує терміни виконання робіт по влаштуванню комплектів фасадної теплоізоляції з штукатурним шаром. Для подальшої експериментальної оцінки впливу знакозмінної температури на експлуатаційну надійність комплектів фасадної теплоізоляції проведено дослідження щодо вивчення фізико-механічних та теплотехнічних властивостей до та після дії кліматичних впливів



протягом першого року експлуатації комплексу фасадної теплоізоляції.

ПОСТАНОВКА ЗАВДАННЯ

Метою випробувань є проведення досліджень з визначення можливості виконання робіт при температурах зовнішнього повітря до мінус 10°C з виготовлення комплектів фасадної теплоізоляції з опорядженням тонкошаровими штукатурками. Задача випробувань – експериментальне оцінювання критеріїв теплової надійності – стійкості системи до циклічних кліматичних впливів з встановленням зміни опору теплопередачі, адгезійної міцності, ударної міцності захисно-опоряджувального шару системи до та після кліматичних впливів комплектів фасадної теплоізоляції з опорядженням тонкошаровими штукатурками при імітації умов їх інсталяції при температурах зовнішнього повітря до мінус 10°C з подальшою імітацією процесу експлуатації системи теплоізоляції.

ОСНОВНИЙ МАТЕРІАЛ І РЕЗУЛЬТАТИ

В основу дослідження покладено кліматологічну стандартну норму середньої місячної температури повітря з Кліматичного Кадастру України. За цією температурою було розраховано кліматологічну стандартну норму дат переходу середньої добової температури повітря через 0°C для весни, восени і зими з 2016 по 2020 рр. для м. Києва. Для випробування імітації першого року експлуатації комплексу фасадної теплоізоляції та подальших досліджень було прийнято максимальне значення, що дорівнює 60 циклів знакозмінних температур.

Випробування проводять на зразках комплексу фасадної теплоізоляції з опорядженням штукатурками, що виготовлені відповідно до технічної документації та технологічного регламенту на ці виробу.

Для випробувань виготовлено комплекти-зразки фасадної теплоізоляції з опорядженням штукатуркою в зимових кліматичних умовах при зниженні від'ємної температур повітря до мінус

10°C у технологічній послідовності, ідентичний виконанню робіт в умовах будівельного майданчика. Роботи з виготовлення комплектів-зразків проводились в кліматичній камері КТК 3000 лабораторії будівельної теплотехніки та акустики ДП НДІБК із забезпеченням та фіксацією вказаних зимових кліматичних умов. Температура сухої суміші (з індексом «Зима») при замішуванні (приготуванні) повинна бути позитивною. Для приготування суміші згідно технологічного регламенту ТК на зимові використовували воду з температурою $+35^{\circ}\text{C} \dots +40^{\circ}\text{C}$ (рис. 1).

Зразки після виготовлення витримувалися в умовах постійної температури мінус 10°C та вологості протягом 24 годин, не чекаючи завершення процесів формування опоряджувального шару. Дослідний зразок встановлюють у проріз кліматичної камери, герметизують місця сполучення зразків із прорізом кліматичної камери так, щоби повністю уникнути можливості попадання рідкої води на торцеві поверхні дослідних зразків. Фіксують зовнішній вигляд опоряджувального шару дослідного зразка та проводять вимірювання опору теплопередачі у початковому його стані. Усі засоби вимірювань мають посвідчення про калібрування у встановленому порядку, видані ДП «Укрметртестстандарт».

Випробування проведено у два етапи. І етап випробувань – імітація першого холодного місяця експлуатації комплексу фасадної теплоізоляції.

Зразки піддають однобічному циклічному температурному впливу заморожування – відтавання.

Температуру заморожування дослідного зразка встановлюють мінус 5°C . З зовнішнього боку дослідного зразка забезпечувались умови примусової конвекції з коефіцієнтом тепловіддачі на рівні $23 \text{ Вт}/(\text{м}^2\cdot\text{K})$. З внутрішньої сторони встановлювалась температура повітря від 16°C до 22°C та коефіцієнт тепловіддачі на рівні $8,7 \text{ Вт}/(\text{м}^2\cdot\text{K})$. Тривалість заморожування становила 3 год.

Відтавання зразків здійснювалось при двох тем-



Рисунок 1 – Зразки комплектів у кліматичній камері виготовлених при температурі мінус 10°C



Рисунок 2 – Зовнішній вигляд дослідних зразків комплекту фасадної теплоізоляції після I-го етапу випробувань циклічних впливів

пературних режимах:

- в кліматичній камері в умовах примусової конвекції за температури повітря з боку зовнішньої поверхні ($+5 \pm 1$) °C та температури повітря з боку внутрішньої поверхні від 16 °C до 22 °C з тривалістю 3 год.
- на повітрі за температури від 16 °C до 22 °C в умовах природної конвекції з коефіцієнтом тепловіддачі ($5 \pm 1,5$) Вт/(м²·K) з тривалістю 6 год.

Один цикл випробувань складався з заморожування – відтавання за графіком: непарні цикли – відтавання у кліматичній камері в умовах змушеної конвекції за температури повітря +5°C, парні цикли – відтавання зовнішньої поверхні фрагменту в умовах вільної конвекції повітрі за температури від 16 до 22 °C. Загальна кількість циклів заморожування-відтавання – 60 циклів.

У ході I-го етапу випробувань на стійкість до кліматичних впливів і імітації першого року експлуатації комплекту зафіксовано без зміни зовнішнього шару кожного дослідного зразка (рис. 2).

Після першого етапу випробувань на заморожування-нагрівання (відтавання) проведено кондиціювання зразків при температурі зовнішнього повітря +16°C протягом 14 діб. Після



Рисунок 3 – Нанесення декоративних шарів на зразки комплектів

чого на зразки нанесено декоративний шар (див. рисунок 3).

II етап випробувань – імітація умовних 25 років експлуатації комплекту фасадної теплоізоляції проводились згідно з [2].

У ході досліджень комплектів фасадної теплоізоляції при імітації умов їх інсталяції при температурах зовнішнього повітря до мінус 10 °C проведено експериментальне оцінювання критеріїв теплової надійності –

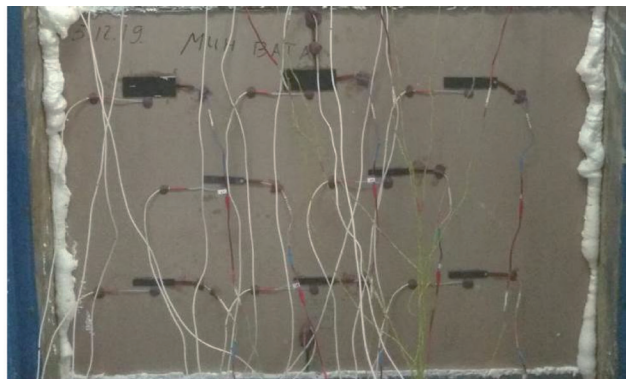
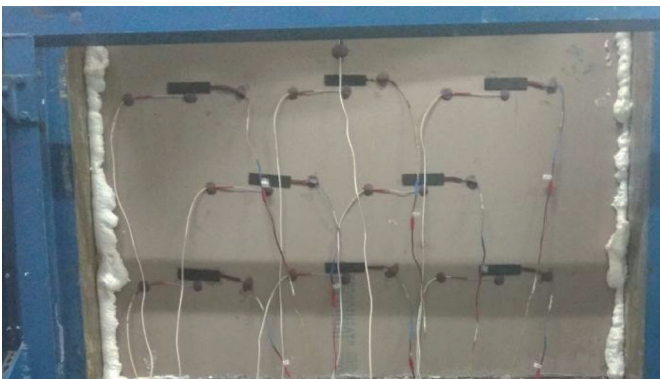


Рисунок 4 – Загальний вигляд дослідних зразків

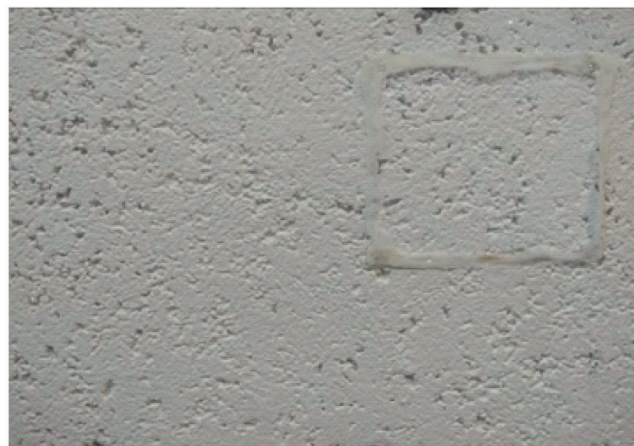
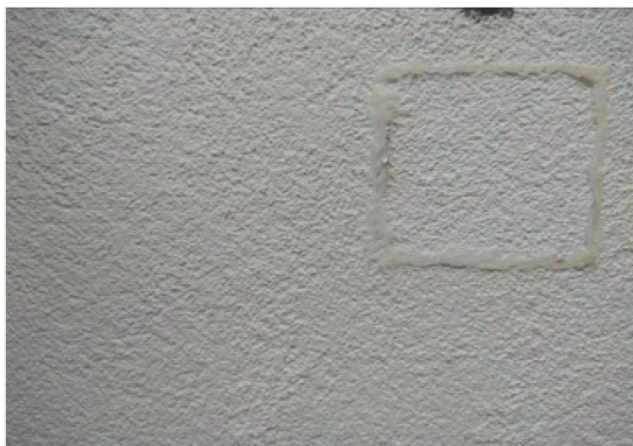


Рисунок 5 – Зовнішній вигляд дослідних зразків після II-го етапу випробувань на циклічні кліматичні впливи

стійкості комплексу до циклічних кліматичних впливів з встановленням таких показників до та після кліматичних впливів, як: зміну опору теплопередачі; адгезійної міцності; ударної міцності захисно-опоряджувального шару.

Загальний вид дослідних зразків під час випробувань зображено на рисунку 4.

Перед початком II-го етапу випробувань частину кожного дослідного зразка було ізольовано від дії на неї кліматичних факторів та проведено визначення опору теплопередачі. У ході випробувань на стійкість до кліматичних впливів майже суттєвої зміни кольору опоряджувального шару кожного дослідного зразка не зафіксовано (рис. 5).

У зв'язку з тим, що виготовлення дослідних зразків комплектів фасадної теплоізоляції проводилося при температурі зовнішнього повітря мінус 10°C і не дочекавшись завершення фізичних процесів урівноваження стану структури матеріалів проведено випробування опору теплопередачі в початковому стані. Після I етапу випробувань, проведення 60 циклів заморожування – відтавання від -5°C до + 5°C, процес переходу до врівноваженого стану матеріалів завершився, з відсутністю надлишку вологи зразка комплектів. У зв'язку з

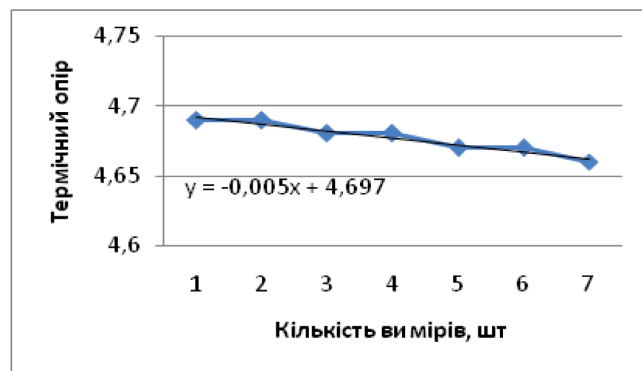


Рисунок 6 – Термічний опір зразків на пінополістирольній та мінераловатній основі



чим спостерігається збільшення приведенного опору теплопередачі зразків після 60 циклів випробування I етапу. Зміна термічного опору комплектів на пінополістирольній та мінераловатній основі в процесі проведення циклічних кліматичних впливів наведено на рис. 6.

Відповідно до [2] термін ефективної експлуатації для комплектів фасадної теплоізоляції буде становити не менше ніж 25 років при виконанні умови:

$$\frac{R(0) - R(60)}{R(0)} k_z \frac{25}{60} \leq 0,1$$

Даний критерій становить $0,03 \leq 0,1$, що відповідає нормативним критеріям за зміною

опору теплопередачі.

Загальний вид дослідних зразків під час випробувань на ударну стійкість в початковому стані до проведення циклічних кліматичних впливів зображено на рис. 7 – 9. Результати випробувань:

- при силі удару 3 Дж на базове покриття – без тріщин і сколів, і 6 Дж – тріщини базового покриття;
- при силі удару 3 Дж і 6 Дж на два види штукатурного опорядження – без тріщин і сколів.

Результати випробувань дослідних зразків на ударну стійкість після проведення циклічних кліматичних впливів;

- при силі удару 3 Дж на штукатурні покриття – без тріщин і сколів, і 6 Дж – один із трьох ударів тріщина.

Адгезійна міцність (міцність зчеплення

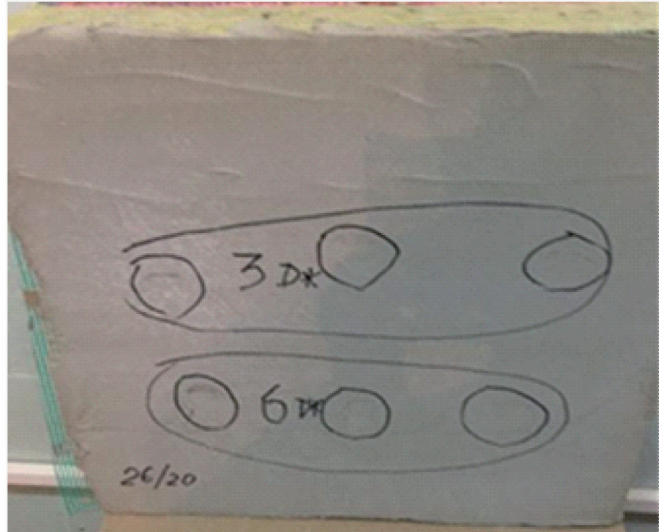
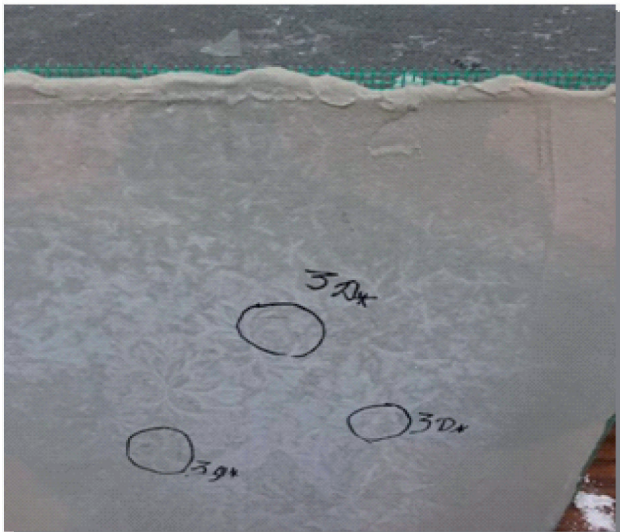


Рисунок 7 – Загальний вигляд базового покриття дослідного зразка після дії удару 3 Дж, 6 Дж (а – пінополістирольні плити, б – мінераловатні плити)

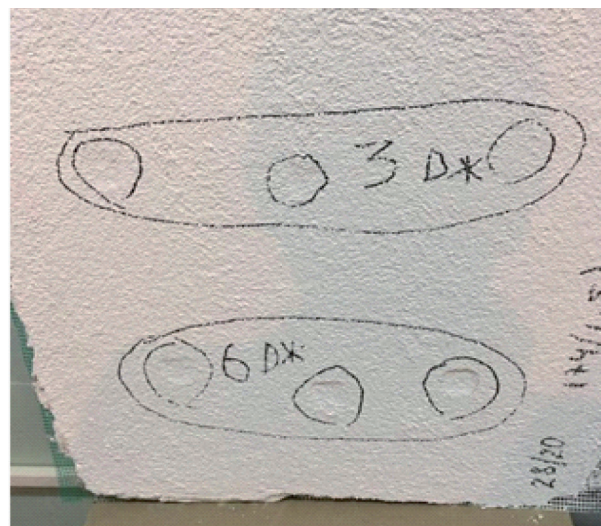


Рисунок 8 – Загальний вигляд базового покриття дослідного зразка після дії удару 3 Дж, 6 Дж (а – пінополістирольні плити, б – мінераловатні плити)

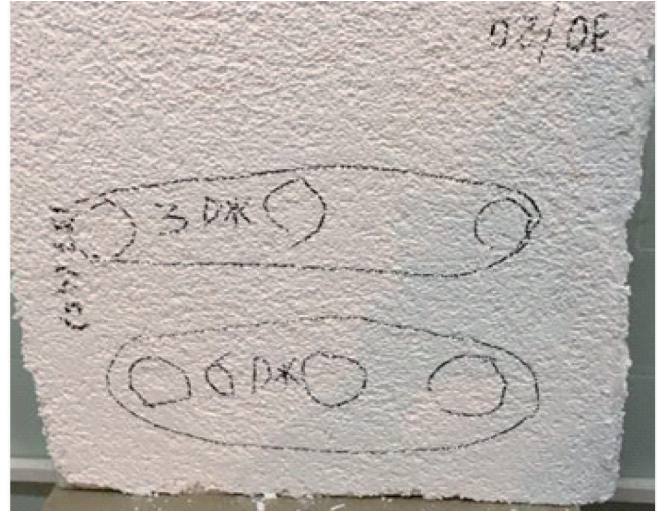
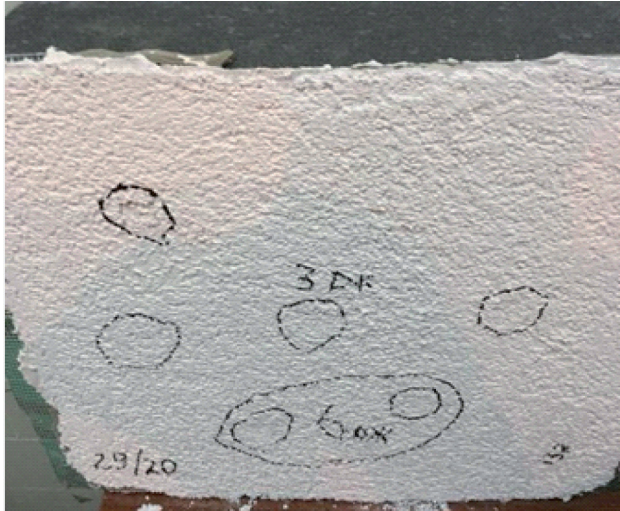


Рисунок 9 – Загальний вигляд базового покриття дослідного зразка після дії удару 3 Дж, 6 Дж (а – пінополістирольні плити, б – мінераловатні плити)

теплоізоляційних плит із захисно-декоративним шаром) комплектів фасадної теплоізоляції з опорядженням тонкошаровими штукатурками при виконанні робіт при температурах зовнішнього повітря до мінус 10°C після циклічних кліматичних випробувань у всіх випадках зафіксовано когезійний розрив по шару утеплювача (рис. 10).

Всі засоби вимірювальної техніки та обладнання, при проведенні випробувань, мають свідоцтва про калібрування.

ОЦІНЮВАННЯ РЕЗУЛЬТАТІВ ВИПРОБУВАНЬ

Результати випробування комплектів фасадної теплоізоляції з опорядженням тонкошаровими штукатурками, що були виготовлені при температурі зовнішнього повітря мінус 10°C, при імітації 1-го умовного року експлуатації з нестабільною знакозмінною температурою (переходом температури через 0°C) зовнішнього повітря в кількості 60 циклів та з подальшою імітацією умов експлуатації комплексу фасадної теплоізоляції показали наступне:



Рисунок 10 – Загальний вигляд дослідних зразків



- Термін ефективної експлуатації комплексу фасадної теплоізоляції складає не менше ніж 25 умовних років, що відповідає нормативним вимогам ДБН В.2.6-31 та ДСТУ Б В.2.6-36 за показниками стійкості комплексу фасадної теплоізоляції до кліматичних впливів.
- Ударна стійкість (опір удару) комплексу фасадної теплоізоляції до та після дії циклічних кліматичних впливів вважається достатньою та відповідає вимогам п.6.3 ДСТУ Б В.2.6-36.
- Адгезійна міцність (міцність зчеплення теплоізоляційних плит із захисно-декоративним шаром) комплексу фасадної теплоізоляції з опорядженням тонкошаровими штукатурками після дії циклічних кліматичних впливів у всіх випадках зафіксовано когезійний розрив по шару утеплювача, що свідчить про збереження необхідних характеристик міцності зчеплення у часі.

ВИСНОВКИ ТА ПЕРСПЕКТИВИ ПОДАЛЬШИХ РОЗРОБЛЕНЬ

Розроблено методику та проведено дослідження з визначення можливості виготовлення комплектів фасадної теплоізоляції з опорядженням тонкошаровими штукатурками з виконанням робіт при температурі зовнішнього повітря до мінус 10°C.

Комплекти фасадної теплоізоляції, що виготовляються згідно Технологічної карти на зимові роботи можуть бути рекомендовані до застосування при виконанні робіт з їх інсталяції на будівельних майданчиках при нестабільних знакозмінних температурах зовнішнього повітря тривалістю до одного місяця з пониженням температури до мінус 10 °C.

БІБЛІОГРАФІЧНИЙ СПИСОК

1. ДБН В.2.6-31:2016 Теплова ізоляція будівель.
2. ДСТУ Б В.2.6-36:2008 Конструкції зовнішніх стін із фасадною теплоізоляцією та опорядженням штукатурками
3. Фаренюк Г.Г. Основи забезпечення енергоефективності будинків та теплової надійності огорожувальних конструкцій. – К.: Гама-Принт, 2009, 216 с.
4. Фаренюк Г. Г. Стани теплових відмов ізоляційної оболонки будинків та експериментальні методи їх визначення// Реконструкція житла, 2007, №9, С.99 – 106.
5. Чернявський В. В. Деструктивні фактори впливу на фасадну теплоізоляцію з штукатурним шаром / В. В. Чернявський, О. Б. Борисенко // Ресурсоекономні матеріали, конструкції, будівлі та споруди: збірник

наукових праць. – Рівне, 2011. – Вип. 21. – С. 552 – 560.

6. Фаренюк Г. Г. Стійкість до кліматичних впливів конструкції фасадної теплоізоляції з опорядженням штукатуркою/ Г. Г. Фаренюк, О. Б. Борисенко//Науково-технічний збірник. Серія: Комунальне господарство міст. 2013 – Вип. 107. – С. 3 – 9.
7. Фаренюк Г. Г. Теплові впливи на огорожувальні конструкції за нестаціонарних умов / Г. Г. Фаренюк, О. І. Філоненко // Збірник наукових праць. Серія: Галузеве машинобудування, будівництво. – Полтава: ПолтНТУ, 2015. – Вип. 2 (44). – С. 234 – 238. <http://journals.pntu.edu.ua/znpp/article/view/168>.
8. Чернявський В. В. Кліматичні фактори впливу на теплоізоляційні фасадні системи з тонким штукатурним шаром/ В. В. Чернявський, О. Б. Борисенко // Містобудування та територіальне планування. – Київ: КНУБА, 2010. – Вип. 37. – С. 559 – 564.
9. Фаренюк Г. Г. Исследование конструкций фасадной теплоизоляции с тонкослойной штукатуркой / Г. Г. Фаренюк, О. Б. Борисенко // Новые идеи нового века: материалы международной научной конференции ФАД ТОГУ. – Том 2. – С.225 – 231.
10. Фаренюк Г. Г. Температурні деформації теплоізоляційних матеріалів, що застосовуються у фасадній системі теплоізоляції з тонкошаровою штукатуркою/ Г. Г. Фаренюк, О. Б. Олексієнко // Будівельні конструкції. – 2013 - Номер 77. – С. 39 – 43.
11. Чернявський В. В. Аналіз розкриття тріщин декоративно-штукатурного шару фасадної системи залежно від температури та вологості зовнішнього повітря/ В. В. Чернявський, А. М. Пащенко, О. Б. Борисенко, Р. В. Лопатків /// Збірник наукових праць. Серія: Галузеве машинобудування, будівництво. – Полтава: ПолтНТУ, 2010.

REFERENCES

1. Thermal insulation of buildings: DBN B.2.6-31:2016. (2017)
2. Constructions of external walls with facade thermal insulation and finishing with plasters: DSTU B V.2.6-36:2008. (2009)
3. Farenjuk, G. (2009). Basics of assurance of energy efficiency of buildings and thermal reliability of envelope. Kyiv: Gama-Print.
4. Farenjuk, G. (2007). Conditions of thermal failure of insulation skin of buildings and experimental assessment methods.



- Reconstruction of housing, 2007, №9, 99 – 106.
5. Chernyavsky, V.(2011). Destructive factors influencing the facade insulation with plaster. Resource-saving materials, structures, buildings and structures: a collection of scientific papers, 21, 552 – 560. Rivne
 6. Pashinsky, V. (2012). Temperature effects on the enclosing structures of buildings / V. Pashinsky, N. Pushkar, A. Karyuk. Odesa: ODABA.
 7. Farenjuk, G. (2015). Thermal influences on enclosing structures under non-stationary conditions. G. Farenjuk, O. Filonenko. Collection of scientific works. Series: Industrial engineering, construction. Issue 2 (44), 234 – 238 Poltava: PoltNTU. Retrieved from <http://journals.pntu.edu.ua/znp/article/view/168>.
 8. Chernyavsky, V.(2010). Climatic factors of influence on thermal insulation facade systems with a thin layer of plaster / Chernyavsky V, Borisenko O. Urban planning and spatial planning. Issue. 37, 559 - 564. Kyiv: KNUBA
 9. Farenjuk G, Borisenko O. Study of facade thermal insulation structures with thin-layer plaster. New ideas of the new century: materials of the international scientific conference FAD TOGU. Vol. 2, 225 - 231.
 10. Farenjuk G.G. (2013) Temperature deformations of heat-insulating materials used in the facade system of thermal insulation with thin-layer plaster. Building constructions. No.77, 39 - 43.
 11. Chernyavsky V. (2010). Analysis of cracking of the decorative-plaster layer of the facade system depending on the temperature and humidity of the external air / Chernyavsky V, Pashchenko A., Borisenko O., Lopatkiv R / Collection of scientific works. Series: Industrial engineering, construction. Poltava: PoltNTU.

Стаття надійшла до редакції 12.01.2022 року