



НАУКА



ТА БУДІВНИЦТВО

2 (24)'2020

Виходить чотири рази на рік

ЗАСНОВНИК

Державне підприємство «Державний науково-дослідний інститут будівельних конструкцій»

Заснований в лютому 2014 року.

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

Журнал входить до міжнародної наукометричної бази даних Scopus з №1(15) 2018 року
<https://journals.indexcopernicus.com/search/details?id=63800&lang=pl>

Головний редактор:

Фаренюк Г.Г., д.т.н., 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: Овсяннікова Т.М. к.т.н., с.н.с., Україна

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

Затверджено до друку Науково-технічною радою ДП НДІБК (Протокол №5 від 17.06.2020).

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. Редакція 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" 2020

Підписано до друку: 18.06.2020

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 № 20-621 від 22.06.2020

Наклад 100 примірників

ЗМІСТ

3

Фаренюк Г.Г., Олексієнко О.Б.

Методика проведення досліджень атмосферостійкості та довговічності захисного матеріалу покриття

11

Бамбура А.М., Дорогова О.В., Петрик Ю.М.

Напружено-деформований стан, несуча здатність та момент виникнення тріщин постнапружених згинних залізобетонних елементів за модифікованим деформаційним методом

19

Калюх Ю.І., Фаренюк Г.Г., Іщенко Ю.І.

Концепція «зеленого будівництва» та її застосування при проектуванні та розрахунках геотехнічних конструкцій

44

Філоненко О.І.

Лінійні коефіцієнти теплопередачі конструктивних вузлів суміщеної покрівлі



2 [24]'2020

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

Savitskyi M., Dr., Prof., Ukraine

Sheinich L., Dr., Prof., Ukraine

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

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

Executive Editor: T. Ovsyannikova, PhD, Ukraine

Computer layout: K. Chorna

Issue is approved for print by Scientific and technical Council of SE NIISK (Protocol № 5 dated on 17.06.2020)

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», 2020

Signed for printing: 18.06.2020

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 № 20-621 from 22.06.2020

Drawing: 100 copy

CONTENT

3

Farenjuk G.G., Oleksiienko O.B.

Approach to research of atmospheric resistance and durability of protective roofing materials

11

Bambura A.M., Dorogova O.V., Petryk Yu.M.

Stress-deformed state, load-bearing capacity and cracking moment in poststressed flexural reinforced concrete elements according to the modified deformation method

19

Farenjuk G.G., Kaliukh Yu.I., Ishchenko Yu.I.

Design and calculation of the geotechnical structures in accordance with the "green building" concept requirements

44

Filonenko O.I.

Linear heat transfer coefficients of combined roof structural units



Doi: <https://doi.org/10.33644/scienceandconstruction.v24i2.1>

УДК 624.04:692.232:697.11:699.86



ФАРЕНЮК Г. Г.

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



ОЛЕКСІЄНКО О. Б.

Канд. технічних наук, виконуюча обов'язки завідувача відділу будівельної фізики та енергоефективності, Державного підприємства "Державний науково-дослідний інститут будівельних конструкцій", м. Київ, Україна
e-mail: mb-elena@ukr.net
тел.: + 38(066)93-84-096
ORCIDID: 0000-0002-5329-2217

МЕТОДИКА ПРОВЕДЕННЯ ДОСЛІДЖЕНЬ АТМОСФЕРОСТІЙКОСТІ ТА ДОВГОВІЧНОСТІ ЗАХИСНОГО МАТЕРІАЛУ ПОКРИТТЯ

АНОТАЦІЯ

Широке застосування в практиці сучасного будівництва нових ізоляційних матеріалів без необхідної їх перевірки призводить до виникнення теплових відмов огорожувальних конструкцій у процесі експлуатації будівель. Теплова надійність ізоляційних матеріалів – теплоізоляційних, покрівельних, які застосовуються у складі огорожувальних конструкцій із строго визначеним функціональним призначенням, має певні особливості у порівнянні з надійністю несучих елементів будівель. Відмова ізоляційних елементів огорожувальних конструкцій призводить до втрати можливості виконання огорожувальною конструкцією своїх ізоляційних функцій, суттєво погіршує експлуатаційні властивості будівлі в цілому, не призводячи при цьому до виникнення аварійного стану конструкцій будівлі у загально визначеному представленні.

Мета роботи. Проведення досліджень атмосферостійкості та довговічності ізоляційного матеріалу покриття. Сучасні покрівельні ізоляційні матеріали виготовляються на основі синтетичних матеріалів, властивості яких можуть суттєво змінюватися під дією кліматичних факторів. Задача досліджень полягає в визначенні критеріїв довговічності покрівельних ізоляційних матеріалів, при експлуатації їх як захисно-

го шару огорожувальних конструкцій покриття та оцінюванні зміни експлуатаційних характеристик матеріалу покрівлі – розривного навантаження, зовнішнього вигляду зразків і геометричних параметрів під дією циклічних кліматичних впливів. В статті наводиться розроблена у ДП НДІБК методика з визначення довговічності покрівельного матеріалу на основі якої здійснюється прогнозування терміну ефективної експлуатації покрівельних матеріалів. В статті наведені результати досліджень атмосферостійкості та терміну ефективної експлуатації захисного матеріалу покриття. Подальші наукові роботи, що здійснює ДП НДІБК, спрямовуються на проведення випробувань щодо повторюваності або відтворюваності лабораторних досліджень.

КЛЮЧОВІ СЛОВА: атмосферостійкість, довговічність, критерій надійності, покриття.

APPROACH TO RESEARCH OF ATMOSPHERIC RESISTANCE AND DURABILITY OF PROTECTIVE ROOFING MATERIALS

ABSTRACT

New insulation materials being widely applied in up-to-date construction and not being tested appropriately may bring to thermal failure of



building envelope when in operation.

Thermal reliability of insulation materials such as thermal insulation and roof insulation which are used as part of building envelope and have a defined purpose of use provides some features in comparison to reliability of load bearing elements. Failure of insulation elements of building envelope leads to the loss of insulation characteristics of envelope and significantly reduces performance characteristics of the whole building while it doesn't result in emergency state of structures of a building in a general way. The purpose of the study is to determine the durability criteria of roof insulation materials when using them as a protective layer of envelope. Current roof insulation materials are made on the basis of synthetic materials whose properties can widely vary under the influence of climatic factors. The task of research is to assess changes in performance characteristics of the roofing materials, such as maximum strength, appearance of samples and geometric parameters in the action of cyclic climate-relevant impact. This paper represents an approach developed by State Enterprise "The State Research Institute of Building Constructions" for determination of durability of roofing materials and estimation of period of efficient service for roofing materials on the basis of that approach. This article covers the results of studies of weather resistance and period of efficient service of the protective roofing material. Further research by State Enterprise "The State Research Institute of Building Constructions" is aimed at running trials for recurrence or reproducibility of laboratory tests.

KEY WORDS: weather resistance, durability criteria, thermal reliability, roof insulation materials, period of efficient service

ВСТУП

Сучасні огорожувальні конструкції створюють із різних за показниками довговічності матеріалів. Широке застосування в практиці сучасного будівництва нових ізоляційних матеріалів без необхідної їх перевірки призводить до виникнення теплових відмов огорожувальних конструкцій у процесі експлуатації будівель. Для характеристики ізоляційних матеріалів і визначення можливості їх застосування в сучасних конструктивних рішеннях покрівель в нормативній базі ДБН В.2.6-31 [1] введено поняття терміну ефективної експлуатації виробів, який за своїм фізичним змістом є критерієм теплової надійності ізоляційних матеріалів [2]. ДБН В.2.6-220 [3] регламентує, що довговічність мембранних покрівель з полімерних матеріалів має становити 30 – 40 років. Але методики визначення довговічності покрівельних матеріалів, в умовних роках експлуатації, не встановлені в нормативних документах.

АНАЛІЗ ОСТАННІХ ДОСЛІДЖЕНЬ І ПУБЛІКАЦІЙ

Термін ефективної експлуатації (розрахункова довговічність) ізоляційних виробів – це розрахунковий експлуатаційний період, протягом якого виріб зберігає свої експлуатаційні властивості на рівні проектних показників, що підтверджується результатами лабораторних випробувань і визначений в умовних роках експлуатації (терміну служби).

Характеристика терміну ефективної експлуатації базується на понятті ресурсу матеріалу – показника, який характеризує зміну експлуатаційних характеристик матеріалу в умовах експлуатації, які імітують під час випробувань.

В основу методу визначення експлуатаційного ресурсу покладена гіпотеза існування області лінійного накопичення пошкоджень структури матеріалу під одиничними кліматичними впливами чи їх сумарним впливом [3-9]. Прийнята концепція дозволяє визначити показники ресурсу шляхом фіксації і аналізу характеру зміни основних фізичних параметрів, які визначають експлуатаційні показники огорожувальних конструкцій у межах області лінійного накопичення пошкоджень при атмосферних впливах. Саме такий підхід прийнятий і в стандартах на методи випробувань покрівельних матеріалів за ДСТУ Б EN 1296 [10], ДСТУ Б EN 1297 [11], ДСТУ Б.В.2.7-83 [12] та ізоляційних матеріалів по ISO 11561 [13]. Але в даних нормах не визначено поняття показника ресурсу та терміну ефективної експлуатації покрівельного матеріалу.

Для покрівельних мембран за критерій експлуатаційної надійності приймається зміна розривної сили та відносного подовження при розтягуванні після випробування на атмосферостійкість (циклічність впливів УФ-випромінювання, підвищеної температури та води).

ПОСТАНОВКА ЗАВДАННЯ

Метою випробувань є визначення критеріїв довговічності покрівельних ізоляційних матеріалів, при експлуатації їх як захисного шару огорожувальних конструкцій покриття. Задача випробувань полягала в оцінюванні зміни експлуатаційних характеристик матеріалу – розривного навантаження, зовнішнього вигляду зразків і геометричних параметрів під дією циклічних кліматичних впливів (нагрівання – опромінення – дощування), які імітують вплив зовнішніх факторів на стан ізоляції елементів огорожувальних конструкцій покриття під час експлуатації будівельних об'єктів.

ОСНОВНИЙ МАТЕРІАЛ І РЕЗУЛЬТАТИ

Випробування проводять для виробів, які виконують ізоляційну функцію в конструкції покрівлі.



Відповідно при проведенні випробувань фіксують зміну показника на розривне навантаження. Метод випробувань полягає в тому, що матеріал, який випробовується, піддають циклічним кліматичним впливам, які імітують умови експлуатації матеріалу в огорожувальній конструкції покриття і визначають зміну експлуатаційних характеристик матеріалу.

У методичну основу випробувань покладено імітацію дії кліматичних факторів в умовах нормальної експлуатації ізоляційних виробів, коли за результатами замірів розривних характеристик оцінюють термін ефективної експлуатації матеріалу в умовах ймовірних пошкоджень матеріалів під дією впливів кліматичних факторів.

Для покрівельних матеріалів термін ефективної експлуатації оцінюється за зміною характеристик міцності, розривного навантаження в стандартних умовах експлуатації, а також за зміною лінійних розмірів та зовнішнього вигляду. Методика випробувань включає підготовку зразків, проведення випробувань, обробку результатів, оцінку показників надійності (довговічності, ресурсу) матеріалів.

Задача встановлення значення масштабного коефіцієнта являється однією із ключових при оцінюванні показників довговічності матеріалу в конструкції покрівлі. Визначення терміну ефективної експлуатації проводиться у відповідності з методичними положеннями [10-16].

Зміну розривної сили при розтягуванні $\Delta P_{ам}$ розраховують за формулою:

$$\Delta P_{ам} = \frac{100 \cdot (P - P_{ам})}{P} \quad (1)$$

де: $\Delta P_{ам}$ – зміна розривної сили для зразків після випробування на атмосферостійкість, %; P – розривна сила для зразків до випробування на атмосферостійкість, Н; $P_{ам}$ – розривна сила для зразків після випробування на атмосферостійкість, Н.

Для кожного з експлуатаційних розривних параметрів встановлюється чисельне значення показника ресурсу для рівня забезпеченості 0,95; що визначається за формулою:

$$r = bx * \pm \varepsilon \quad (2)$$

де: x^* – найбільше значення кількості циклів, що відповідає лінійній ділянці зміни експлуатаційного розривного параметра; b – тангенс кута нахилу залежності $P(z)$; ε – довірча межа випадкової похибки результатів вимірювань.

Для визначення атмосферостійкості при тривалому спільному впливі УФ-випромінювання, підвищеної температури та дії води, на покрівельний матеріал, використовують обладнання та методику згідно з ДСТУ Б EN 1297 [11]. Суть методики – випробувальні зразки, вирізані із зразків продукції, піддають дії

характерних кліматичних впливів в установці з люмінесцентними лампами УФ-випромінювання за фіксованим значенням чорного стандартного термометру (BST), відносної вологості і циклічного розпилення води. Стійкість до цього впливу визначають під час подальших випробувань, які встановлюють в стандартах на даний матеріал для покрівельної гідроізоляції.

Цикл кліматичних впливів має тривалість 360 хв і складається з 300 хв сухого періоду та наступних 60 хв розпилення води (вологого періоду) відповідно до EN ISO 4892-3 [9]. Опромінення впродовж вологого періоду відсутнє. Показання чорного стандартного термометра має бути (60 ± 3) °C впродовж сухого періоду. У період розпилення камера нагрівання вимкнена. Загальну потужність УФ-енергетичної експозиції встановлюється згідно стандартів ДСТУ EN 13707 [10] і EN 13956 [11].

Призначення матеріалу що випробувався – влаштування протипожежного захисного шару покрівлі житлових, громадських та промислових будівель, які експлуатуються в I-II температурних зонах України згідно з ДБН В.2.6-31 [1]. Протипожежний захисний матеріал виготовляється на основі негорючої скляної тканини TG 420. Нижня сторона має спеціальне просочення для забезпечення приварювання до ПВХ мембрани. Захисний матеріал застосовується для влаштування протипожежних розсічок навколо люків димовидалення і зенітних ліхтарів, на покрівлях з гідроізоляційним шаром з ПВХ мембран.

Загальний вигляд дослідних фрагментів та випробувальної установки зображено на рис. 1 – 3.

Під час випробувань при УФ-енергетичної експозиції у 160 МДж/м² візуально визначали ефект впливу щодо утворення тріщин або інших змін зразків: зміни кольору, меління, зміни форм і розмірів (рис. 4 – 5).

Поверхневі тріщини оцінені відповідно до таблиці В.1 ДСТУ Б EN 1297 [4].

Після проведення випробувань з визначення атмосферостійкості захисного покрівельного матеріалу при тривалому спільному впливі УФ-випромінювання, підвищеної температури та води поверхневі тріщини оцінені відповідно до таблиці 4 ДСТУ Б EN 1297 [4] - клас 0 – відсутні тріщини та пошкодження.

Середнє деклароване значення за результатами вимірювань експлуатаційного параметра визначалось за формулою:

$$y_0 = \bar{y} \pm \varepsilon \quad (3)$$

де: $\bar{y}$ – середньоарифметичне значення параметра за результатами випробувань; ε – довірча межа випадкової похибки результатів вимірювань, що визначається за формулою:



Рисунок 1 – Дослідні фрагменти випробувань (впоперек та вздовж волокон)

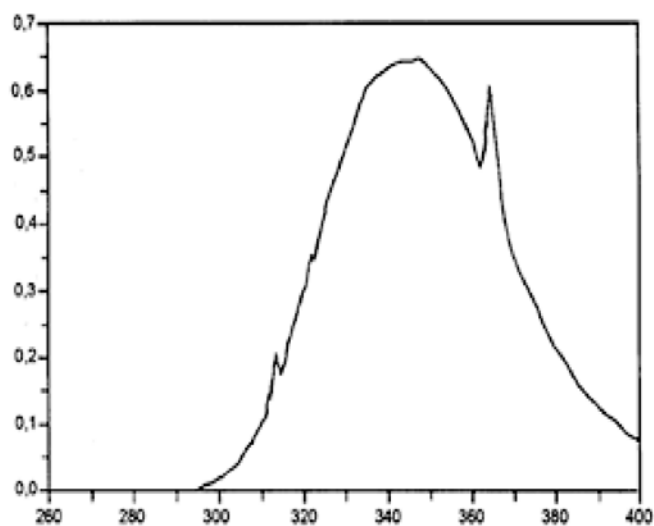


Рисунок 2 – Визначення атмосферостійкості протипожежного захисного матеріалу. Спектральне випромінювання люмінесцентної УФ-лампи типу I (340 nm)



Рисунок 3 – Машина випробувальна УМ-5 для визначення розривного навантаження



$$\varepsilon = t \cdot S(\bar{y}) \quad (4)$$

де: t – коефіцієнт Стюдента, який залежно від довірчої ймовірності та числа результатів спостережень; $S(\bar{y})$ – оцінка середньоквадратичного відхилення результату вимірювання, що розраховується за формулою:

$$S(\bar{y}) = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (y_i - \bar{y})^2}{n(n-1)}} \quad (5)$$

де: y_i – i -й результат спостереження; n – число результатів спостережень.

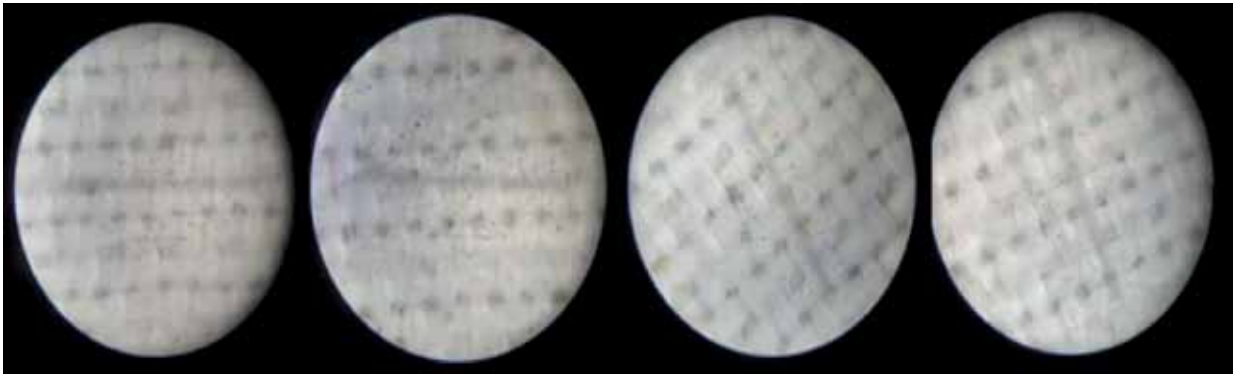


Рисунок 4 – Фото зразків До та Після випробування (впоперек волокон)

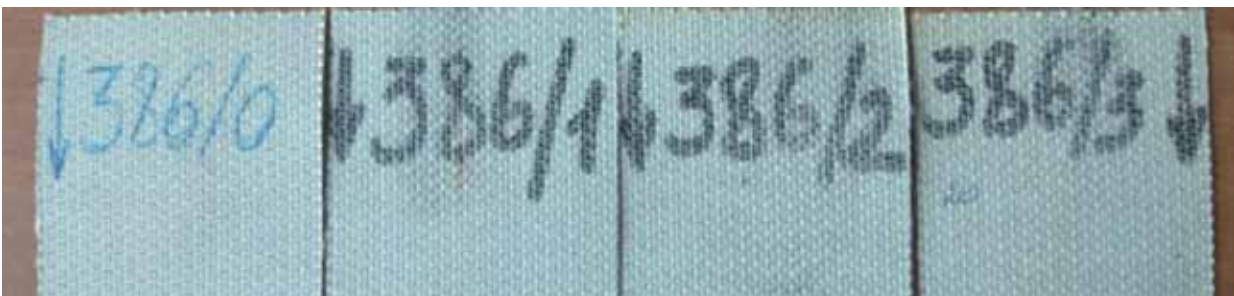
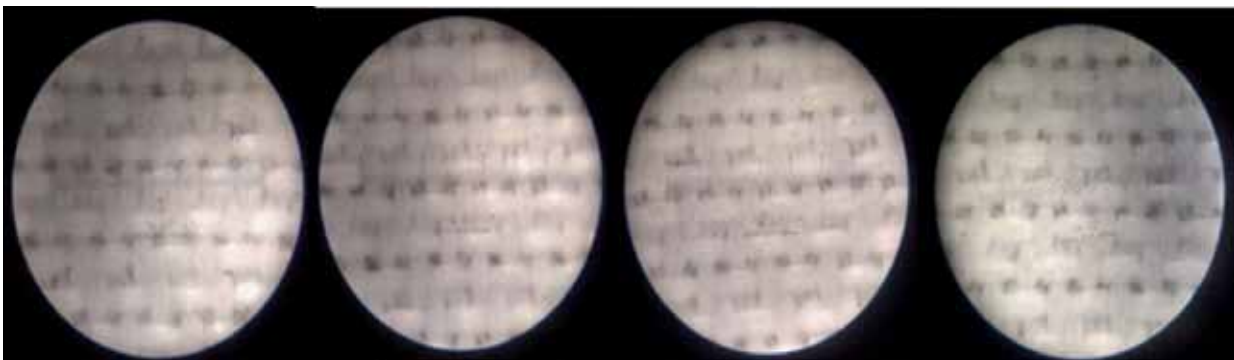


Рисунок 5 – Вид зразків до та після випробування (вздовж волокон)



Обробку масиву експериментальних даних при визначенні терміну ефективної експлуатації ізолюючих матеріалів проводять методами регресійного аналізу та математичної статистики для області лінійної зміни кожного експлуатаційного параметру, на підставі чого одержують залежність у вигляді:

$$y = \bar{y} \pm b \cdot x \pm \varepsilon \quad (6)$$

де: y – чисельне значення параметра; x – кількість циклів випробувань; ε – довірна межа випадкової похибки результатів вимірювань для рівня забезпеченості 95%; b – коефіцієнт регресії.

При визначенні терміну умовної експлуатації зміни розривного навантаження покрівельних матеріалів коефіцієнт b згідно з формулою (6) має знак «плюс» або «мінус», що визначається результатами випробувань.

ОЦІНЮВАННЯ РЕЗУЛЬТАТІВ ВИПРОБУВАНЬ

Для кожного з експлуатаційних розривних параметрів встановлюється чисельне значення показника ресурсу для рівня забезпеченості 0,95, що визначається за формулою (2).

При визначенні показника ресурсу x^* може бути прийнята $x^*=200$, якщо після 200 циклів випробувань не зафіксовано нелінійної ділянки зміни розривних параметрів.

Термін ефективної експлуатації для покрівельного матеріалу приймається не менше 30 років, якщо після 200 циклів випробувань, які включали 1000 годин опромінення, виконується умова:

$$\frac{r}{P_0} \cdot k_z \leq 0,1 \quad (7)$$

де, k_z – масштабний коефіцієнт, що враховує відповідність експериментальних циклів

кліматичним умовам експлуатації матеріалу в конструкції. Приймаємо $k_z = 5$ (рекомендована кількість опромінення 5 000 год); P – розривна сила для зразків, Н.

При виникненні нелінійної ділянки зміни експлуатаційного розривного параметра, після кількості циклів $x < 200$ масштабний коефіцієнт збільшується на значення $200/x$.

Коефіцієнт урахування впливу кліматичної деструкції матеріалів в процесі експлуатації на їх розривну силу, визначається за формулою:

$$k_k = 1 + \frac{r}{P} \cdot k_z \quad (8)$$

Графік залежності розривної сили від кількості циклів $P(z)$ наведено на рисунку 6.

Залежність розривної сили фрагментів покрівельного матеріалу від кількості циклів (нагрівання – опромінення – дощування) визначається за формулою:

$$P(z) = 2728,2 - 185,15 \cdot z \quad (9)$$

Коефіцієнт урахування впливу кліматичної деструкції матеріалів в процесі експлуатації на їх розривну силу, визначається за формулою (9):

$$k_k = 1 + \frac{185,15}{2728,2} \cdot 5 = 1,34 \quad (10)$$

Отже, згідно випробувань на атмосферостійкість покрівельного матеріалу визначено зміну розривної сили від $P_{0cp} = 5\,166,14$ Н, у початковому стані до $P_{зcp} = 4\,542,44$ Н (впоперек волокон) після циклічних впливів, на заміну розривної сили вздовж волокон від $P_{0cp} = 2\,573,26$ Н, у початковому стані до $P_{зcp} = 2\,051,55$ Н після циклічних впливів, що свідчить про значний ресурсний запас експлуатаційної надійності матеріалу, який може бути оцінений у 30 умовних років експлуатації.

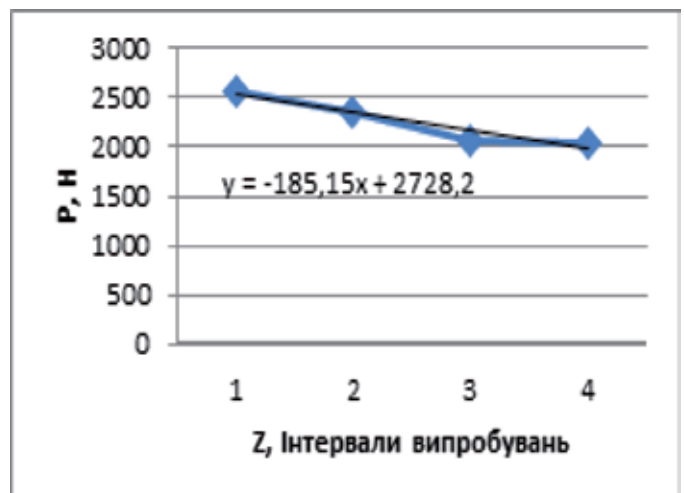
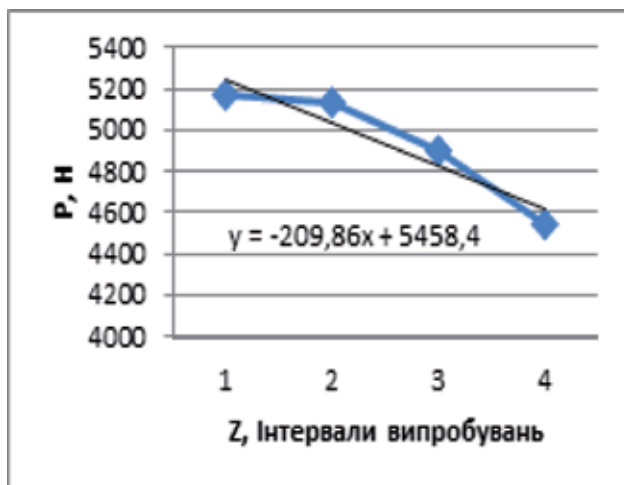


Рисунок 6 – Залежність розривної сили, в Н (в поперек та вздовж волокон) покрівельного матеріалу від атмосферних впливів



ВИСНОВКИ ТА ПЕРСПЕКТИВИ ПОДАЛЬШИХ РОЗРОБЛЕНЬ

Термін служби покриття залежить від довговічності двох складових: покрівлі та несучої конструкції. Всі конструктивні елементи покриття нерозривно пов'язані один з одним і втрата властивостей одним з них обов'язково відіб'ється на довговічності покриття в цілому. Розроблено методику з визначення довговічності покрівельного матеріалу та проведено дослідження атмосферостійкості протипожежного захисного матеріалу за тривалого спільного впливу УФ-випромінювання, підвищеної температури та води для кліматичних умов України.

Подальші дослідження планується спрямувати на визначення повторюваності або відтворюваності лабораторних випробувань, що дозволить оцінити їх точність та достовірність прогнозних розрахунків ресурсу покрівельних матеріалів.

БІБЛІОГРАФІЧНИЙ СПИСОК

1. ДБН В.2.6-31:2016. Теплова ізоляція будівель.
2. Фаренюк Г.Г. Основи забезпечення енергоефективності будинків та теплової надійності огорожувальних конструкцій. К.: Гама-Принт, 2009. 216 с.
3. ДБН В.2.6-220:2017. Покриття будівель і споруд.
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., Борисенко О. Б. Деструктивні фактори впливу на фасадну теплоізоляцію з штукатурним шаром. Ресурсоекономні матеріали, конструкції, будівлі та споруди: збірник наукових праць. 2011. Вип. 21. С. 552 – 560.
6. Пашинський В. А., Пушкар Н. В., Карюк А. М. Температурні впливи на огорожувальні конструкції будівель. Одеса: ОДАБА, 2012. 180 с.
7. Авраменко Ю. О., Лещенко М. В., Магас Н. М. [та ін.]. Утеплення, ремонт та реконструкція плоских покрівель цивільних будівель. / за ред. О. В. Семка. Полтава: Астроя, 2017. 238 с.
8. Semko O., Yurin O., Avramenko Yu., Skliarenko S. Thermophysical aspects of reconstruction of cold roof spaces. MATEC Web of Conferences. Transbud – 2017 : Structure, Materials and Infrastructure. Vol. 116. 2017. P. 02030. Doi: <https://doi.org/10.1051/mateconf/201711602030>

9. Фаренюк Г. Г., Філоненко О. І. Теплові впливи на огорожувальні конструкції за нестаціонарних умов. Збірник наукових праць. Серія: Галузеве машинобудування, будівництво. 2015. Вип. 2 (44). С. 234 – 238.
10. ДСТУ Б EN 1296:2011 (EN 1296:2000, IDT). Матеріали покрівельні та гідроізоляційні рулонні, листові та у вигляді плит. Метод штучного старіння за довготривалої дії підвищеної температури.
11. ДСТУ Б EN 1297:2013. Листи гнучкі для гідроізоляції. Листи бітумні, пластмасові та гумові для гідроізоляції покрівлі. Метод штучного старіння за тривалого спільного впливу УФ-випромінювання, підвищеної температури та води (EN 1297:2004, IDT).
12. ДСТУ Б.В.2.7-83-2014. Матеріали рулонні покрівельні та гідроізоляційні. Методи випробувань.
13. ISO 11561:1999. Ageing of thermal insulation materials — Determination of the long-term change in thermal resistance of closed-cell plastics (accelerated laboratory test methods).
14. EN ISO 4892-3:2016. Plastics – Methods of exposure to laboratory light sources – Part 3: Fluorescent UV lamps.
15. ДСТУ EN 13707:2019. Материалы кровельные гидроизоляционные мягкие. Пропитанные битумом листы для гидроизоляции кровли. Определение и характеристики (EN 13707:2004 + A2:2009, IDT).
16. ДСТУ EN 13956:2017. Гибкие листы для гидроизоляции. Резиновые и пластмассовые листы для гидроизоляции кровли. Определения и характеристики (EN 13956:2012, IDT).

REFERENCES

1. DBN B.2.6-31: 2016. Thermal insulation of buildings. (2016).
2. Farenjuk, G. (2009). Basics of assurance of energy efficiency of buildings and thermal reliability of envelope. Kyiv: Gama-Print.
3. DBN B.2.6-220: 2017. Coverages of buildings and structures. (2017).
4. Farenjuk, G. (2007). Conditions of thermal failure of insulation envelope of buildings and experimental assessment methods. Reconstruction of housing, 9, 99-106.
5. Chernyavsky, V., Borisenko, O. (2011). Destructive factors influencing the facade insulation with plaster layer. Resource-saving materials, structures, buildings and structures: a collection of scientific papers, 21, 552 – 560.
6. Pashinsky, V., Pushkar, N., Karyuk, A. (2012). Temperature effects on the enclosing structures of buildings. Odessa: ODABA.



7. Avramenko, Yu., Leshchenko, M., Magas, N., Semka, O.V. (Ed.). (2017). Warming, repair and reconstruction of flat roofs of civil buildings. Poltava: Astraya.
8. Semko, O., Yurin, O., Avramenko, Yu., Skliarenko, S. (2017). Thermophysical aspects of reconstruction of cold roof spaces. MATEC Web of Conferences. Transbud – 2017: Structure, Materials and Infrastructure. Vol. 116. Doi: <https://doi.org/10.1051/mateconf/201711602030>
9. Farenjuk, G., Filonenko, O. (2015). Thermal influences on enclosing structures under non-stationary conditions. Collection of scientific works. Series: Industrial engineering, construction, 2 (44), 234 – 238.
10. DSTU B EN 1296: 2011 (EN 1296: 2000, IDT). Flexible sheets for waterproofing - Bitumen, plastic and rubber sheets for roofing. Method of artificial ageing by long term exposure to elevated temperature. (2011).
11. DSTU B EN 1297: 2013. Flexible sheets for waterproofing. Bitumen plastic and rubber sheets for roof waterproofing - Method of artificial ageing by long term exposure to the combination of UV radiation, elevated temperature and water (EN 1297: 2004, IDT). (2013).
12. DSTU B V.2.7-83-2014. Rolled proofing and waterproof materials. Methods of testing. (2014).
13. ISO 11561: 1999. Aging of thermal insulation materials – Determination of long-term change in thermal resistance of closed-cell plastics (accelerated laboratory test methods). (1999).
14. EN ISO 4892-3: 2016. Plastics - Methods of exposure to laboratory light sources - Part 3: Fluorescent UV lamps. (2016).
15. DSTU EN 13707: 2019. Soft roofing waterproofing materials. Bitumen-impregnated sheets for roof waterproofing. Definition and characteristics (EN 13707: 2004 + A2: 2009, IDT). (2019).
16. DSTU EN 13956: 2017. Flexible sheets for waterproofing. Rubber and plastic sheets for roof waterproofing. Definitions and characteristics (EN 13956: 2012, IDT). (2017).

Стаття надійшла до редакції 22.05.2020 року



Doi: <https://doi.org/10.33644/scienceandconstruction.v24i2.2>

УДК 624.012.45/46.006.06



БАМБУРА А.М.

Д-р технічних наук, професор, зав. відділом надійності конструкцій будівель і споруд Державне підприємство «Державний науково-дослідний інститут будівельних конструкцій»,
Україна, м. Київ
e-mail: abambura@gmail.com
тел.: (044)249-37-44
RCID ID: 0000-0003-1402-3345



ДОРОГОВА О.В.

Канд. технічних наук, старший науковий співробітник Державне підприємство «Державний науково-дослідний інститут будівельних конструкцій»,
Україна, м. Київ
e-mail: dorogova@ukr.net
тел.: (044)249-37-75
ORCID ID: 0000-0002-7838-6383



ПЕТРИК Ю.М.

Директор ТОВ «Єврокон Україна»,
Україна, м. Київ
e-mail: Yuriy.Petryk@eurocon.com.ua
тел.: 050 353 16 52

НАПРУЖЕНО-ДЕФОРМОВАНИЙ СТАН, НЕСУЧА ЗДАТНІСТЬ ТА МОМЕНТ ВИНИКНЕННЯ ТРІЩИН ПОСТНАПРУЖЕНИХ ЗГИННИХ ЗАЛІЗОБЕТОННИХ ЕЛЕМЕНТІВ ЗА МОДИФІКОВАНИМ ДЕФОРМАЦІЙНИМ МЕТОДОМ

АНОТАЦІЯ

Чинні будівельні норми проектування бетонних і залізобетонних конструкцій (ДБН В.2.6-98:2009 та ДСТУ Б В.2.6-156:2010) не містять конкретних рекомендацій щодо визначення несучої здатності та моменту тріщиноутворення згинних залізобетонних елементів з урахуванням роботи бетону розтягнутої зони. На практиці, в залізобетонних конструкціях що експлуатуються в агресивних середовищах, залізобетонних ємкостях для зберігання газів та рідин і тому подібне, не допускається виникнення тріщин. Тому виникає необхідність більш точного визначення напружено-деформованого стану, несучої здатності та моменту тріщиноутворення для вказаних конструкцій. Деформаційний метод дозволяє вирішити поставлену задачу. Для розробки розрахункового апарату використані передумови і припущення вказаних вище будівельних норм з допо-

вненням передумови щодо врахування роботи бетону в розтягнутій зоні. Таким чином, отримана методика розрахунку несучої здатності та моменту тріщиноутворення попередньо напружених згинних залізобетонних елементів прямокутного і таврового перерізу з урахуванням роботи бетону розтягнутої зони. Виконана верифікація запропонованого методу визначення несучої здатності та моменту тріщиноутворення шляхом співставлення результатів розрахунку з даними раніше виконаних експериментальних досліджень натурного постнапруженого плитно-балкового перекриття. Автори дають собі звіт в тому, що виконати співставлення результатів розрахунків за запропонованою методикою за даними експериментальних досліджень з використанням статистичного аналізу неможливо, бо дуже обмежена вибірка результатів експерименту. Але, показати наскільки



чисельно і якісно запропонована методика розрахунку, що відповідає фізиці явища, цілком можливо. Результати співставлення показали, що запропонований розрахунковий апарат дозволяє проектувати попередньо напружені залізобетонні конструкції більш економічно в порівнянні з існуючими методами (до 30%).

КЛЮЧОВІ СЛОВА: попереднє напруження (постнапруження) залізобетонних конструкцій, напружено-деформований стан, несуча здатність, момент тріщиноутворення, модифікований деформаційний метод.

STRESS-DEFORMED STATE, LOAD-BEARING CAPACITY AND CRACKING MOMENT IN POSTSTRESSED FLEXURAL REINFORCED CONCRETE ELEMENTS ACCORDING TO THE MODIFIED DEFORMATION METHOD

ABSTRACT

The current building regulations for the concrete and reinforced concrete structures design (DBN V.2.6-98: 2009 and DSTU B V.2.6-156: 2010) do not contain any specific recommendations for determining the load-bearing capacity and cracking moment in bending reinforced concrete elements with an allowance for the work of tensile zone concrete. In practice, in the reinforced concrete structures operated in aggressive environments, including reinforced concrete tanks for gases and liquids storage and the like, the cracks formation is not allowed. Therefore, there is a need to more accurately determine the stress-strain state, load-bearing capacity and cracking moment for these structures. The deformation method allows to solve the problem. For the computational framework development the preconditions and assumptions from the above mentioned building regulations are used with the addition of a precondition taking into account the concrete work in its tensile zone. Thus, the load-bearing capacity and cracking moment calculation method taking into account the concrete work in the tensile zone is obtained for prestressed flexural reinforced concrete elements of rectangular and T-sections. The proposed method for determining the load-bearing capacity and cracking moment is verified by comparing the calculation results with the data of the previously performed experimental studies of full-scale poststressed slab-beam flooring. The authors are aware that it is impossible to compare the results of calculations according to the proposed method with the data of experimental studies using statistical analysis, because the experimental results sampling is very limited. However, it is quite possible to show how the proposed calculation method corresponds numerically and qualitatively to the phenomenon physics. The comparison results showed that the proposed computational framework allows to design the prestressed reinforced concrete

structures more economically compared to existing methods (up to 30%).

KEYWORDS: reinforced concrete structures prestressing (poststressing), stress-strain state, load-bearing capacity, cracking moment, modified deformation method

ВСТУП

При проектуванні попередньо напружених залізобетонних конструкцій будівель і споруд (конструкції які експлуатуються в агресивних середовищах, залізобетонні ємкості для зберігання газів та рідин і тому подібне), виникає необхідність більш точно визначати їх напружено-деформований стан. Як правило, для вказаних конструкцій не допускається виникнення тріщин. Чинні будівельні норми [1, 2] та [3] для визначення напружено-деформованого стану, несучої здатності попередньо напружених залізобетонних елементів, роботу бетону розтягнутої зони не враховують. Крім того, рекурентні залежності для визначення моменту тріщиноутворення, в будівельних нормах не приводяться. Тому, з урахуванням наведеного вище, є нагальна необхідність розробки розрахункового апарату на основі деформаційного методу, який дозволить більш точно визначати напружено-деформований стан, несучу здатність та момент виникнення тріщин постнапружених залізобетонних елементів з урахуванням роботи розтягнутого бетону.

МЕТА СТАТТІ

На основі відомого деформаційного методу розробити розрахунковий апарат для визначення напружено-деформованого стану, несучої здатності та моменту тріщиноутворення постнапружених залізобетонних елементів з урахуванням роботи бетону розтягнутої зони.

ВИКЛАД ОСНОВНОГО МАТЕРІАЛУ

На основі теоретично-експериментальних досліджень, виконаних за декілька десятиріч в ДП НДІБК, розроблений деформаційний метод визначення напружено-деформованого стану залізобетонного перерізу, який дозволяє вирішити поставлену задачу. Цей метод базується на фізично обґрунтованих передумовах та використовує ітераційний метод при зміні навантаження, а деформацій в перерізі.

Використання деформаційного методу дозволяє не тільки визначати напружено-деформований стан з високою наперед заданою точністю, а і отримувати повну діаграму стану (« $N - \varepsilon$ » або « $M - 1/\rho$ ») залізобетонного розрахункового перерізу.

Для вирішення вказаних задач нами прийняті основні допущення і передумови щодо бетону і залізобетону, які використовуються в національних



будівельних нормах [1-3]. Додатково до загально прийнятих передумов, в даній роботі буде використана передумова, щодо врахування роботи бетону розтягнутої зони. Таким чином, зв'язок між напруженнями та деформаціями стиснутого бетону приймається у вигляді діаграми, яка показана на рис. 1 та описується залежністю 1

$$\sigma_c = f_{(ck),(cd)} \sum_{k=1}^5 a_k \eta^k, \quad (1)$$

де: a_k – коефіцієнти полінома (значення a_k для різних розрахункових ситуацій наведено в [1-3]).

Залежність (1) справедлива при $0 < |\varepsilon_{ct}| < |\varepsilon_{cu}|$, де ε_{cu} , – номінальні граничні деформації стиску бетону.

Залежність (1) отримана на основі аналізу результатів експериментальних досліджень, виконаних на матеріалах (бетонах) в ДП НДІБК [4]. Вказана залежність є достатньо «гнучкою», і практично може бути використана для опису діаграм деформування будь якого матеріалу, в тому числі бетону при тривалій дії навантаження

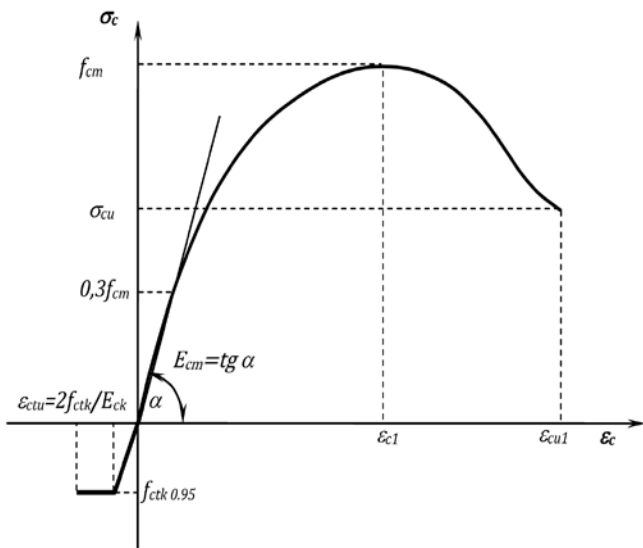


Рисунок 1 – Повна діаграма «напруження-деформації» бетону

Для розрахунків за двома групами граничних станів, значення коефіцієнтів a_k визначаються на основі використання параметрів таблиці 3.1 [1] та відповідних коефіцієнтів умов роботи, і наведені в таблицях В.1 – В.6 Додатку В [3], при цьому:

- враховується робота бетону розтягнутої зони, приймаючи при $\varepsilon_{c2} \leq 0$ напруження $\sigma_{c2} \leq 0$;
- для конструкцій у яких не допускається утворення тріщин, розрахунок опору виконують з урахуванням того, що деформації бетону найбільш розтягнутого волокна (границя виникнення тріщини) не повинні перевищувати $\varepsilon_{ctu} = -2f_{ctk}/E_{ck}$.

Діаграму розтягнутого бетону рекомендується описувати дволінійною залежністю:

при

$$\varepsilon_{ct} > f_{ctm}/E_{ck}, \quad \sigma_{ct} = \varepsilon_{ct} \cdot E_{ck} \quad (2)$$

при

$$\varepsilon_{ctu} = 2f_{ctm}/E_{ck} < \varepsilon_{ct} < f_{ctm}/E_{ck}, \quad \sigma_{ct} = f_{ctm}. \quad (3)$$

Межі існування діаграми розтягнутого бетону $0 > |\varepsilon_{ct}| > |\varepsilon_{ctu}| = 2f_{ctm}/E_{ck}$, де ε_{ctu} номінальні граничні деформації розтягу бетону.

Зв'язок між напруженнями та деформаціями у арматурі приймається у вигляді діаграм, які наведені на рисунках 3.1 та 3.2 [2]. При цьому:

- для обох видів (звичайної та попередньо напруженої) арматури при $\varepsilon_s > \varepsilon_{su}$ $\sigma_s = 0$ вважається, що стався розрив арматури;
- при визначенні напружень у попередньо напруженій арматурі враховуються початкові деформації даної арматури.

Діаграми стану для ненапруженої та напруженої арматури при розтягу і стиску приймають однаковими.

Для ненапруженої арматури, в залежності від відносних деформацій ε_s , напруження в арматурі σ_s визначають за залежностями:

при

$$0 \leq \varepsilon_s < \varepsilon_{s0} \quad \sigma_s = \varepsilon_s \times E_s; \quad (4)$$

при

$$\varepsilon_{s0} \leq \varepsilon_s \leq \varepsilon_{ud} \quad \sigma_s = f_{yd} \quad (5)$$

Напруження в постнапруженій арматурі σ_s , визначають в залежності від відносних деформацій ε_s за залежностями:

при

$$0 \leq \varepsilon_s < \varepsilon_{p0}, \quad \sigma_s = \varepsilon_s \times E_p; \quad (6)$$

при $\varepsilon_{p0} \leq \varepsilon_s \leq \varepsilon_{ud}$,

$$\sigma_s = f_{pd} + \left(\frac{f_{pk}}{\gamma_s} - f_{pd} \right) \frac{\varepsilon_s - \varepsilon_{s0}}{\varepsilon_{ud} - \varepsilon_{s0}} \quad (7)$$

Розрахункові граничні деформації ε_{ud} рекомендується приймати рівними $0,9 \varepsilon_{uk}$.

За критерій вичерпання несучої здатності перерізу приймається:

- втрата рівноваги між внутрішніми та зовнішніми зусиллями (досягнення максимуму на діаграмах «момент – прогин (кривизна)» або «стискаюча сила - прогин») – екстремальний критерій;
- руйнування стиснутого бетону при досягненні фібровими деформаціями граничних значень



(ε_{cul}), або розрив усіх розтягнутих стрижнів арматури внаслідок досягнення в них граничних деформацій (ε_{udb} , ε_{upd});

- за границю виникнення тріщини в залізобетонному перерізі приймається досягнення в розтягнутому бетоні деформацій рівних $2f_{cm}/E_{ck}$.

При рішенні нелінійних рівнянь рівноваги перерізу приймається наступне правило знаків: для стиску як бетону, так і арматури знак додатний, для розтягу – від'ємний.

Прийняті допущення і передумови дозволяють скласти рівняння рівноваги для постанпружених згинних елементів найбільш поширених перерізів: прямокутного, таврового, двотаврового. Необхідно відмітити, що несуча здатність та момент тріщиноутворення для попередньо напружених залізобетонних елементів може реалізуватись тільки при другій формі рівноваги [2, 3].

При другій формі рівноваги (рис. 2) для постанпружених елементів, межі існування якої є $x_1 < h$ та $0 \leq \varepsilon_{c(1)} \leq \varepsilon_{cul}$, рівняння рівноваги в розгорнутому вигляді для визначення несучої здатності, з

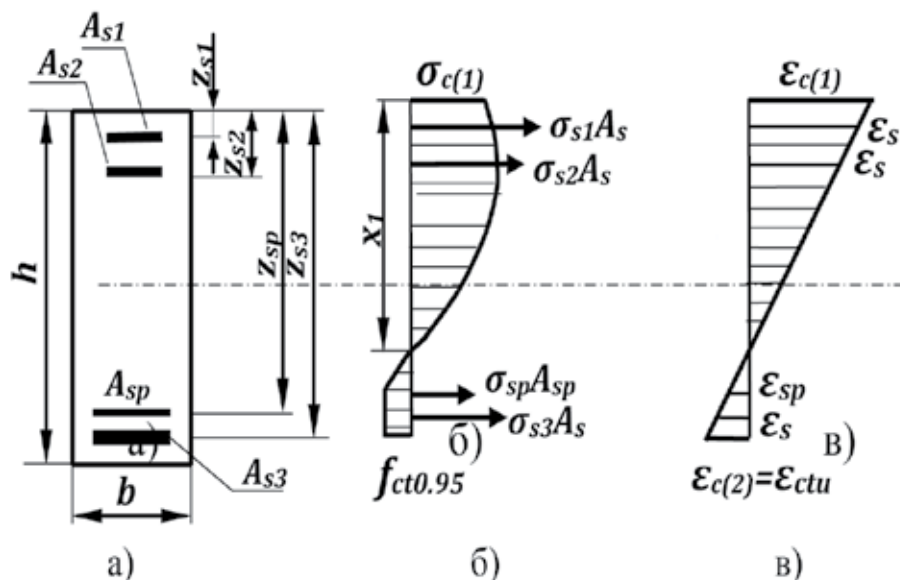


Рисунок 2 – Напружено - деформований стан прямокутного постанпруженого залізобетонного перерізу при моменті передуючому виникненню тріщини: а) поперечний переріз елемента; б) епюра напружень при 2-й формі рівноваги; в) - епюра деформацій при 2-й формі рівноваги

урахуванням роботи розтягнутого бетону, описуються залежностями (8, 9):

$$\frac{bE_{cd}\varepsilon_{c(1)}^2}{2\aleph} - \frac{3}{4}f_{ctk0.95}\frac{\varepsilon_{ctu}}{\aleph} + \sum_{i=1}^n A_{si}\delta_{si} + \sum_{ip=1}^{np} A_{spi}\delta_{spi} = 0 \quad (8)$$

$$\frac{bE_{cd}\varepsilon_{c(1)}^3}{3\aleph^2} + \frac{1}{3}f_{ctk0.95}\left(\frac{\varepsilon_{ctu}}{\aleph}\right)^2 + \sum_{i=1}^n A_{si}\delta_{si}\frac{\varepsilon_{c(1)} - \aleph z_{si}}{\aleph} + \sum_{ip=1}^{np} A_{spi}\delta_{spi}\frac{\varepsilon_{c(1)} - \aleph z_{spi}}{\aleph} - M = 0 \quad (9)$$

При визначенні моменту тріщиноутворення, приймаємо що деформації крайньої фібри розтягнутого бетону $\varepsilon_{c(1)}$ приймає значення граничних деформацій розтягнутого бетону $\varepsilon_{ctu}0.95$.

Система рівнянь рівноваги (8) і (9), згідно з деформаційним методом, вирішується підбором - зміною величин деформацій $\varepsilon_{c(1)}$ та $\varepsilon_{c(2)}$, або χ . Алгоритм рішення двох нелінійних алгебраїчних рівнянь з метою визначення несучої здатності постанпружених елементів за деформаційним методом наведено в [1, 3]. Щодо визначення моменту тріщиноутворення, рішення виконується за наступним алгоритмом:

1. На першому кроці, визначення моменту тріщиноутворення, задаються величини деформацій $\varepsilon_{c(1)}^{(1)} = \Delta\varepsilon_{c(1)}$ та $\varepsilon_{c(2)} = \varepsilon_{ctu}0.95$. Величину приросту деформацій на стиснутій грані $\Delta\varepsilon_{c(1)}$ рекомендується прийняти рівною $\Delta\varepsilon_{c(1)} = 0,1\varepsilon_{cul}$. При рекомендованому кроці зміни деформацій стиснутої зони досягається достатня, з точки зору практики, точність.

2. Підраховуємо величини

$$\aleph = \frac{1}{\rho} = \frac{\varepsilon_{c(1)} + \varepsilon_{ctu0.95}}{h};$$

$$\gamma = \frac{\varepsilon_{c(1)}}{\varepsilon_{cl}};$$

$$x_1 = \frac{\varepsilon_{c(1)}}{\aleph}; \quad \bar{\aleph} = \frac{\aleph}{\varepsilon_{c(1)}};$$

для напруженої арматури

$$\sigma_{spi} = E_{spi} \cdot \varepsilon_{spi} = E_{spi} \cdot (\aleph \cdot (x_1 - z_{spi}) - \varepsilon_{p0})$$

де ε_{p0} - деформації, обумовлені попереднім напруженням з урахуванням всіх втрат;

для ненапруженої арматури

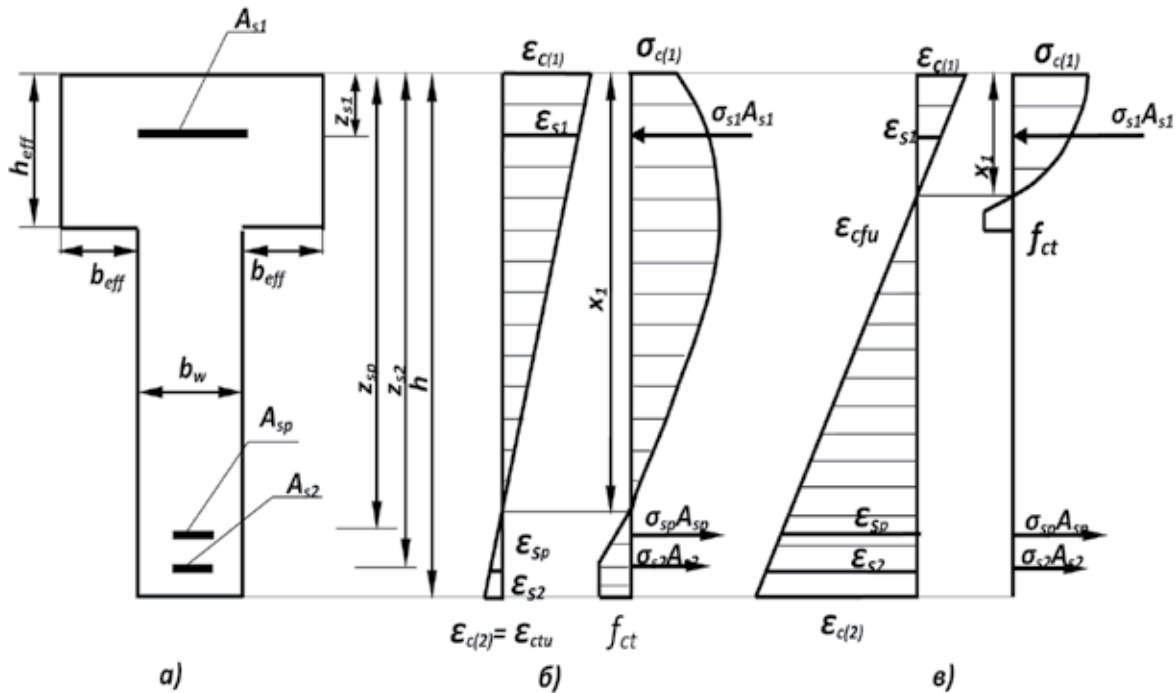


Рисунок 3 – Епюри напружено-деформованого стану двотаврового перерізу для визначення несучої здатності та моменту виникнення тріщин: а) поперечний переріз; б) епюри деформацій і напружень при 2-й формі рівноваги; в) епюри деформацій і напружень при 4-й формі рівноваги

$$\sigma_{si} = E_{si} \cdot \varepsilon_{si} = E_{si} \cdot \aleph \cdot (x_1 - z_{si})$$

- Знаходимо рішення рівняння (1). Якщо рішення має значення менше 0, необхідно збільшити значення деформацій на найбільш стиснутій грані $\varepsilon_{c(1)}$ на величину $\Delta\varepsilon_{c(1)}$, $\varepsilon_{c(1)}^{(2)} = \varepsilon_{c(1)}^{(1)} + \Delta\varepsilon_{c(1)}$. Визначаємо нові величини наведені в п.2.
- Знаходимо рішення рівняння (2). Якщо рішення має значення менше 0, необхідно збільшити значення деформацій на найбільш стиснутій грані $\varepsilon_{c(1)}$ на величину $\Delta\varepsilon_{c(1)}$, $\varepsilon_{c(1)}^{(3)} = \varepsilon_{c(1)}^{(2)} + \Delta\varepsilon_{c(1)}$. Визначаємо нові величини наведені в п.2.
- Процедура збільшення величини деформацій найбільш стиснутої грані (п.п. 3, 4) виконується до тих пір поки значення рішення рівняння (8) не змінить знак.
- Величини $\varepsilon_{c(1)}$, χ , γ , x_1 , σ_{sp} , σ_{si} які отримані на останньому кроці розрахунку (на кроці зміни знаку), підставляються у рівняння (9) і визначають момент тріщиноутворення.

Найбільшого розповсюдження в будівництві громадських, промислових об'єктів та збірно-монолітних прогонових будов мостів, отримали попередньо напружені залізобетонні елементи таврового перерізу. Вказані попередньо напружені залізобетонні конструкції, як правило, виготовляють у заводських умовах і на спеціальних полігонах, рідше на будмайданчиках.

Розрахунок несучої здатності та моменту тріщиноустійкості згинних постнапружених залізобетонних елементів таврового перерізу за деформаційним методом має свої особливості. Як видно з рис. 3, необхідно розглядати два випадки рівноваги перерізу (дві форми рівноваги), залежно від розміщення нейтральної вісі. З метою збереження спадковості з чинними будівельними нормами [2, 3] назва форм рівноваги збережена.

Таким чином, згідно з рис. 3, для визначення моменту тріщиноустійкості та несучої здатності, можлива реалізація двох випадків напружено-деформованого стану залізобетонного таврового перерізу. Друга форма рівноваги перерізу – нейтральна вісь у межах стінки перерізу, область існування: $h > x_1 > h_{eff}$. Четверта форма рівноваги перерізу – нейтральна вісь знаходиться в межах верхньої полиці, область існування: $x_1 < h_{eff}$.

По аналогії з чинними будівельними нормами [1, 2] пропонується розглядати тавровий переріз як такий, що складається з трьох прямокутників: прямокутника висотою що дорівнює повній висоті тавра і шириною що дорівнює ширині стінки, і приєднаних до нього двох прямокутників звисів верхньої полиці.

Згідно до прийнятих передумов, при використанні діаграми деформування бетону (рис. 1) і деформаційного методу, для таврового перерізу розрахункові залежності набувають вигляд:

Для другої форми рівноваги:



$$\begin{aligned} & \frac{f_{cd}}{S} \left[b_w \sum_{k=1}^5 \frac{a_k}{k+1} \left(\frac{\varepsilon_{c(1)}}{\varepsilon_{c1}} \right)^{k+1} + \right. \\ & + 2b_{eff} \sum_{k=1}^5 \frac{a_k}{k+1} \left(\frac{\varepsilon_{c(1)}^{k+1} - \varepsilon_{eff(2)}^{k+1}}{\varepsilon_{c1}^{k+1}} \right) + \\ & + 2b_{ef} \sum_{k=1}^5 \frac{a_k}{k+1} \left(\frac{\varepsilon_{ef(1)}^{k+1}}{\varepsilon_{c1}^{k+1}} \right) \left. \right] - \\ & - \frac{3}{4} f_{ctk0.95} \frac{\varepsilon_{ctu}}{S} + \sum_{i=1}^n A_{si} \delta_{si} + \\ & + \sum_{ip=1}^{np} A_{spi} \delta_{spi} = 0 \end{aligned} \quad (10)$$

$$\begin{aligned} M = & \frac{f_{cd}}{S^2} \left[b_w \sum_{k=1}^5 \frac{a_k}{k+2} \left(\frac{\varepsilon_{c(1)}}{\varepsilon_{c1}} \right)^{k+2} + \right. \\ & + 2b_{eff} \sum_{k=1}^5 \frac{a_k}{k+2} \left(\frac{\varepsilon_{c(1)}^{k+2} - \varepsilon_{eff(2)}^{k+2}}{\varepsilon_{c1}^{k+2}} \right) + \\ & + 2b_{ef} \sum_{k=1}^5 \frac{a_k}{k+2} \left(\frac{\varepsilon_{ef(1)}^{k+2}}{\varepsilon_{c1}^{k+2}} \right) \left. \right] + \\ & + \frac{1}{3} f_{ctk0.95} \left(\frac{\varepsilon_{ctu}}{S} \right)^2 + \sum_{i=1}^n A_{si} \delta_{si} \frac{\varepsilon_{c(1)} - S z_{si}}{S} + \\ & + \sum_{ip=1}^{np} A_{spi} \delta_{spi} \frac{\varepsilon_{c(1)} - S z_{spi}}{S} \end{aligned} \quad (11)$$

Для четвертої форми рівноваги:

$$\begin{aligned} & \frac{f_{cd}}{S} \left[(b_w + 2b_{eff}) \sum_{k=1}^5 \frac{a_k}{k+1} \left(\frac{\varepsilon_{c(1)}}{\varepsilon_{c1}} \right)^{k+1} \right] - \\ & - \frac{3}{4} f_{ctk0.95} \frac{\varepsilon_{ctu}}{S} + \sum_{i=1}^n A_{si} \delta_{si} + \\ & + \sum_{ip=1}^{np} A_{spi} \delta_{spi} = 0 \end{aligned} \quad (12)$$

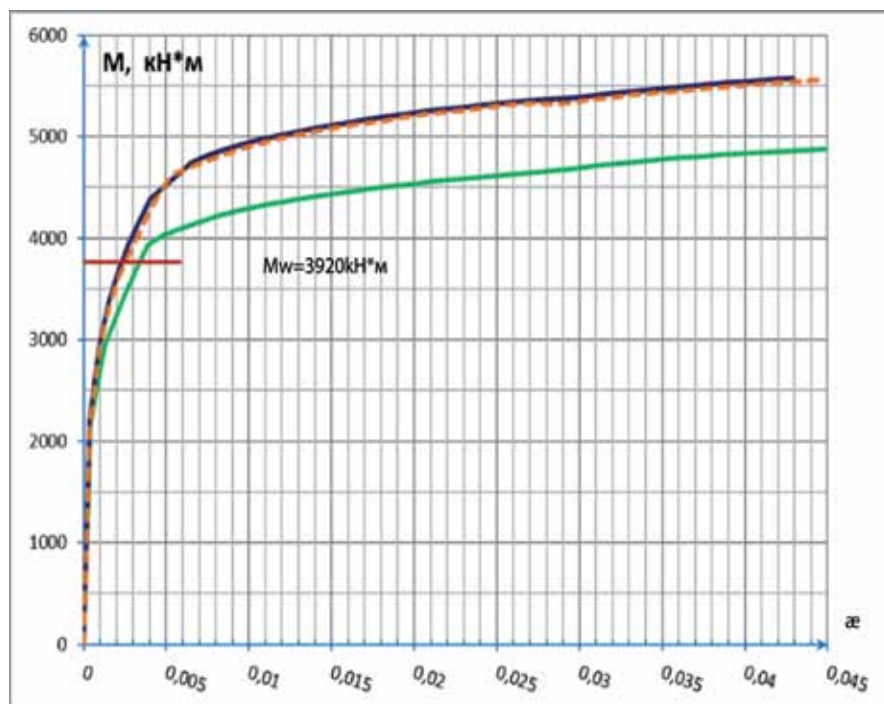


Рисунок 4 – Несуча здатність та момент виникнення тріщин найбільш напруженого прогінного перерізу балки по вісі 6

$$\begin{aligned} M = & \frac{f_{cd}}{S^2} \left[(b_w + b_{eff}) \sum_{k=1}^5 \frac{a_k}{k+2} \left(\frac{\varepsilon_{c(1)}}{\varepsilon_{c1}} \right)^{k+2} \right] + \\ & + \frac{1}{3} f_{ctk0.95} \left(\frac{\varepsilon_{ctu}}{S} \right)^2 + \\ & + \sum_{i=1}^n A_{si} \delta_{si} \frac{\varepsilon_{c(1)} - S z_{si}}{S} + \\ & + \sum_{ip=1}^{np} A_{spi} \delta_{spi} \frac{\varepsilon_{c(1)} - S z_{spi}}{S} \end{aligned} \quad (13)$$

Аналогічно, як і для прямокутного перерізу, у формулах (10 - 13) $S = S / \varepsilon_{c1}$, $\varepsilon_{eff(2)}$ – деформації на нижній грані перерізу верхньої полиці і які дорівнюють $\varepsilon_{eff(2)} = S = (x_1 - h_{eff})$.

Таблиця 1- Результати співставлення несучої здатності і прогинів отриманих експериментальним та теоретичним шляхом

№ п.п	Балка по вісі	M_{exp} , кНм	M_{Ed} , кНм	$\frac{M_{Ed}}{M_{exp}}$	Експериментальний прогин f_{exp} , мм	Прогин, f_u , мм
1	6, А-Г	1524	4215	2,76	3.41	55,3
2	7, А-Г	1300	3738	2,87	2.14	55,3
3	8, А-Г	1170	2515	2.15	7.99	70,0



Величина b_{eff} в формулах (10 - 13) менша розрахункова величина звису полиці згідно з п.5.3.2 [1].

За залежностями (10-13) несуча здатність розраховується за алгоритмом наведеним в будівельних нормах Додаток А [2].

При визначенні моменту тріщиноутворення приймаємо, що деформації крайньої фібри розтягнутого бетону $\varepsilon_{c(2)}$ дорівнюють значенням граничних деформацій розтягнутого бетону $\varepsilon_{cu0.95}$ і розрахунок виконується за алгоритмом наведеним вище.

Напруження в i -му шарі армування визначають аналогічно, як це показано для прямокутного перерізу.

З метою верифікації запропонованого методу, визначення несучої здатності та моменту тріщино утворення, виконано співставлення результатів розрахунку з даними експериментальних досліджень [5, 6] натурального постнапруженого плитно-балкового перекриття. Автори цілком розуміють, що виконати співставлення результатів розрахунків за запропонованою методикою з даними експериментальних досліджень, з використанням статистичного аналізу неможливо, бо дуже обмежена вибірка результатів. Але, показати наскільки чисельно і якісно запропонована методика розрахунку відповідає фізиці явища, цілком можливо.

Перш за все, визначимо несучу здатність і момент виникнення тріщин за запропонованою методикою. Всього були обраховані три балки. Несуча здатність визначалася за середньодослідними та характеристичними значеннями матеріалів (бетону та арматури). Так як, випробовування перекриття виконувалось при реальних характеристиках матеріалів, співставлення є коректним, якщо при розрахунках використати середньодослідні характеристики матеріалів.

За рекомендаціями будівельних норм [1] момент виникнення тріщин визначається за характеристичними значеннями міцнісних і деформативних показників матеріалів.

Як приклад, наведемо діаграми стану “М- α ” найбільш напруженого прогінного перерізу при розрахунках за середньодослідними та характеристичними значеннями показників матеріалу (рис. 4).

Аналіз результатів, наведених на рисунках, дозволяє зробити висновок, що різниця між моментами виникнення тріщин обчисленими за середньодослідними і характеристичними значеннями характеристик матеріалів, відрізняються не суттєво (в межах варіації міцності бетону). Такий стан речей цілком відповідає фізиці явища для попередньо напружених елементів. Окрім того, слід відзначити, що момент виникнення тріщин, при рівні використаного в експерименті постнапруження, практично досягає 80% несучої здатності елементів. Аналогічний результат отри-

мано і для інших балок.

Так як в процесі випробовувань, навантаження виконувалось рівномірно по всій площі фрагменту перекриття в долях від заданого програмою випробовувань, необхідно визначити розподіл зусиль (моментів) в балках на кожному ступені навантаження. Розподіл моменту в балках визначено шляхом розрахунку просторової моделі перекриття з урахуванням нелінійних властивостей матеріалів. Співставлення результатів випробовувань та експериментальних даних з підрахунками за запропонованою методикою за несучою здатністю наведено в табл. 1.

Як видно з таблиці, несуча здатність постнапружених балок значно – до трьох разів перевищує величину моментів досягнутих при випробовуванні перекриття. Раніше відмічалось, що під час випробовувань не було досягнуто несучої здатності перекриття - руйнування не відбулося. В той же час, в експерименті було забезпечено сприйняття розрахункового навантаження на перекриття. Таким чином можна стверджувати, що перекриття zaprojektowano зі значним запасом по несучій здатності. Такий висновок підтверджується співставленням експериментальних прогинів з граничними, які регламентуються чинними будівельними нормами. Експериментальні прогини більш ніж на порядок менші граничних. Потрібно звернути увагу на те, що до виконання експерименту, не існувало методики визначення несучої здатності балок перекриття, яка базувалася б на більш точному деформаційному методі. Проектування перекриття для експериментальних досліджень виконувалось за існуючими програмними комплексами. З урахуванням сказаного, отриманий результат слід вважати цілком реальним.

Таким чином, можна стверджувати що існуючі методи визначення несучої здатності постнапружених балкових перекриттів призводять до значних перевитрат матеріалів (бетону і попередньо напруженої арматури) до 30%.

ВИСНОВОК

На основі передумов і припущень будівельних норм [1] та деформаційного методу, отримана методика розрахунку несучої здатності та моменту тріщиноутворення попередньо напружених згинних залізобетонних елементів з урахування роботи бетону на розтяг. Співставлення результатів розрахунку за запропонованим методом з результатами експерименту і існуючої методики розрахунку показав, що розроблений метод має достатню точність. Вказаний метод дозволяє отримати більш ефективні (до 30%) рішення при забезпеченні достатньої надійності.



БІБЛІОГРАФІЧНИЙ СПИСОК

1. ДБН В.2.6-98:2009. Конструкції будинків та споруд. Бетонні та залізобетонні конструкції. Основні положення: [Чинний від 2011-01-07]. Національний стандарт України. К.: Міністерство регіонального розвитку та будівництва України. 2011. 71 с.
2. ДСТУ Б В.2.6-156:2010 Конструкції будинків та споруд. Бетонні та залізобетонні конструкції з важкого бетону. Правила проектування. [Чинний від 2011-06-01]. Національний стандарт України. Київ: Мінрегіонбуд України. 2011. 166 с.
3. Бамбура А. М., Сазонова І.Р., Дорогова О.В., Войцехівський О.В. Проектування залізобетонних конструкцій. Посібник. Київ: Майстер книга, 2017. 240 с.
4. Бамбура А.М. Експериментальні основи прикладної деформаційної теорії залізобетону: дис. доктора техн. наук: 05.23.01. Х., 2006. 382 с
5. Бамбура А.М., Белоконь А.М., Борецька Н.С., Жарко Л.О., Овчар В.П., Петрик Ю.М., Тарасюк В.Г., Ташилова А.О. Натурні випробування інноваційного рішення збірно-монолітного перекриття з пустотними попередньо напруженими плитами та прихованими ригелями. Наука та будівництво. 2017. №2 (12). С. 19-25.
6. Петрик Ю.Н. Несущая способность постнапряженного монолитного железобетонного перекрытия по результатам его натурных испытаний. Алматы, VIRA. 2018, №8, С.6-9.

6. Petryk, Yu.N. (2018). Load-bearing capacity of poststressed cast-in-situ reinforced concrete floor according to its field tests results. Almaty: VIRA, 8, 6-9.

Стаття надійшла до редакції 28.05.2020 року

REFERENCES

1. Structures of buildings and constructions. Concrete and reinforced concrete structures. General provisions: DBN V.2.6-98:2009. (2011).
2. Structures of buildings and constructions. Concrete and reinforced concrete structures of heavy-weight concrete. Design rules: DSTU B V.2.6-156:2010. (2011).
3. Bambura, A.M., Sazonova, I.R., Dorohova, O.V., & Voitsekhivskiy, O.V. (2017). Reinforced concrete structures designing: Manual. Kyiv: Maister-Knyha.
4. Bambura, A.M. (2006). Experimental basics of the applied deformation theory of reinforced concrete: Doctor's (Engineering) thesis.
5. Bambura, A.M., Belokon, A.M., Boretska, N.S., Zharko, L.O., Ovchar, V.P., Petryk, Yu.M., Tarasiuk, V.H., & Tashchylova, A.O. (2017). Full-scale tests of the innovative solution of precast and cast-in-situ floor with hollow prestressed slabs and hidden girders. Science and construction, 2 (12), 19-25.



Doi: <https://doi.org/10.33644/scienceandconstruction.v24i2.3>

UDC 627.26:624.131



ФАРЕНЮК Г. Г.

Д-р технічних наук, професор, директор Державного підприємства «Державний науково-дослідний інститут будівельних конструкцій», Україна, м. Київ, Президент громадської спілки «Українська рада з зеленого будівництва»
Сайт: www.greencouncil.com.ua
e-mail: farenjuk@ndibk.gov.ua
тел.: + 38 (044) 249-72-34
ORCID: 0000-0002-5703-3976



КАЛЮХ Ю. І.

Д-р технічних наук, професор, провідний науковий співробітник, Державного підприємства «Державний науково-дослідний інститут будівельних конструкцій», Україна, м. Київ,
e-mail: kalyukh2002@gmail.com
tel.: +38 (044) 249-38-80
ORCID: 0000-0001-7240-4934



ІЩЕНКО Ю. І.

Завідувач лабораторії, Державного підприємства «Державний науково-дослідний інститут будівельних конструкцій», Україна, м. Київ,
e-mail: ischenko@ndibk.gov.ua
tel.: +38 (050) 415-37-34
ORCID: 0000-0001-6046-8180

КОНЦЕПЦІЯ «ЗЕЛЕНОГО БУДІВНИЦТВА» ТА ЇЇ ЗАСТОСУВАННЯ ПРИ ПРОЕКТУВАННІ ТА РОЗРАХУНКАХ ГЕОТЕХНІЧНИХ КОНСТРУКЦІЙ

АНОТАЦІЯ

Концепція зеленого будівництва була розроблена в 1970-х роках у відповідь на енергетичну кризу і зростаючу стурбованість людей з приводу збереження навколишнього середовища. В ході тривалого дослідження проблем глобального потепління з'ясувалося, що сучасні міста, а точніше будівлі - одне з головних джерел забруднення навколишнього середовища. Дані експертів показують, що будівлі всього світу «вживають» близько 35-40% всієї первинної енергії, 67% всієї електрики, 40% всієї сировини і 14% всіх запасів питної води, а також виробляють 35% всіх викидів вуглекислого газу і мало не половину всіх твердих побутових відходів. Не кожне велике місто має добре спланований

міський простір, якісні житлові будинки, будівлі та споруди. Найчастіше міські території оснащені поганим освітленням та системами вентиляції, яким притаманні дорога експлуатація і висока енергоємність; недостатньо продумана транспортна інфраструктура. Темпи технологічного розвитку створюють для людини агресивні умови, що корінним чином відрізняються від природних. Зелені будівлі - це споруди, які розташовані, спроектовані, побудовані, відремонтовані і експлуатуються відповідно до основних принципів енергоефективності, і ще вони будуть надавати позитивний вплив на навколишнє середовище, економіку і соціальну сферу протягом всього їх життєвого циклу. Необхідність економії



енергії і пом'якшення екологічних проблем сприяла появі хвилі зелених інновацій в будівництві, яка триває і донині. Основна мета концепції сталого розвитку в геотехнічному «зеленому будівництві» полягає в тому, щоб: надати йому економічну конкурентоспроможність та достатню корисність; в той же час знизити енерго- і матеріаломісткість; зменшити площу земельних ділянок, що відводиться під будівництво; мінімізувати ризики шкоди для здоров'я і життя людей в разі аварій і небажаних подій під час геотехнічного будівництва. В межах реалізації концепції геотехнічного зеленого будівництва наведено приклад проектування, розрахунку та реалізації протисувних споруд на зсувонебезпечному схилі, а також рекомендацій щодо забезпечення його стійкості у майбутньому.

Україна активно долучається до міжнародних конвенцій, які зменшують забруднення навколишнього середовища, і прагне поліпшити національні стандарти відповідно до міжнародних вимог. Вже є приклади сертифікованого за стандартом BREEAM зеленого будівництва житлових комплексів в Києві. Загальна економічна і політична ситуація, здається, готова вітати впровадження зеленого будівництва по всій Україні. Розвиток зеленого будівництва буде важливою галуззю в Україні, і більш всебічні дослідження по зеленому будівництву можуть сприяти подальшому її прогресу.

КЛЮЧОВІ СЛОВА: концепція, зелене будівництво, геотехніка, протисувні споруди, чисельне моделювання.

DESIGN AND CALCULATION OF THE GEOTECHNICAL STRUCTURES IN ACCORDANCE WITH THE "GREEN BUILDING" CONCEPT REQUIREMENTS

ABSTRACT

The green building concept was developed in the 1970s in response to the energy crisis and growing concern for the environment preservation. Through a long-term study of global warming, it was found that modern cities or rather buildings are one of the main sources of environmental pollution. Expert data show that buildings around the world "consume" about 35-40% of all primary energy, 67% of all electricity, 40% of all raw materials and 14% of all drinking water, and also produce 35% of all carbon dioxide emissions and almost half of all solid household waste. Not every big city has a well-planned urban space or high-quality residential buildings, constructions, and structures. Most often the urban areas are equipped with poor lighting and ventilation systems characterized by the expensive maintenance and high energy consumption; their transport infrastructures are insufficiently thought out. The pace of technological development creates

for a person the aggressive conditions that are radically different from the natural. The green buildings are structures that are located, designed, built, renovated and operated in accordance with the basic principles of energy efficiency and they will have a positive impact on the environment, economy and social sphere throughout their life cycle. The need to save energy and mitigate environmental problems has contributed to the emergence of green innovation in construction, which continued to this day. The main objective of the sustainable development concept in geotechnical "green building" is to give to the construction the economic competitiveness and sufficient utility and at the same time reduce the energy and material consumption; reduce the area of land allocated for construction; minimize the risk of damage to the health and life of people in the event of accidents and undesirable events during geotechnical construction. Within the implementation of the concept of geotechnical green construction, an example of design, calculation and implementation of landslide structures on a landslide slope is given, as well as to the recommendations for its stability in the future.

Ukraine actively participates in the international conventions reducing environmental pollution and seeks to improve the national standards in accordance with international requirements. There are already some examples of the BREEAM-certified green construction of residential complexes in Kyiv. The general economic and political situation seems to be ready to welcome the green building introduction throughout Ukraine. The green building development will be an important industry in Ukraine, and more comprehensive researches on the green building can contribute to its further progress.

KEYWORDS: concept, green building, geotechnics, slide protection structures, numerical modeling.

ПЕРЕДВСТУП

Екологічне будівництво сьогодні - один з найбільш актуальних світових трендів, які прийшли в архітектурно-будівельну галузь за останнє десятиліття. Воно є проявом глибинних процесів усвідомлення світовою спільнотою тієї ролі, яку людська цивілізація грає в руйнуванні стійкості екосистеми нашої планети. В ході тривалого дослідження проблем глобального потепління з'ясувалося, що сучасні міста, а точніше будівлі - одне з головних джерел забруднення навколишнього середовища. Дані експертів показують, що будівлі всього світу «вживають» близько 35-40% всієї первинної енергії, 67% всієї електрики, 40% всієї сировини і 14% всіх запасів питної води, а також виробляють 35% всіх викидів вуглекислого газу і мало не половину всіх твердих побутових відходів [1]. Не кожне велике місто



має добре спланований міський простір, якісні житлові будинки, будівлі та споруди. Найчастіше міські території оснащені поганим освітленням та системами вентиляції, яким притаманні дорога експлуатація і висока енергоємність; недостатньо продумана транспортна інфраструктура. Темпи технологічного розвитку створюють для людини агресивні умови, що корінним чином відрізняються від природних.

На будівельну галузь припадає понад 40% світового споживання енергії і 33% викидів парникових газів, пов'язаних з енергією [2]. При аналізі життєвого циклу (LCA (Life Cycle Analysis)) житлових будинків виявили, що в їх споживанні енергії переважає експлуатаційна фаза, яка включає всю енергію, яка споживається після будівництва і до знесення будівель (утилізації). Більш того, енергетична програма ООН передбачає, що 60% енергії на етапі експлуатації використовується переважно для опалення приміщень [3]. Наприклад, у Великій Британії на продукти життєдіяльності припадає 45% загальних викидів вуглецю, в тому числі 27% від житлових будівель і тільки 18% від будівель іншого типу [4]. Тому житловий сектор має найбільший потенціал для зниження енергоспоживання і викидів вуглецю з використанням доступних в даний час сучасних технологій. Із загальної будівельної індустрії в світі 12% припадає на водокористування [5], 72% пов'язано з опаленням приміщень і забезпеченням їх гарячою водою [4]. Загальний шкідливий вплив на навколишнє середовище роблять 40% відходів, пов'язаних з будівельною індустрією [3]. При цьому 32% складають сміттєзвалища, утворені при будівництві та знесенні будівель. На цих звалищах із загального обсягу сміття 13% складають будівельні матеріали, які були доставлені на будівельні майданчики, а потім направлені безпосередньо на звалище без використання [4].

Відповідно до розробленої стратегії програми ООН із захисту навколишнього середовища для руху до сталого майбутнього [3] директивні органи країн світу повинні розглядати ефективність використання ресурсів як основний акцент своєї кліматичної політики. Згідно з дослідженнями, проведеними під егідою ООН, в наступні 30 років 2,4 мільярда чоловік швидше за все переїдуть в міські райони, в результаті чого частка населення планети, яке проживає в містах, до 2050 року складе 66%. Річний обсяг природних ресурсів, використовуваних міськими районами, може зрости з 40 мільярдів тон сировини в 2010 році до 90 мільярдів тон до 2050 року, збільшившись на 125%, якщо не вносити змін в те, як будуються і проектується міста.

Історично склалося так, що існуючі міста ростуть зі швидкістю два відсотки в рік, збільшуючи глобальне використання міських земель з трохи менше одного мільйона квадратних кілометрів

до 2,5 мільйонів в 2050 році і піддаючи ризику сільськогосподарські землі і запаси продовольства. Збільшення міського населення потребує будівництва нових міст і розширення існуючих. Будівництво та експлуатація цих нових міст і підтримка міського способу життя тих, хто в них живе, вимагає мільярдів тон сировини, такого як викопне паливо, пісок, гравій, залізна руда, деревина і продукти харчування. (Звіт 25-ї Міжнародної ресурсної групи експертів, створеної ООН по навколишньому середовищу в 2007 році для вивчення використання природних ресурсів.)

Якщо міські райони світу не будуть оптимально використовувати свої ресурси, міста скоро будуть вимагати набагато більше ресурсів, ніж наша планета може забезпечити. По мірі того, як міські райони по всьому світі продовжують зростати, міста стають все більш важким тягарем для нашого навколишнього середовища, тому експерти по ресурсам закликають до нової стратегії побудови кращих міст [6].

Будівельний сектор, в порівнянні з іншими секторами економіки, має найбільший потенціал для значного скорочення викидів парникових газів в порівнянні з іншими основними секторами викидів [5]. Будівельний сектор має потенціал для економії енергії на 50% і більше до 2050 року, на підтримку обмеження глобального підвищення температури до 2°C вище доіндустріального рівня [3]. Глобальні заходи, щодо підвищення енергоефективності можуть заощадити на витратах від 280 до 410 млрд. євро на енергію [7].

Тому, концепція зеленого будівництва була розроблена в 1970-х роках у відповідь на енергетичну кризу і зростаючу стурбованість людей, з приводу збереження навколишнього середовища [8]. Зелені будівлі - це споруди, які розташовані, спроектовані, побудовані, відремонтовані і експлуатуються відповідно до основних принципів енергоефективності, і вони будуть надавати позитивний вплив на навколишнє середовище, економіку і соціальну сферу протягом всього їх життєвого циклу. Необхідність економії енергії і пом'якшення екологічних проблем сприяла появі хвилі зелених інновацій в будівництві, яка триває і донині.

ВСТУП

Зелене будівництво - це комплексні знання, структуровані стандартами проектування і будівництва. Рівень їх розвитку безпосередньо залежить від досягнень науки і технології, від активності інженерів, і від усвідомлення суспільством екологічних принципів. Розробка і впровадження стандартів зеленого будівництва стимулює розвиток бізнесу, інноваційних технологій та економіки, покращує якість життя



суспільства і стан навколишнього середовища. Вони є інструментом розумної економіки - зберігають гроші на всіх етапах і сприяють інтеграції в світовий рух, вони є ключем до зарубіжних інвестицій і визнання на світовому рівні.

Зелені стандарти проектування, будівництва, експлуатації будівель, ведення бізнесу і життєдіяльності в будівельній сфері, це суть феноменів, які направляють, коректують і керують розвитком суспільства, економіки та інфраструктури. У країнах, де розвивається екологічне будівництво, створюються національні стандарти, що враховують соціально-економічні та природні умови країни: законодавство, державну політику, щодо енергоресурсів та екології, кліматичні умови, ступінь усвідомлення проблем енергоефективності та екологічності професійними співтовариствами та населенням.

Можна вважати, що до теперішнього часу основи науки про «зелені будівлі» вже створені. І тут немає нічого дивного: «зелені будівлі» є системним продовженням розвитку енергоефективних будівель, інтелектуальних будівель, будівель біоархітектури, здорових будівель і т. п.

Починаючи з 1974 року, після світової енергетичної кризи, в світовій будівельній практиці з'явилося напрямок, який одержав назву «будівництво енергоефективних будівель», і досить інтенсивно почали створюватися наукові основи проектування таких будинків, які не тільки не втратили актуальності до теперішнього часу, але затребуваність в яких постійно зростає, зміщуються тільки акценти:

1. Починаючи з 1980-х років особлива увага приділяється екологічній безпеці житла і якості внутрішнього повітря. Формується наступна закономірність: серед енергоефективних технологій пріоритетними мають бути, які сприяють підвищенню якості внутрішнього повітря і покращують екологічну безпеку житла.
2. З кінця 1990-х років до вимог з енергоефективності та екологічності додаються вимоги, які забезпечують захист навколишнього середовища від руйнування.
3. Найголовнішою ідеєю для будівництва XXI століття є положення про те, що природа не є пасивним фоном нашої діяльності: в результаті професійного підходу може бути створено нове природне середовище, що має більш високі комфортні показники для містобудування і є в той же час енергетичним джерелом для клімату будівлі.

Логіка розвитку сучасного будівництва багато в чому є результатом прагнення до гармонії будівлі з оточуючим природним середовищем та мікроклімату в приміщеннях.

Термін «будівля як середовище проживання людини» відноситься не тільки до самого будівельного об'єкту, але і до всього іншого, що включає в себе поняття «місце існування», а саме: наявність поблизу будівлі паркової зони, спортивних і дитячих майданчиків, місць для автомобільних і велосипедних стоянок, відстань від зупинок громадського транспорту і т. д.

Нові підходи до проектування, виробництва і управління, що отримали назву «зелене будівництво» допускають зниження впливу будівель на протязі всього життєвого циклу на навколишнє середовище і здоров'я людини, що досягається за рахунок:

- I. Ефективного використання енергетичних і водних ресурсів;
- II. Використання екологічно безпечних будівельних матеріалів;
- III. Скорочення відходів, шкідливих викидів і інших впливів на навколишнє середовище;
- IV. Використання будівельних матеріалів місцевого походження (зниження шкоди навколишньому середовищу від транспортування матеріалів);
- V. Використання поновлюваних джерел енергії для забезпечення енергетичних потреб (сонячна енергія, вітроенергетика, геотермальна енергетика);
- VI. Використання матеріалів з підвищеними показниками енергоефективності та енергозбереження [9].

Чотири головних області повинні бути розглянуті в зеленому будівництві: матеріали, енергія, вода і здоров'я.

Матеріали. Матеріали для зелених будівель повинні бути отримані з природних поновлюваних джерел, які стійко функціонують. Або вони можуть бути отримані локально на місці будівництва, щоб зменшити витрати на транспортування. Також будівельні матеріали, отримані шляхом вторинного використання будівельних матеріалів (сміття) з сусідніх ділянок будівництва.

Будівельні матеріали оцінюються з використанням «зелених» специфікацій, які враховують аналіз їх життєвого циклу (LCA) з точки зору енергії, довговічності, переробленого вмісту, мінімізації відходів і їх здатності до повторного використання або переробки.

Енергія. Пасивна сонячна конструкція у вигляді енергозберігаючих вікон значно скоротить витрати на опалення та охолодження будівлі, а також забезпечить високий рівень ізоляції. Природне денне світло зменшує потребу в електриці будівлі і покращує здоров'я та продуктивність людей. Зелені будівлі також включають енергозберігаюче освітлення, низькоенергетичні прилади та технології відновлюваної енергії, такі як вітряні турбіни та сонячні батареї.



Вода. Мінімізація використання води досягається за рахунок установки систем збору забрудненої і дощової води, які переробляються в воду для зрошення або змиву в туалеті; водозберігаючі прилади, такі як насадки для душу з низькою витратою, самозачиняючіся або розпилювальні крани; туалети з низьким припливом або безводні компостуємі туалети. Управління використанням систем гарячого водопостачання і теплоізованих труб подачі гарячої води економить на нагріванні води.

Здоров'я. Використання нетоксичних матеріалів і продуктів поліпшить якість повітря в приміщеннях і знизить рівень астми, алергії і синдрому будівельного хворого. Ці матеріали не мають викидів, мають низький вміст летючих органічних сполук або не містять його, а також стійкі до вологи для запобігання утворенню цвілі, спор і інших мікробів. Якість повітря в приміщеннях також визначається за допомогою систем вентиляції і матеріалів, які контролюють вологість і дозволяють будівлі дихати.

На додаток до вирішення вищезазначених 4-х областей, зелена будівля повинна забезпечити економію витрат для забудовника і мешканців, задовольнити більш широкі потреби громади, використовуючи місцеву робочу силу і надаючи доступне житло. Зелене будівництво вимагає цілісного системного підходу, який розглядає кожен компонент будівлі у взаємозв'язку всієї будівлі, а також враховує вплив кожного компонента на навколишнє середовище і суспільство в цілому. Це дуже складний підхід, який вимагає від будівельників, архітекторів і дизайнерів творчого мислення, використовуючи системну інтеграцію в своїй роботі [10].

РІЗНІ СИСТЕМИ СЕРТИФІКАЦІЇ «ЗЕЛЕНИХ» БУДІВЕЛЬ

Регулюють екостійкий розвиток будівництва різні системи сертифікації «зелених» будівель, національні будівельні норми і стандарти, законодавство країни. Добровільні екологічні стандарти будівництва застосовуються ось уже понад 20 років у різних країнах світу і дозволяють стимулювати застосування екологічних та енергоефективних технологій завдяки ринковим механізмам. Так, наприклад, Девід Готтфрід [10], засновник Ради з екологічного будівництва США, стверджує, що Рада і рейтингова система LEED змогли змінити мислення однієї з найбільш «споживчих» держав в світі і тому він вірить, що такі методи зможуть зробити наше життя більш стійким для майбутніх поколінь.

В даний час в світі діє понад тридцять національних «зелених» будівельних стандартів, які враховують соціально-економічні, кліматичні, природні та інші умови кожної країни. Але, незважаючи на регіональні переваги в застосуванні

національних систем сертифікації, найбільш відомими, успішно застосовуються і домінують є міжнародні системи BREEAM, LEED і DGNB. В основу розробки міжнародних екологічних стандартів закладені наступні цілі:

- незалежна оцінка і підтвердження екологічних практик;
- реалізація широкого спектра екологічних вимог та об'єднання їх в єдиній концепції;
- балансування цілей енергоефективності з показниками якості будівництва, здорового і комфортного середовища;
- формування критеріїв і вимог, що перевищують законодавчі стандарти, які могли б стати двигунами модернізації будівельного сектора;
- зменшення впливу техногенного середовища на природу;
- надання впізнаваного бренду для будівель, зрозумілого широкому колу інвесторів, орендарів і кінцевих користувачів;
- заохочення попиту на екологічні будівлі і технології [9].

Основні відмінності рейтингових систем BREEAM, LEED і DGNB полягають у визначенні стратегічних цілей даних систем. LEED фокусується на ефективності використання існуючих джерел енергії. BREEAM орієнтується на використання поновлюваних джерел енергії, утилізації та місцезнаходження об'єкта. Стратегічна мета DGNB - концентрація на максимальному життєвому циклі існування будівлі, на якості та ретельності опрацювання проекту [12].

Ці стандарти не вводять строгих рамок і не наказують застосовувати будь-які конкретні матеріали і рішення, а дозволяють оцінити кожен проект індивідуально. Загальним принципом роботи для всіх рейтингових систем оцінки «зелених» будівель є:

- оцінка проекту й будівлі окремо по кожній категорії;
- виставлення єдиної оцінки;
- надання рівня відповідності і видача сертифіката на основі єдиної оцінки [13].

Звернемося до згаданих вище стандартів.

BREEAM (Building Research Establishment Environmental Assessment Method) - метод оцінки екологічної ефективності будівель, розроблений в 1990 році британською організацією BRE Global Ltd. Вимоги стандарту спрямовані на захист навколишнього середовища від людської діяльності при задоволенні інтересів усіх учасників ринку і без залучення міжнародного або місцевого права в якості карального інструменту [14].

LEED (The Leadership in Energy & Environmental Design) - Керівництво з енергетичного і екологічного проектування. Рейтингова система сертифікації так званих «зелених будівель» (green building). Розроблено в 1993 році як зеле-



ний будівельний стандарт енергоефективності та екологічності проектів і будівель американською Радою по зеленим будівлям (United States Green Building Council, USGBC). LEED не замінює вимоги нормативних документів, встановлених в тій чи іншій країні державними відомствами, а доповнює їх більш досконалыми і сучасними критеріями оцінки якості [14].

Система **DGNB** («*Deutsche Gesellschaft für Nachhaltiges Bauen*» - німецька рада зі сталого будівництва) - спочатку була розроблена в Німеччині. Заснована на німецьких (DIN) і європейських (EN) нормах, що застосовуються у будівництві.

Дослідники характеризують позитивні і негативні сторони міжнародних систем стандартизації (табл. 1).

Можна відзначити, що стандарти LEED і BREEAM фактично є прямими конкурентами і за темпами розвитку йдуть нога в ногу на міжнародному ринку. Конкуренція стандартів є здоровим явищем для будівельної індустрії і дозволяє всім учасникам ринку працювати в області вдосконалення існуючих практик будівництва. Більш того, близька конкуренція стандартів стимулює додаткові дослідження в області інновації будівельного сектора.

Перевагою LEED у порівнянні з BREEAM є його інструментарій, який дозволяє оптимізувати процес підготовки документації та управління проектом. З іншого боку, освоєння цього інструментарію є складним для тих, хто перший раз стикається з системою. Деякі експерти стверджують, що демократичні принципи LEED стимулюють, скоріше, лобювання інтересів великих виробників обладнання та постачальників матеріалів, а не науково-дослідницьку діяльність.

На користь BREEAM каже науковий підхід та

дослідження, що становлять основу його численних критеріїв, а також методологія, що спрямована на вирішення більш широкого спектру екологічних завдань у порівнянні з іншими стандартами табл. 2. [15, 16].

Найголовнішою принциповою відмінністю двох систем стандартів LEED і BREEAM є сам процес сертифікації будівлі:

1. Оцінювачі BREEAM відповідальні за збір і аудит документації, а також підготовку звіту, що направляється в BRE Global, який проводить перевірку звіту і видає сертифікат.
2. Для LEED звітна документація готується, аналізується та збирається проектною командою і передається безпосередньо в USGBC. Там відбувається оцінка звітної документації на предмет відповідності стандарту.

Модель управління кожною системою також має суттєві відмінності:

- BREEAM фінансується ліцензійними зборами від організацій-оцінювачів, і так само проектними внесками.
- LEED частково фінансується завдяки проектним зборам, а також за підтримки Ради з екологічного будівництва США.

1. Енергоефективні будівлі.

Виникає питання: «Чи потрібні архітектору і інженеру нові знання, щоб запроектувати будівлю, що відповідає вимогам стандартів «зеленого будівництва»? Постараємося коротко відповісти на це питання, розглянувши вимоги рейтингової системи оцінки «зелених будівель» в частині підвищення їх енергоефективності.

Довідники по «зеленим будівлям» містять такі розділи, які стосуються підвищення енергоефективності будівель:

Таблиця 1- Позитивні і негативні сторони міжнародних систем стандартизації [13]

Стандарт	Позитивні особливості	Негативні особливості
BREEAM	— власна система підготовки оцінювачів — можливість залучення експерта на стадії проектування — більше уваги приділено турботі про здоров'я і благополуччя людей — оцінка транспортної системи	— не розглядається регіональна специфіка — мало уваги приділено сталому розвитку території
LEED	— враховується регіональна специфіка	— клієнт сам збирає вхідну інформацію
DGNB	— методика оцінки життєвого циклу — всього дві вимоги системи є обов'язковими, що забезпечує її гнучкість	— не розглядається пасивний метод енергозбереження



1. Зменшення потреби у використанні енергії — йдеться про застосування архітектурних, інженерних і конструктивних енергозберігаючих рішень. По кожному з цих напрямків сформульовані рекомендації та наводяться посилення на відповідні стандарти, публікації і дослідження.
2. Використання поновлюваних джерел енергії — йдеться, перш за все, про технічні рішення інтегрування сонячних колекторів, теплових насосів, біотехнологій і т. п. в систему енергопостачання будівлі.
3. Оптиміальне використання затребуваної енергії. Це найбільш творчий розділ, який передбачає енергетичне порівняння різних технологій опалення, вентиляції, кондиціонування, холодопостачання і основано, головним чином, на результатах математичного моделювання будівлі як єдиної енергетичної системи.

Перераховані вище напрями підвищення енергетичної ефективності будівель були відомі досить вузькому колу фахівців (переважно авторам наукових, методичних і технічних принципів їх реалізації, якими були ті самі фахівці). Оволодіння новими знаннями в даній області полягає в тому, що повинна бути створена система нових нормативних документів, система методичних і наукових розробок, а також програм навчання, що дозволяють фахівцям найкращим чином досягти поставленої мети - підвищення енергетичної ефективності будівель відповідно до викладених вище вимог. Але найголовніше полягає в тому, що всі фахівці, які хочуть відповідати вимогам проектування XXI століття в частині створення комфортного екологічного середовища проживання людини, повинні пройти навчання та скласти відповідні іспити на сертифікат, наприклад, LEED AP чи BREEAM.

Довідники по «зеленим будівлям» перераховують наступні завдання, які включаються в сферу діяльності архітектора в області проектування енергоефективних будівель:

- орієнтація будівлі по сторонах світу;
- оптимальне розташування будівлі в існуючій забудові;
- вибір форми оболонки будівлі;
- скління і матеріали зовнішніх огорожень;
- розгляд будівлі як єдиної енергетичної системи з урахуванням спрямованої дії зовнішнього клімату.

Будинки з природною вентиляцією повинні мати таку орієнтацію і розташування припливних отворів, щоб приплив повітря в приміщення забезпечувався при різних напрямках вітру, в тому числі і при штилі. Дахи різновисотних будівель рекомендовано засаджувати різними рослинами, щоб знизити кількості і рівень зливових вод.

2. Питання сертифікації.

По суті, сертифікація об'єкта по системі «зелених будівель» ініціює творчий пошук архітекторів та інженерів таких технічних рішень, які мінімізують негативний і оптимізують позитивний вплив енергетичних, екологічних та технологічних факторів, що визначають будівлю як середовище проживання людини. У цій роботі важко розділити творчість архітектора та інженера: має місце їх спільна діяльність протягом всього процесу проектування, і тільки такий союз може забезпечити успіх у досягненні поставленої мети.

Власне кажучи, ці завдання і раніше перебували в сфері діяльності архітектора. Різниця полягає в тому, що раніше ці вимоги носили рекомендаційний характер і їх реалізація в тій чи іншій мірі здійснювалася в залежності від амбітності архітектора. В умовах звичайного проектування ці вимоги є рекомендаціями, а при бажанні отримати сертифікат по системі

Таблиця 2 - Порівняння стандартів LEED і BREEAM

	BREEAM	LEED
Рік створення	1990	1998
Кількість сертифікованих будівель	116 000	2 500
Схеми	15	5
Наявність акредитованого оцінювача	Обов'язково	По бажанню
Індивідуальний підхід до будівлі	Є	Немає
Спирається на стандарти	Європейські	США
Екологічна ефективність	++	+
Собівартість	+	++



LEED, BREEAM або іншій системі сертифікації ці рекомендації стають деякими вимогами, за якими даються заохочувальні бали.

Іноді серед інвесторів, глибоко не знайомих з системою «зелених будівель», виникає негативне ставлення до системи сертифікації, так як, на їхню думку, це призводить до здорожчання об'єкта. Це не зовсім так або навіть зовсім не так. Комерційна вартість об'єкта при його здачі в оренду або продажу істотно вище, ніж несертифікованого будівлі, так як дійсно сертифікований об'єкт є високоефективною будівлею щодо комфорту середовища проживання, екологічної безпеки та мінімізації енергоспоживання. Наприклад, в даний час в США забудовники, рекламуючи житло, побудоване з урахуванням строгих екологічних стандартів, стверджують, що «зелені» будівельні технології йдуть на користь не тільки навколишньому середовищу, а й гаманцю домовласника. Покупці нерухомості в США прислухаються до цього доводу як ніколи раніше. Згідно інформаційній службі McGraw-Hill Construction, яка відстежує ринок житла, побудованого за «зеленими» технологіям, частка енергоефективного житла виросла з 2% ринку в 2005 році до 20% в 2013 році.

У доповіді Всесвітньої ради з екологічного будівництва щодо «економічного обґрунтування екологічного будівництва» вказується, що ціни на сертифіковані екологічні будівлі зросли приблизно на 30% в ціні в порівнянні зі звичайними будівлями. Це хороша перспектива для розробників. Згідно з тим же звітом, з точки зору власника, сертифікація BREEAM може підвищити орендні ставки на будівлі до 24,9% в порівнянні зі звичайними будівлями. Звіт DLA Piper за 2014 рік показує, що 38% учасників опитування визначили збереження або збільшення вартості зеленого житла в якості основної переваги цього типу нерухомості, за якою слідує репутація (18%) і зниження витрат на електроенергію (15%).

Експлуатаційні витрати і витрати на персонал, включаючи заробітну плату та посібники, зазвичай складають близько 90% від операційних витрат підприємства. Тому продуктивність персоналу або що-небудь ще, що впливає на його здатність бути більш продуктивним, має бути головною проблемою для будь-якої організації [17].

Вже є приклади будівель в Україні, сертифікованих за стандартом BREEAM зеленого будівництва. Бізнес-центр Astarta в Києві і бізнес-парк Optima Plaza у Львові відповідали вимогам системи сертифікації BREEAM. У червні 2017 року почалися роботи по комплексу «Парк Лейк Сіті» під Києвом, в який входять житлові будинки, торговий центр, дитячий садок і початкова школа. Є також деякі інші проекти зеленого будівництва, розроблені відповідно до вимог

BREEAM, але вони ще не були широко оголошені.

3. «Стратегії розвитку міста Києва до 2025 року».

Потреби в ресурсах майбутньої урбанізації вимагають нової стратегії для задоволення потреб урбанізації 21-го століття. Доповідь «Стійкі перетворення міської інфраструктури», підготовлений ООН по навколишньому середовищу, говорить про те, що для перетворення міст буде потрібно спільне управління на всіх рівнях і планування на великі періоди часу. У доповіді рекомендується контролювати потік ресурсів, що надходять в міста і залишають їх, щоб зрозуміти місцеву ситуацію і допомогти в розробці ресурсоефективних стратегій. Згідно «Стратегії розвитку міста Києва до 2025 року», в Києві планується компактне зростання території за рахунок нової забудови, щоб уникнути розростання міста і, таким чином, заощадити на кубічних кілометрах асфальту і бетону. Щоб в нових житлових районах люди мали необхідні елементи міської інфраструктури, могли досягти необхідної точки пішки або на велосипеді, а зв'язок з іншими районами був забезпечений ефективним і доступним громадським транспортом.

Електроенергія і вода часто витрачаються даремно в містах, що розрослися. В Києві зелене будівництво покликане зробити ресурсозберігаючими такі міські компоненти, як:

1. Спільне використання автомобілів, електромобілів і мереж-точок зарядки електромобілів;
2. Витрата різних видів енергій (теплової, електричної та ін.);
3. Ефективні системи очищення стічних вод і води;
4. Інтелектуальні мережі, велосипедні доріжки, енергоефективні будівлі, нові технології обігріву, охолодження та освітлення і ін. [18].

Запропоновані стратегії розвитку Києва включають інфраструктуру для міжгалузевої ефективності, наприклад, використання відпрацьованого тепла від промисловості в районних енергосистемах і промислових відходів у будівництві, таких як цеглини з летючого попелу. Розглядається створення нової моделі міського управління та політики, яка підтримує творчі бізнес-пропозиції та експерименти [6]. Згідно з основною метою Стратегії, довгостроковий розвиток міста Києва прекрасно корелює з основними принципами зеленого будівництва [18, 6].

Спільне управління на всіх рівнях і довгострокове планування будуть необхідні для перетворення міст і регіонів всієї України. Проведення національного планування урбанізації збалансує економічне зростання в різних містах. Сприяння створенню компактних, змішаних, доступних і інклюзивних міст, за допомогою регіонального



та міського планування, розглядається з метою скорочення планування землекористування, впорядкування інфраструктури та сприяння стійкої мобільності. Розглядається підвищення ефективності використання ресурсів, на рівні системи по всьому місту, за допомогою інноваційних і прибуткових обмінів «непотрібної» енергії і матеріалів. Розвиток міст шляхом планування землекористування, яке реконструює існуючі будівлі в ресурсозберігаючі будівлі, просуває ресурсозберігаючі, стійкі будівлі і електромережі [6].

4. Застосування принципів «зеленого будівництва» до протизсувних споруд.

Одним з найбільш важливих видів благоустрою зелених будівель є наш клімат і природне середовище. Зелені будівлі можуть не тільки зменшити або усунути негативний вплив на навколишнє середовище, використовуючи менше води, енергії або природних ресурсів, але в багатьох випадках вони можуть справити позитивний вплив на навколишнє середовище, генеруючи власну енергію або збільшуючи біорізноманіття. «Зелене будівництво» починається з розробки «зеленого проекту», завдання якого на попередній стадії врахувати можливість гармонійно «вписати» будівництво в природний ландшафт.

Концепція сталого розвитку була прийнята на міжнародній конференції «Екологічний саміт» в Ріо-де-Жанейро. Потім ця концепція поступово допрацьовувалася стосовно до різних областей людської діяльності, в тому числі до будівельної галузі в області «зеленого будівництва», що включає геотехніку (як, наприклад, в проєкті ECTP reFINE (2012) (O.Riordan, 2012)) [19]. Основна мета концепції сталого розвитку в геотехнічному «зеленому будівництві» полягає в тому, щоб:

1. Надати йому економічну конкурентоспроможність та достатню корисність;
2. В той же час знизити енерго- і матеріаломісткість;
3. Зменшити площу земельних ділянок, що відводиться під будівництво;
4. Мінімізувати ризики шкоди для здоров'я і життя людей в разі аварій і небажаних подій під час геотехнічного будівництва.

Як зазначає у своїх роботах професор Ванічек «Грунтові конструкції являють собою дуже хороший приклад застосування вищезазначених принципів «зеленого будівництва» [19]. Згідно з його дослідженням, можна згадати такі приклади:

І. Збереження земельних ділянок (угідь) при проєктуванні, що розташовані поблизу крутих схилів насипів або котлованів. В таких випадках, зазвичай, використовуються геосинтетичні матеріали для зміцнення ґрунтових стінок схилів (котлованів).

II. Економія природних наповнювачів протизсувних споруд за рахунок використання альтернативних (природних) матеріалів [19]. При використанні матеріалів у великих кількостях необхідно заздалегідь перевірити їх фізико-механічні властивості, а також їх вплив на навколишнє середовище, щоб запобігти нештатній поведінці (реагуванню) (наприклад, при збільшенні шлаку в одиниці об'єму матеріалу-наповнювачу) або забруднення підстилаючого ґрунту продуктами відходів виловлювання [19].

III. Економія електроенергії протягом всього передбачуваного терміну експлуатації геотехнічних споруд, яка може бути пов'язана з безліччю аспектів. Наприклад, якщо застосувати концепцію сталого розвитку до більш крутих зсувонебезпечних схилів, можна не тільки зменшити розмір ділянки під майбутнє будівництво, а й знизити споживання енергії, необхідної для виїмки ґрунту та на його переміщення при будівництві.

IV. Вибір найкращої технології і контроль ущільнення ґрунту в геотехніці є також важливим аспектом, з точки зору економії електроенергії. Сюди ж можна додати використання геотермальної енергії, і нарешті, економію може дати використання нових інтелектуальних геотехнічних конструкцій, при возведенні яких споживання енергії буде менше, ніж в класичних геотехнічних конструкціях [19].

V. Підпірні протизсувні стіни з укріпленого ґрунту в порівнянні з класичними бетонними гравітаційними підпірними протизсувними стінами.

Протизсувні споруди на території ГП «Айвазовское», запроектовані та реалізовані у відповідності з концепцією «зеленого будівництва».

В адміністративному відношенні зсувонебезпечна ділянка розташована в північній частині смт Партеніт АР Крим, на території ДП «Айвазовське». Територія вище ділянки проєктного будівництва зайнята спорудами ЗАТ ЛОК «Айвазовське»: кінотеатр, пральня, котельня, боулінг-клуб. Територія нижче ділянки проєктного будівництва штучно спланована, привантажена насипними ґрунтами при будівництві тенісних кортів і закріплена берегозахисними спорудами. Центральна частина ділянки проєктного «Японського садка», представлена поверхнею вузької балки, витягнутої в східному напрямку, в межах якої розвивається сучасний активний осередок зсуву №75 ($C_{оп} IV^A$). В геоморфологічному відношенні зсувонебезпечну ділянку проєктного будівництва «Японського садка» і ПЗС знаходиться в середній частині циркоподібної улоговини, утвореної ерозійно-зсувними накопиченнями сучасного стабілізованого зсуву № 75 «Чукурлар-східний» (рис. 1). Він був штучно спланований і

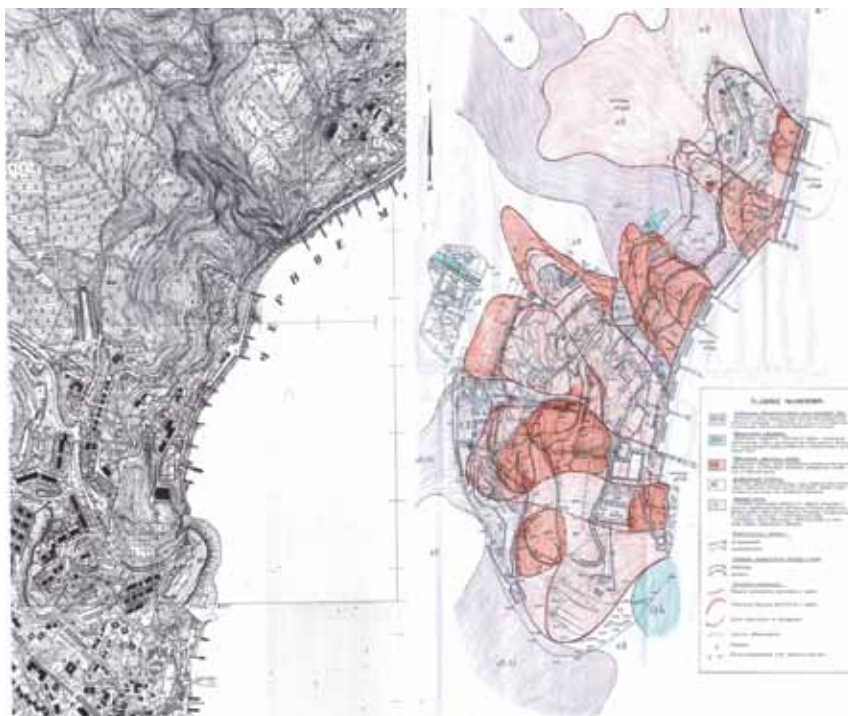


Рисунок 1 – Топографічна зйомка та план розташування зсувонебезпечних ділянок (виділені відтінками брунатного кольору) в північній частині смт Партеніт АР Крим

засаджений сосновими деревами. Абсолютні позначки рельєфу ділянки змінюються від 66,000 м до 68,000 м – на заході, до – 17,500 м на сході. Територія ЗАТ ЛОК «Айвазовське», розташована нижче ділянки проектного «Японського

території; четвертинними відкладеннями (Q). Нерозчленована товща порід Таврійської серії (ТЗ + J1) служить корінним фундаментом території проектного будівництва (ІГЕ-4), представлена товщею аргілітів, лускатих і тонкоплітчатих порід,

садка», штучно виположена, пригнута насипними ґрунтами. У нижній частині схилу виконано комплекс берегоукріплювальних заходів, який перешкоджає абразійному розмиву берегового уступу - в період штормів силою понад 4 бали (рис. 1). Уточнені межі сучасного активного осередку зсуву № 75, зафіксовані тріщини розтягування, розтягу та зміщення, вали наповзання і випирання. Опливини та спливи також нанесені на інженерно-геологічну карту (рис. 1).

Для виконання розрахунків стійкості, інженерно-геологічні умови прийняті за даними [33].

Інженерно-геологічні умови території.

Геологічний розріз території представлений двома різними за віком і генезисом комплексами порід: відкладеннями Таврійської серії (ТЗ + Л), що складають корінний фундамент

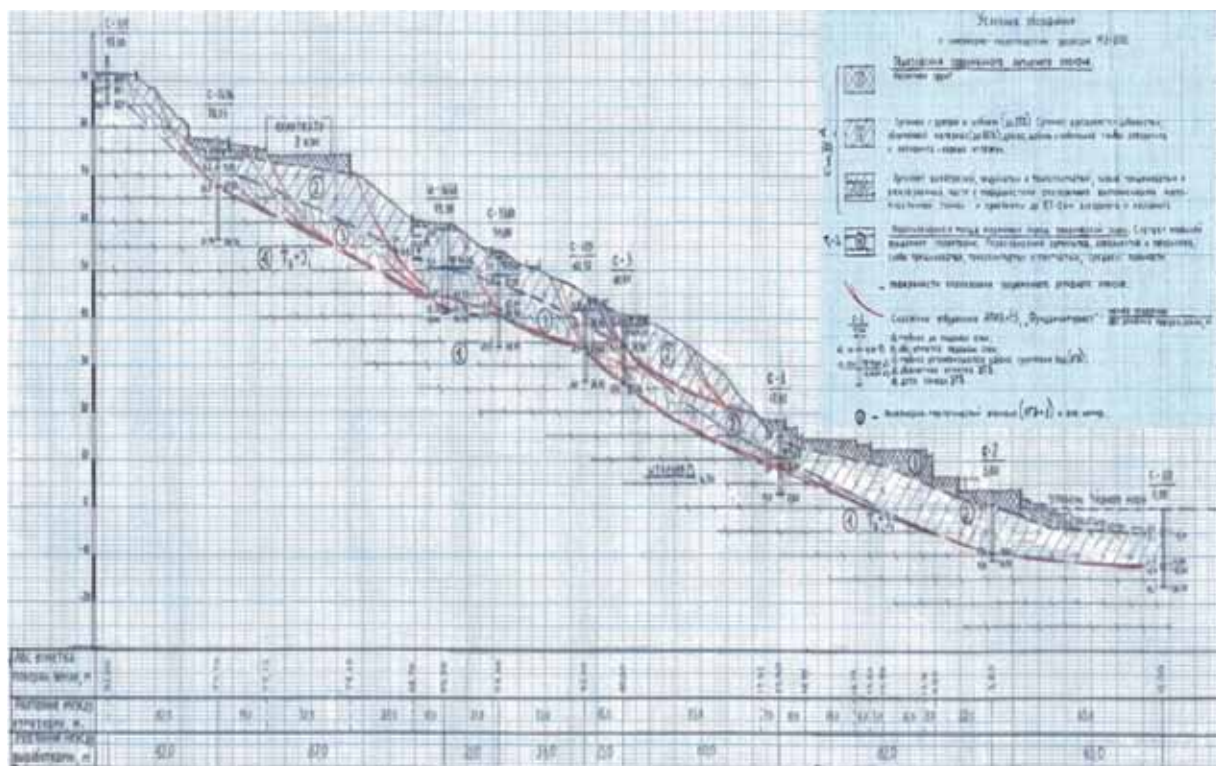


Рисунок 2 – Інженерно-геологічний розріз по лінії 1-1, який проходить по зсуву №75 «Чукурлар-східний», за результатами досліджень НВО Укркогеобуд [33]



від слабо міцних до міцних з гніздами озалізнення і сульфатної мінералізації (гіпсу і діккіта), з прошарками від 0,05 м до 0,3 м алевроліту і пісковики.

За результатами геофізичних досліджень і буріння свердловин, породи Таврійської серії (ТЗ + J1) в межах ділянки досліджень залягають на глибині від 13,5 м і більше. Четвертинні відкладення (Q) представлені: утвореннями сучасного стабілізуваного зсуву № 75 (Con IVA); утвореннями сучасного активного осередка зсуву № 75 (Con IVA) (рис.2).

Утворення сучасного осередку зсуву №75 (Con IVA) на території досліджень мають площинне поширення. Представлені вони (знизу до верху) (рис.2):

- аргілітами темно-сірими, лускатими і тонкошаровими, від слабо міцних до міцних, з гніздами озалізнення і сульфатної мінералізації (гіпсу і діккіта), з прошарками від 0,05 м до 0,3 м алевроліту і пісковики, сильно тріщинуватих і з поверхнями ковзання (ІГЕ-3);
- суглинками з дресвой і щебенем, сірими і темно-сірими, від м'якопластичного до напівтвердих, з гніздами озалізнення і поверхнями ковзання. Уламковий матеріал (до 25-30%) представлений дресвой, щебенем і рідкісними брилами алевроліту і пісковики;
- суглинками дресвянисто-щебеністими, рідше з дресвой і щебенем, бурими і буро-сірими, напівтвердими і тугопластичними, з поверхнями ковзання і прошарками (до 1,0 - 5,0 см.) М'якопластичних глин. Уламковий матеріал (до 40-45%) представлений дресвой і щебенем алевроліту і піщанику (ІГЕ-2).

Гідрогеологічні умови.

Територія проектного будівництва знаходиться в східній частині Південно-Західного гідрогеологічного району. За гідрогеологічними умовами вона є зневодненою. Віднесення ділянки до середньої частини циркоподібного сучасного зсуву №75 в осьовій його частині свідчить про наявність досить великої площі водозбору в верхній частині схилу. Результатом цього є наявність джерел підземних вод, що виклинюються на поверхню в межах сучасної активної ділянки зсуву №75. Формування верховодки свідчить про витіки води зі зношених водоне-

сучих комунікацій ЗАТ «ЛОК» «Айвазовське» і з магістрального водоводу, прокладеного від джерела «Пугача - Чокрак» до дитячого садка, де спостерігається заболочування 150 метрової ділянки схилу - уздовж верхового укусу автодорожного спуску в смт Партеніт.

Аналіз наявних матеріалів дозволяє зробити висновок, що в межах ділянки проектного «японського садку» є підземні води, які перезволожують утворення сучасного зсуву № 75 (Con IVA) і є головною умовою формування і розвитку сучасного активного (Con IVA) зсуву № 75.

В межах ділянки проектного будівництва підземні води розкриті на глибинах від 5,0 м, до 7,6 м в середній частині розрізу зсувних накопичень. Розкриті свердловина 3) підземні води на глибині 7,3 м - напірні. Сталий рівень води в свердловині - 2,2 м. Джерела, що виклинюються на поверхню вище свердловини 3, заболочують нижчий зсувний схил до автодороги між головним корпусом і плавальним басейном. На рис. 2 червоними лініями позначені передбачувані лінії ковзання зсуву.

Небезпечні екзогенні геологічні процеси.

До екзогенних геологічних процесів, що становлять реальну загрозу ділянці проектного будівництва, слід віднести сучасні зсувні процеси. Зсувні процеси на території ЗАТ «ЛОК» «Айвазовське» мають площинні поширення, з формуванням сучасного зсуву № 75 «Чукурлар-східний» (Con IVA), в межах широкої



Рисунок 3 – Локальні прояви зсувної активності на схилі:
а) тріщини відриву на пішохідних доріжках; б) тріщини відриву на локальних ділянках схилу



циркоподібної улоговини, що заповнена а) ерозійно-зсувними накопиченнями (рис. 2).

Деформація асфальтобетонного покриття дороги, доріжок і водопропускних лотків, а також тріщини розтягування в асфальтовому покритті дороги, що веде від адміністративної будівлі до спальних корпусів і плавального басейну, свідчать про нестійкість активного осередка зсуву №75. Проведені в 2004 р АПІЕ 35 "Фундаментпроект" інженерно-геологічні вишукування підтвердили наявність на схилі зсувних процесів (рис. 3).

Утворення сучасного активного осередку зсуву № 75 «Чукурлар-східний» ($C_{on} IV^A$).

Сучасними зсувними процесами і рухами, в межах ділянки проектного будівництва, захоплені утворення сучасного зсуву ($C_{on} IV^A$) № 75 «Чукурлар-східний». Товщина залучених в зсувних зміщеннях накопичень коливається від 15,45 м - у верхній частині зсувного схилу, до 11,4 м - в середній його частині. Язикова частина активного осередку зсуву № 75 представлена валом наповзання висотою 5,0-8,0 м вище автодороги між головним корпусом і плавальним басейном.

Як правило, в підшві сучасного активного осередку зсуву № 75 залягають сірі і темно-сірі суглинки, що містять уламковий матеріал з м'якопластичної глини (ІГЕ-3) порід Таврійської серії, з поверхнями ковзання. Сучасні техногенні відкладення на території проектного будівництва мають площинні поширення (рис. 4). Сформовані вони в результаті перепланування рельєфу, відвалів привізного ґрунту, будівельного сміття (ІГЕ-1) і додані в сучасні зсувні зміщення. Літологічний склад відкладень - в) суміш місцевих порід, з якого складається чвар, насипного ґрунту та будівельного сміття. Товщина насипних ґрунтів в межах ділянки коливається від 1,0 до 3,0 м. Потужність залучених в зсувні зміщення ґрунтів активного вогнища - зсуву № 75, за даними буріння становить: у верхній частині $11,1 \div 15,45$ м; в середній частині 11-4-5 м і 13,5 м.

Язикова частина сучасного активного осередка зсуву № 75, що розвантажуюється на підсічку верхнього укосу автодороги між головним корпусом і плавальним басейном лікувально-оздоровчого корпусу, частково закріплена підпірною стіною на протязі 33,0 м, висотою $2,5 \div 3,0$ м. Представлена валом наповзання висотою $5,0 \div 6,0$ м і представлена сучасними зсувними опливінами, спливами і осовами ґрунту (рис.4).

«Японський сад».

На рис. 5 наведено план «Японського саду», виконаний у відповідності до принципів геотехнічного «зеленого будівництва», що



Рисунок 4 – Загальний вигляд ділянок схилу: а) локальні прояви зсувної активності; б) замочування ґрунтів схилу через вклинювання на поверхню джерел; в) витоків з водогінних комунікацій (заболочування)

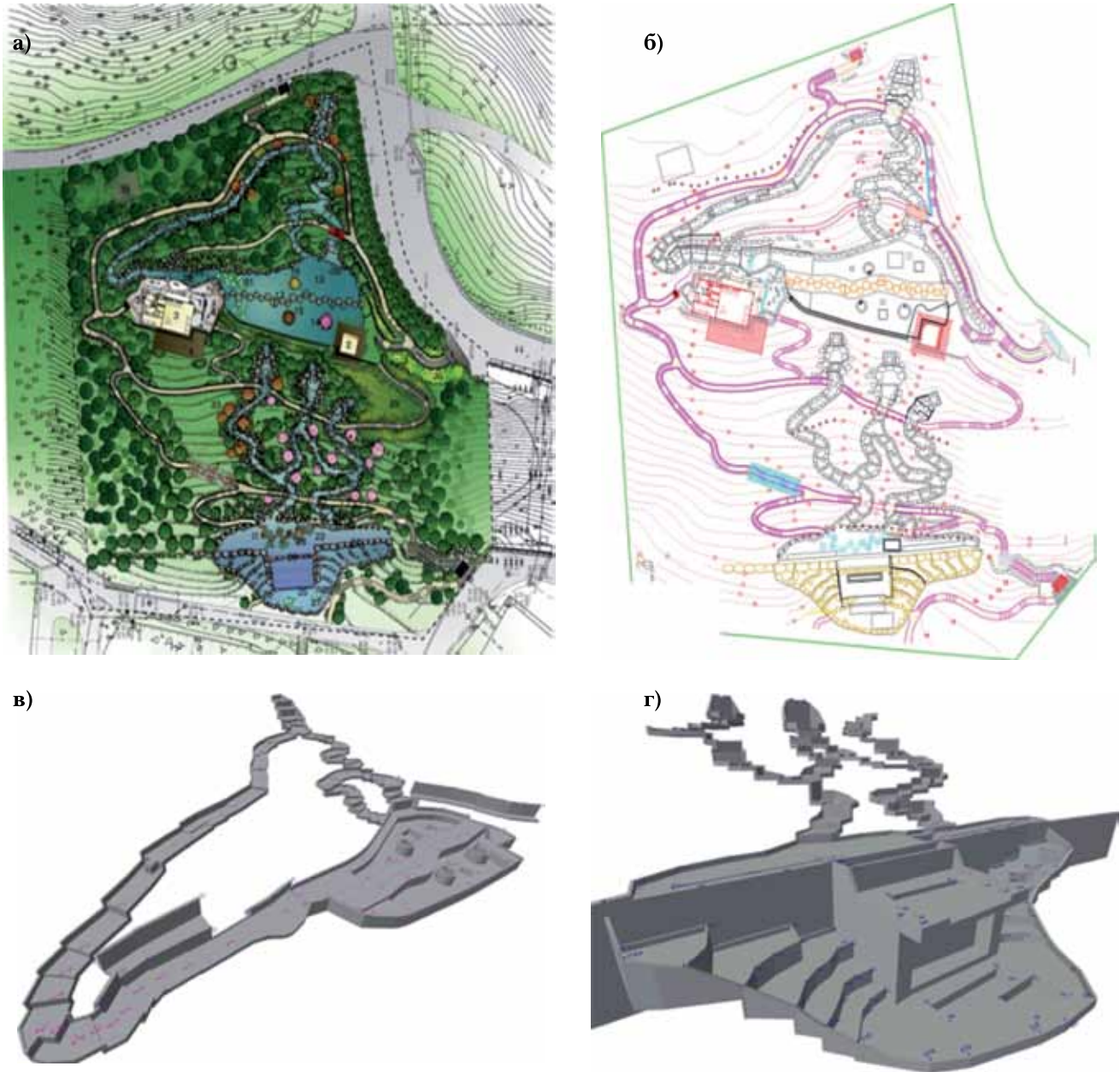


Рисунок 5 – План «Японського саду»: а) , б) – загальний вид та схема «Японського саду»; в) та г) – загальний 3-D вид головних доріжок «Японського саду» та споруди в нижній його частині

розташовано на схилі зсуву № 75.

На рис. 6. наведено фотографії різних стадій будівництва геотехнічних споруд «Японського саду», що стабілізують локальні зсувні процеси на ділянках схилу зсуву № 75 «Чукурлар-східний».

На рис. 7. наведено поперечні перерізи та фотографії доріжок на схилі зсуву №75 «Чукурлар-східний», які виконані у відповідності до принципів геотехнічного «зеленого будівництва». Доріжки не тільки не активізують окремі ґрунтові маси на схилі, а ще стабілізують локальні зсувні процеси на окремих ділянках схилу зсуву № 75 «Чукурлар-східний».

МОДЕЛЮВАННЯ СТІЙКОСТІ ЗСУВНОГО СХИЛУ СУЧАСНОГО ЗСУВУ ($C_{on} IV^A$) № 75 «ЧУКУРЛАР-СХІДНИЙ»

Проведення моделювання стійкості має на меті визначення ступеня стійкості схилу, як на період виконання будівельних робіт зі зведення геотехнічних конструкцій «Японського саду», так і на період постійної його експлуатації. Для досягнення поставленої мети були досліджені і вирішені наступні завдання:

1. Розрахунок загальної та локальної стійкості розглянутої ділянки схилу зсуву №75, як в його природному, так і в водонасиченому стані;



Рисунок 6 – Фотографії різних стадій будівництва (а-г) геотехнічних споруд «Японського саду», що стабілізують локальні зсувні процеси на ділянках схилу зсуву № 75 «Чукурлар-східний»

2. Розрахунки, які отримані за схемою "плашка по плашці" зі змоченою поверхнею ковзання. При цьому також виконувалось моделювання можливих додаткових сейсмічних навантажень для даного району досліджуваного схилу.
3. За результатами розрахунків стійкості визначався тип і основні параметри підпірних стін, що мають буди запроектовані та забезпечують одночасно стійкість схилу і відповідність принципам «зеленого будівництва».

Розроблено робочі креслення підпірних стін. Відповідно до Додатку 1 ДБН В.1.1.3-97 "Інженерний захист територій, будинків і споруд від зсувів та обвалів. Основні положення" [31] досліджувану ділянку схилу сучасного зсуву (Соп IVA) № 75 «Чукурлар-східний» слід розглядати як зсувну територію, тобто таку де зсувні деформації проявляються або мали місце

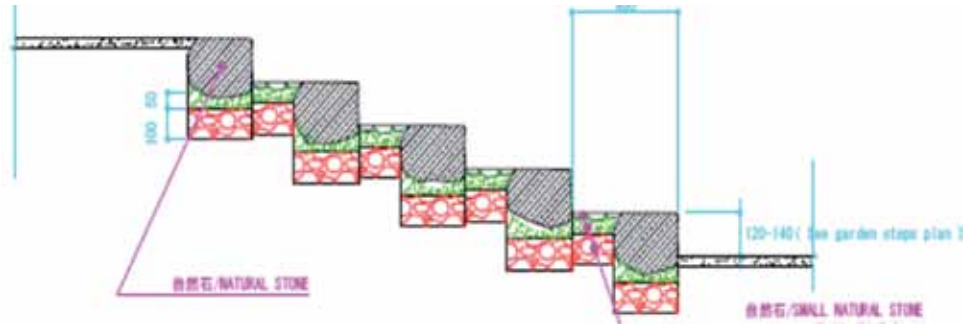
в минулому. Згідно з вимогами того ж ДБН В.1.1.3-97 [31] для забезпечення загальної та місцевої стійкості схилу величина нормативного коефіцієнта стійкості повинна бути не менше 1,25 при особливих поєднаннях навантажень.

Методика виконання розрахунків стійкості.

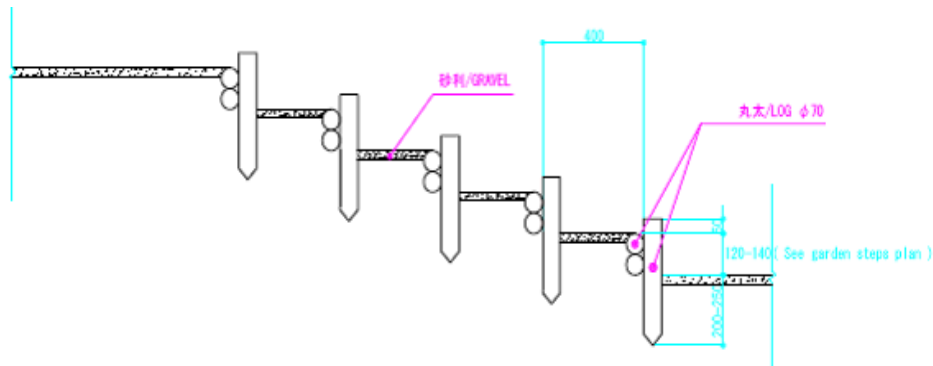
Для виконання розрахунків стійкості використано програмний комплекс "SLIDE 5.0" компанії "Rocscience Inc". Даний програмний комплекс призначений для оцінки напружено-деформованого стану ґрунтових масивів під дією статичних та динамічних навантажень, а також стійкості схилів або ґрунтових укосів методами Моргенштерна і Прайса, Бішопа, Янбу та Фелленіуса припускаючи, що поверхні ковзання мають круглоциліндричну форму або представлені у вигляді ламаних ліній. Розрахунок виконаний на 1,0 п.м. в умовах плоскої деформації. При моделюванні ґрунтового масиву прийнята модель ґрунту, що відповідає умові міцності Кулона-



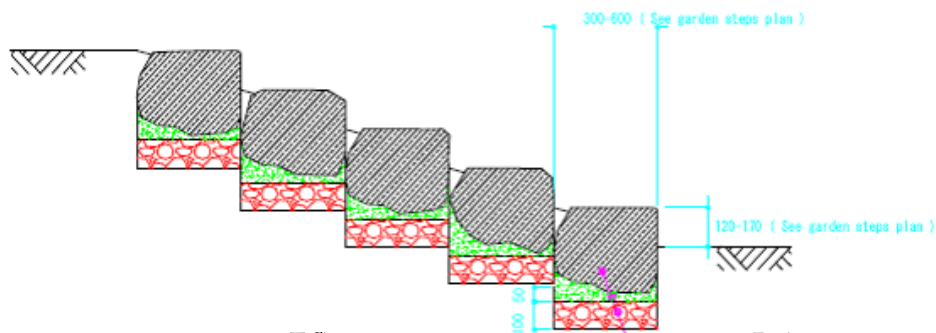
A)



B)



B)



Aa)



Bб)



Bв)



Рисунок 7 – На А), Аа), Б), Бб), В), Вв) наведено поперечні перерізи та фотографії різних типів доріжок на території «Японського саду». Вони всі виконані у відповідності до принципів «зеленого будівництва» в геотехніці та служать локальними стабілізуючими геотехнічними спорудами окремих зсувонебезпечних ділянок на поверхні головного зсуву №75 «Чукурлар-східний»



Мора. Задача визначення коефіцієнтів стійкості схилу і підпірних стінок вирішувалася на підставі наступних вихідних даних:

- інженерно-геологічної будови схилу (координати точок контуру окремих інженерно-геологічних елементів, що характеризують геологічну будову схилу);
- фізико-механічних характеристик ґрунтів і величини зміни зазначених показників при зволоженні;
- положення рівня ґрунтових вод з урахуванням його можливого підняття на прогнозовану величину, що враховує сезонні коливання і підйом за рахунок аварійних витоків з водогінних комунікацій. Область зводнення задається з урахування фільтраційних сил;
- умов розрахунків за фрагментами для визначення локальної стійкості на окремих ділянках схилу.

Розрахунки виконувалися для ґрунтів, що складають схил, як у стані природної вологості, так і для ґрунтів, що знаходяться в водонасиченому стані після тривалих аварійних витоків води з водогінних комунікацій або рясних поверхневих опадів, а також природних джерел. При розрахунку стійкості схилу також використовувалися міцності ґрунтів, отримані за схемою "плашка по плашці" зі змоченою поверхнею, що моделюють змішання ґрунтів по ослабленим зонам у вигляді природних поверхонь ковзання. Були проведені додаткові розрахунки, на особливе сполучення навантажень, з урахуванням сейсмічної дії (для майданчика сейсмічністю 8 балів, ДБН В.1.1-2006, додаток А [32]).

Опис розрахункового створу.

В якості вихідних даних для створення розрахункового створу був обраний інженерно-геологічний розріз 1-1, який проходить по зсуву №75 [33] (рис.2). Можливі розрахункові випадки визначалися виходячи з реального стану схилу, умов його замочування, процесу розвитку зсувних явищ і можливості виникнення сейсмічних навантажень (землетрус інтенсивністю 8 балів).

Для зазначеного розрахункового створу були розглянуті наступні схеми:

1. Загальна стійкість схилу в разі ґрунтів природної вологості зі сформованою поверхнею ковзання "плашка по плашці" зі змоченою поверхнею.
2. Загальна стійкість схилу в разі водонасичення ґрунтів, що складають схил (ІГЕ-1, ІГЕ-2) зі сформованою поверхнею ковзання "плашка по плашці" зі змоченою поверхнею.
3. Загальна стійкість схилу в разі ґрунтів природної вологості зі сформованою поверхнею ковзання "плашка по плашці" зі змоченою поверхнею і виникнення

сейсмічних навантажень.

4. Загальна стійкість схилу в разі водонасичення ґрунтів, що складають схил (ІГЕ-1, ІГЕ-2) зі сформованою поверхнею ковзання "плашка по плашці" зі змоченою поверхнею і виникнення сейсмічних навантажень.
5. Локальна стійкість верхньої частини схилу в разі ґрунтів природної вологості зі сформованою поверхнею ковзання "плашка по плашці" зі змоченою поверхнею після будівництва пальової підпірної стіни (1-а черга), а також загальна стійкість нижчележачого схилу.
6. Локальна стійкість верхньої частини схилу в разі водонасичення ґрунтів що складають схил (ІГЕ-1, ІГЕ-2) зі сформованою поверхнею ковзання "плашка по плашці" зі змоченою поверхнею після будівництва пальової підпірної стіни (1-а черга), а також загальна стійкість нижчележачого схилу.
7. Локальна стійкість верхньої частини схилу в разі ґрунтів природної вологості зі сформованою поверхнею ковзання "плашка по плашці" зі змоченою поверхнею і виникнення сейсмічних навантажень після будівництва пальової підпірної стіни (1-а черга), а також загальна стійкість нижчележачого схилу.
8. Локальна стійкість верхньої частини схилу в разі водонасичення ґрунтів, що складають схил (ІГЕ-1, ІГЕ-2), з виникненням сейсмічних навантажень після будівництва та сформованою поверхнею ковзання "плашка по плашці" зі змоченою поверхнею пальової підпірної стіни (1-а черга), а також загальна стійкість нижчележачого схилу.
9. Локальна стійкість середньої частини схилу в разі ґрунтів природної вологості зі сформованою поверхнею ковзання "плашка по плашці" зі змоченою поверхнею після будівництва свайної підпірної стіни (2-а черга), а також загальна стійкість нижчележачого схилу.
10. Локальна стійкість середньої частини схилу в разі водонасичення ґрунтів, що складають схил (ІГЕ-1, ІГЕ-2), зі сформованою поверхнею ковзання "плашка по плашці" зі змоченою поверхнею після будівництва свайної підпірної стіни (2-а черга), а також загальна стійкість нижчележачого схилу.
11. Локальна стійкість середньої частини схилу в разі ґрунтів природної вологості зі сформованою поверхнею ковзання "плашка по плашці" зі змоченою поверхнею і виникнення сейсмічних навантажень після будівництва пальової підпірної стіни



Рисунок 8 – Графічна схема зсувного схилу з усілякими поверхнями ковзання в програмному комплексі "SLIDE 5.0" компанії "Rocscience Inc" для оцінки загальної стійкості схилу при водонасичненні ґрунтів, що складають схил (ІГЕ-1, ІГЕ-2), зі сформованою поверхнею ковзання "плашка по плашці" зі змоченою поверхнею при виникненні сейсмічних навантажень до будівництва пальових підпірних стін

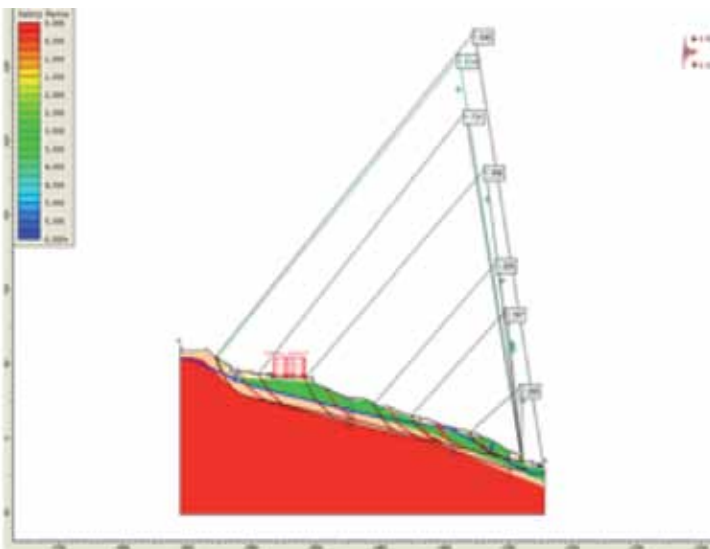


Рисунок 9 – Загальна стійкість схилу в разі водонасичнення ґрунтів, що складають схил (ІГЕ-1, ІГЕ-2), зі сформованою поверхнею ковзання "плашка по плашці" зі змоченою поверхнею та виникненням сейсмічних навантажень після завершення будівництва пальових підпірних стін

(2-а черга), а також загальна стійкість нижчележачого схилу.

12. Локальна стійкість середньої частини схилу в разі водонасичнення ґрунтів, що складають схил (ІГЕ-1, ІГЕ-2), із сформованою поверхнею ковзання "плашка по плашці" зі змоченою поверхнею і виникнення сейсмічних навантажень після будівництва пальової підпірної стіни (2-а черга,) а також загальна стійкість нижчележачого схилу.
13. Загальна стійкість схилу для ґрунтів природної вологості зі сформованою поверхнею ковзання "плашка по плашці" зі змоченою поверхнею після завершення будівництва пальових підпірних стін.
14. Загальна стійкість схилу для водонасичнення ґрунтів, що складають схил (ІГЕ-1, ІГЕ-2), із сформованою поверхнею ковзання "плашка по плашці" зі змоченою поверхнею після завершення будівництва пальових підпірних стін.
15. Загальна стійкість схилу для ґрунтів природної вологості зі сформованою поверхнею ковзання "плашка по плашці" зі змоченою поверхнею в випадку виникнення сейсмічних навантажень після завершення будівництва пальових підпірних стін.
16. Загальна стійкість схилу для водонасичнення ґрунтів, що складають схил (ІГЕ-1, ІГЕ-2), зі сформованою поверхнею ковзання "плашка по плашці" зі змоченою поверхнею при виникненні сейсмічних навантажень після завершення будівництва пальових підпірних стін.

На рис. 8. і рис. 9. приведена графічна схема зсувного схилу з усілякими поверхнями ковзання в програмному комплексі "SLIDE 5.0" компанії "Rocscience Inc" до і після будівництва пальових підпірних стін для яких були проведені розрахунки.

РЕЗУЛЬТАТИ РОЗРАХУНКІВ

Величини мінімальних коефіцієнтів стійкості найбільш небезпечних поверхонь ковзання наведені в таблиці 3. У проєкті протизсувних підпірних стін було прийнято коефіцієнт стійкості схилу $K_{ST} = 1.3$ (для основного сполучення навантажень) і $K_{ST} = 1.25$ (для особливого сполучення навантажень), що відповідає другому ступеню для захисних споруд у відповідності з ДБН В.1.1-3-97 [34].



Таблиця 1- Величини мінімальних коефіцієнтів стійкості найбільш небезпечних поверхонь ковзання

№ розрахункової схеми	Метод розрахунку			
	Моргенштерна-Прайса	Янбу	Бішопа	Фелленіуса
1	1,161	1,148	1,177	1,167
2	1,054	1,04	1,065	1,062
3	0,838	0,83	0,852	0,844
4	0,725	0,717	0,736	0,729
5	2,16/1,285	2,014/1,268	2,04/1,301	2,095/1,277
6	/1,089	1.941/1.069	1.962/1.103	2,024/1,08
7	/0.805	1.2/0.796	1.24/0.82	1.274/0.81
8	/0.695	1.174/0.683	1.192/0.709	1.23/0.697
9	2.685/1.705	2.584/1.567	2.637/1.595	2.696/1.589
10	2.607/1.191	2.504/1.16	2.553/1.181	2.622/1.177
11	1.666/	1.55/1.07	1.593/1.098	1.635/1.098
12	1.621/	1.502/0.792	1.542/0.813	1.589/0.813
13	2.772	2.702	2.81	2.864
14	2.722	2.652	2.755	2.811
15	1.667	1.598	1.668	1.689
16	1.638	1.568	1.634	1.658

Аналіз результатів розрахунків.

Аналіз результатів виконаних розрахунків дозволяє відзначити наступне:

- Детальне вивчення інженерно-геологічного стану даної ділянки схилу дозволило зафіксувати наступні форми деформації мікрорельєфу: тріщини розтягування, розтяг та зміщення, опущені тріщини розтягнення і зміщення у головних зривів і бортів зсуву, валів наповзання і випирання, опливін, спливів та ін., що свідчить про прояв зсувної активності.
- В даний час спостерігається періодичне замочування ґрунтів схилу (через виклинювання на поверхню джерел, витоків з водогінних комунікацій, відсутності ефективної зливової каналізації для організації поверхневого стоку), що призводить до зниження міцності суглинних ґрунтів, і як наслідок, зниження ступеня стійкості. Мінімальний коефіцієнт запасу загальної стійкості ділянки схилу становить $K_{ST} = 1,04$ тобто схил знаходиться в стані граничної рівноваги, а з урахуванням сейсмічного впливу $K_{ST} = 0,72$.
- Для забезпечення нормативної стійкості схилу як в природних умовах, так і випадку виникнення екстремальної ситуації - мож-

ливого землетрусу, потрібно міцна підпірна споруда. Це може бути підпірна стінка зі значним заглибленням.

- Виконані розрахунки для 3-х рядів пальових підпірних стін показують, що дана система протизсувних конструкцій забезпечує загальну стійкість схилу з коефіцієнтом запасу $K_{ST} = 1,57$ навіть при виникненні екстремальної ситуації (сейсмічних навантажень від вірогідного землетрусу).

В результаті розрахунків визначено величини зсувного тиску по найбільш небезпечній поверхні ковзання, яка має мінімальний коефіцієнт стійкості: для підпірних стін першої черги будівництва - 395,0 т/п.м.; для підпірних стін другої черги будівництва - 263,74 т/п.м.; для підпірних стін третьої черги будівництва - 56,1 т/п.м.

МАТЕМАТИЧНЕ МОДЕЛЮВАННЯ КОНСТРУКЦІЙ ПІДПІРНИХ СТІН

Опис прийнятого типу конструкції підпірних стін.

За результатами виконаних розрахунків визначено параметри підпірної стіни (позначки, довжини, товщини, армування і т.д.), що зможуть забезпечити стійкість схилу і міцність самої стіни.



Реалізована в робочих кресленнях конструкція підпірних стін являє собою три ряди паль $\varnothing 820$ мм для першої черги протизсувних споруд зсуву №75, два ряди паль $\varnothing 820$ мм для другої черги протизсувних споруд та один ряд паль - для третьої черги. Крок паль - 1800 мм для першої і другої черг, 1250 мм - для третьої черги. Глибина закладення підосви паль в корінні, незміщенні породи не менше 4 м. Довжина підпірних стін по горизонталі - 80-100 м. По верху паль залізобетонний ростверк висотою 1200 мм. Всі монолітні залізобетонні конструкції при будівництві пальових підпірних стін виконуються з бетону класу В25.

Розрахунок пальових підпірних стін за двома стадіями граничних станів.

Розрахунок прийнятих конструктивних рішень підпірних стін здійснюється на основі їх просторових комп'ютерних моделей, що були створені для загального розрахунку системи "грунтовий масив - конструкція стіни". Моделювання і розрахунок підпірних стін виконано за допомогою програмного комплексу "LIRA-WINDOWS", в основу розрахунку якого покладено метод кінцевих елементів у вигляді переміщень. Для виконання розрахунків побудовані розрахункові схеми підпірних стін.

У розрахункову схему введено такі конструктивні елементи: залізобетонні палі і обв'язувальний ростверк, що проходить по оголовкам паль. У вихідних даних розрахункових моделей для залізобетонних елементів прийнято: модуль деформації $E=3,06 \cdot 10^6$ т/м², коефіцієнт Пуассона $\mu = 0,2$.

Для моделювання роботи паль і монолітного ростверку прийняті кінцеві елементи 10-го типу - "універсальний просторовий стрижень", а також палі на контакт з ґрунтовим масивом - кінцеві елементи 51 типу - "зв'язок кінцевої жорсткості".

Для моделювання ґрунтової основи в горизонтальному напрямку (по осях ОХ і ОУ) в вузли розбиття тіла паль по всій висоті заглиблення в ґрунт встановлені КЕ 51 типу з односторонньою величиною жорсткості в горизонтальних напрямках. Величини таких жорсткостей, які задаються в елементи 51 типу і моделюють контакт бічної поверхні паль з ґрунтом, визначалися залежно від глибини розташування розрахункових ділянок і характеристик ґрунтів відповідно до Доповнення 1 СНиП 2.02.03-85 "Пальові фундаменти" [35]. Розбивка тіла паль від позначки розміщення обв'язувального ростверку до позначки п'ятої палі виконана по 1,0 м.

Навантаження в розрахунковій моделі.

Для елементів розрахункової схеми прийняті такі навантаження:

- Власна вага конструкцій. Визначається в автоматичному режимі роботи ПК "LIRA-WINDOWS" з урахуванням геометричних

розмірів і заданої об'ємної маси матеріалу конструкцій кінцевих елементів.

- Навантаження від зсувного тиску. Задані на стрижневі елементи паль у вигляді погонної по висоті палі навантаженні, яка зібрана з відповідних площ. Величина горизонтального навантаження розподіляється по трикутній епюрі.
- Навантаження від дії побутового тиску ґрунту. Задані на стрижневі елементи паль у вигляді погонної по висоті палі навантаженні, яка зібрана з відповідних площ. Навантаження визначалося в залежності від глибини розміщення перерізу палі і задавалося змінним по довжині палі. Величина горизонтального навантаження розподіляється по трикутній епюрі на рівні позначки розробки дна підпірної стіни і становить 10 т/м. Такі навантаження діють на крайні палі в кожному ряду підпірної стіни. Всі навантаження на несучі елементи просторової моделі підпірної стіни задані як нормативні.

В ході виконання чисельних досліджень для отримання напружено-деформованого стану конструкції підпірної стіни було проведено 2 варіанти розрахунків для різних сполучень навантажень (РСН).

1. Варіант РСН - виконано для аналізу деформованого стану конструкцій. В цей варіант поєднання увійшли нормативні навантаження 1 ... 3 завантажень.
2. Варіант РСН - виконаний для визначення діючих напружень і зусиль в конструкціях і проведення по ним армування. У поєднання навантажень увійшли навантаження від 1 ... 3 завантаження з урахуванням коефіцієнтів надійності за навантаженням.

Аналіз результатів розрахунку підпірних стін.

Для обґрунтування і перевірки запропонованих конструкторських рішень по влаштуванню підпірних стін виконані числові дослідження. За розрахунками комп'ютерної моделі для різних ділянок підпірної стіни отримані наступні результати напружено-деформованого стану її елементів.

1. Переміщення і деформації.

Для вузлів розрахункової схеми при додатку навантажень по РСН варіант № 1 максимальна величина горизонтальних деформацій при розробці підпірної стіни складала: 1.6 см - для 1-ї черги будівництва; 0.6 см - для 2-ї черги будівництва та 2.5 см - для 3-ї черги будівництва. В цілому, величини горизонтальних деформацій розрахункових моделей знаходяться в допустимих межах. Розвиток деформацій такого порядку не заподіє негативного впливу на ґрунтові масиви.

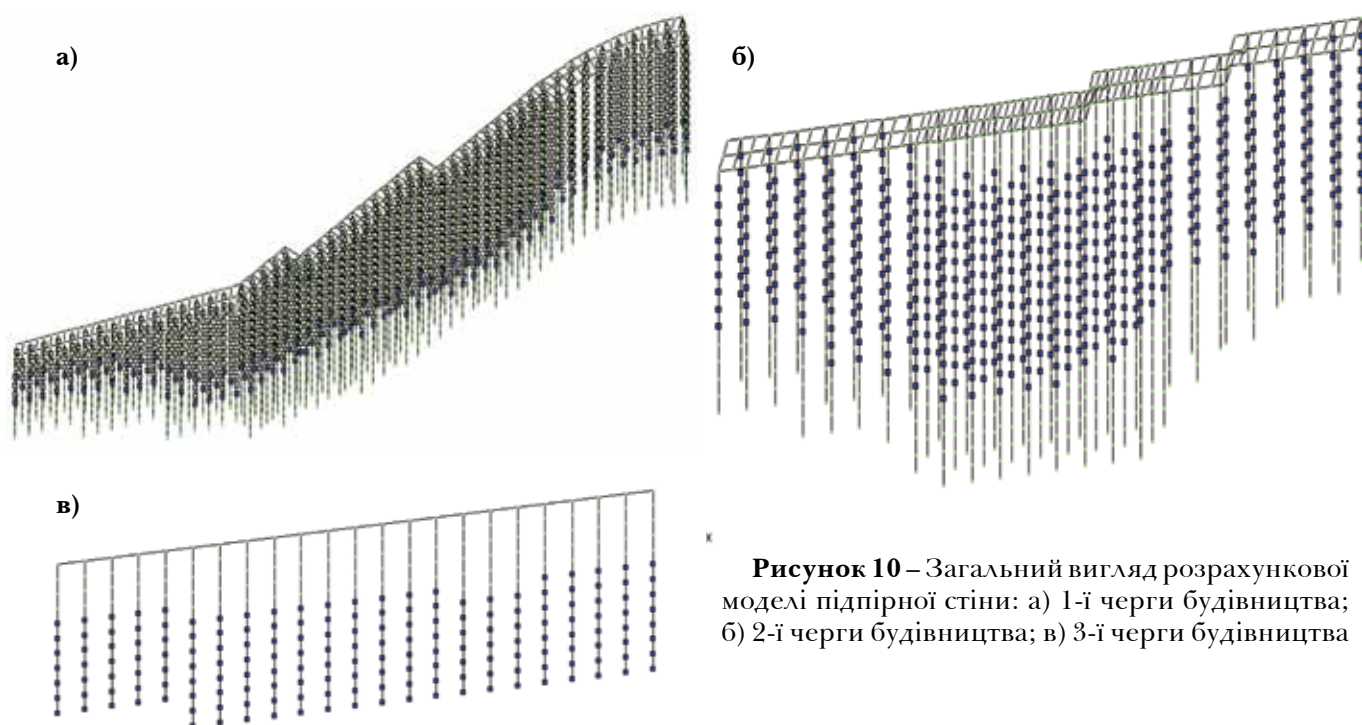


Рисунок 10 – Загальний вигляд розрахункової моделі підпірної стіни: а) 1-ї черги будівництва; б) 2-ї черги будівництва; в) 3-ї черги будівництва

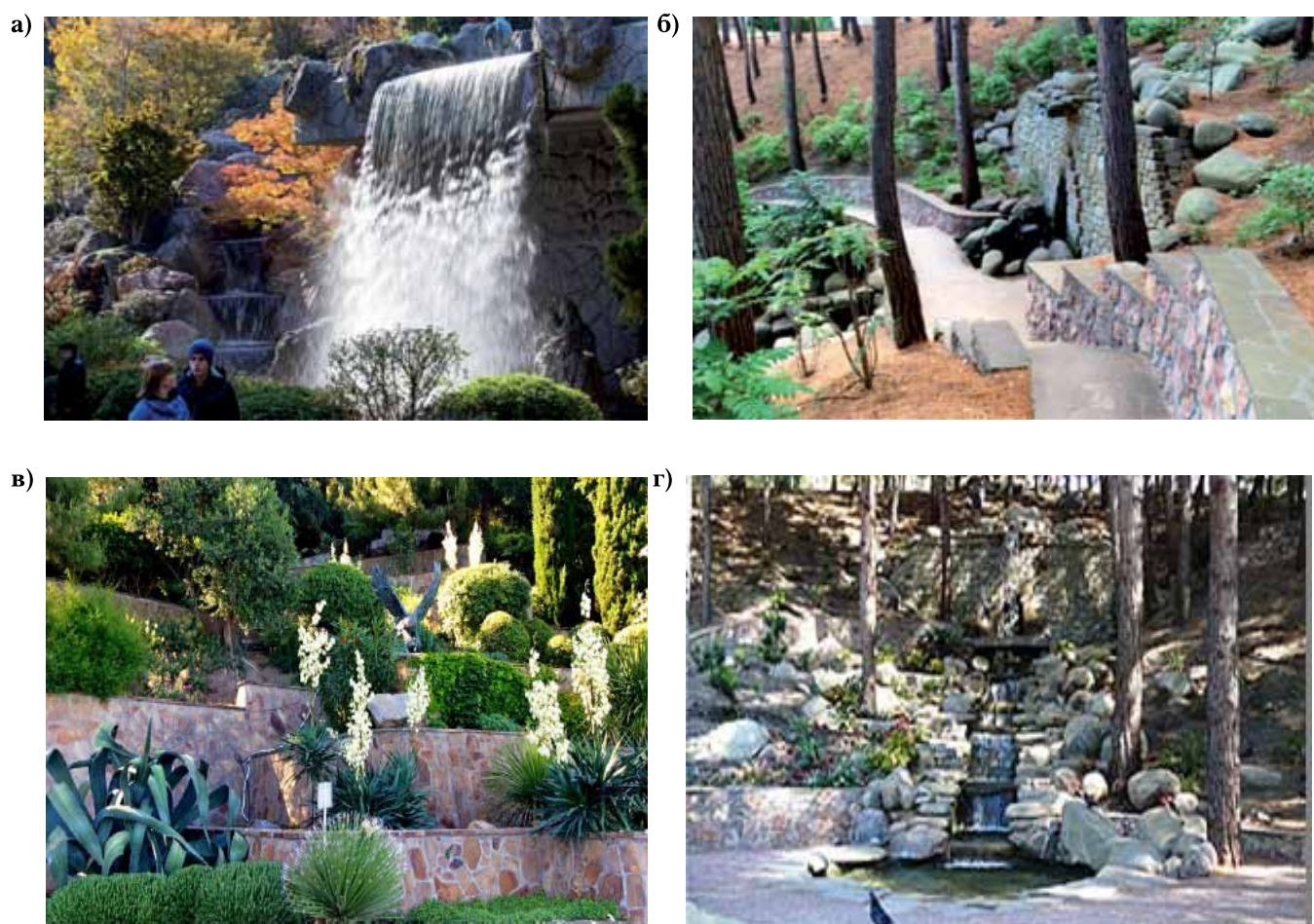


Рисунок 11 – Сучасний стан «Японського саду» в окупованому Російською Федерацією Українському Криму



2. Напруження і зусилля.

Деформації, що описані вище, призведуть в елементах підпирних стін до таких зусиль. У всіх розрахункових випадках максимальні значення поперечних сил від зсувного тиску становили:

Q_y - від -76,73 т до 60,57 т - для 1-ї черги будівництва.

Q_y - від -58,84 т до 57,67 т - для 2-ї черги будівництва.

Q_y - від -23,79 т до 18,96 т - для 3-ї черги будівництва.

У всіх розрахункових випадках максимальні значення згинального моменту від зсувного тиску становили:

M_y - від -56,32 тс*м до 60,37 тс*м і M_z - від -123,13 тс*м до 92,7 тс*м - для 1-ї черги будівництва.

M_y - від -32,72 тс*м до 35,07 тс*м і M_z - від -95,38 тс*м до 45,0 тс*м - для 2-ї черги будівництва.

M_y - від -23,37 тс*м до 19,62 тс*м і M_z - від -46,53 тс*м до 15,02 тс*м - для 3-ї черги будівництва;

3. Армування.

За результатами отриманого напружено-деформованого стану кінцевих елементів розрахункової моделі проведено армування залізобетонних конструкцій підпирних стін. Вибір армування виконується в автоматичному режимі роботи ПОМ програмним модулем "ЛірАрм", який входить до складу ПК "LIRA-WINDOWS". Захисний шар в буріон'єкційних палях прийнятий 100 мм, в монолітному ростверку – 50 мм. В результаті армування отримано розподіл необхідної кількості арматури в палях підпірної стіни.

На рис. 10 наведено загальний вигляд графічної розрахункової моделі підпірної стіни: а) - 1-ї черги будівництва; б) - 2-ї черги будівництва; в) - 3-ї черги будівництва.

Сучасний стан «Японського саду» зображено рис. 11. Деформації ґрунту ніде не зареєстровано за останні роки. Об'єкт української культурної спадщини регулярно відвідують російські туристи в окупованому Російською Федерацією Українському Криму. Всі протизсувні конструкції недеформовані та витримують відповідний зсувний тиск від ґрунтових мас.

ВИСНОВКИ

1. В епоху загрози кліматичних змін, браку енергії і постійно зростаючих проблем зі здоров'ям має сенс будувати довговічні будинки, заощаджувати енергію, скорочувати відходи і

забруднення, а також зміцнювати здоров'я і благополуччя. Зелена будівля - це більше, ніж зразок для стійкого життя; це може створити надію на майбутнє. Хоча в Україні це відносно новий напрямок, зелене будівництво є дуже перспективною і швидко розвиваючоюся областю. Існує великий потенціал для впровадження стандартів BREEAM, LEED і DGNB в Україні, тому що будівельний сектор є дуже активним. У той же час, будівельні технології, що зараз використовуються в Україні, не відповідають міжнародним стандартам зеленого будівництва BREEAM, LEED і DGNB.

2. «Зелені стандарти» будівництва - один з найперспективніших напрямків розвитку не тільки будівельного комплексу, а й соціального середовища суспільства. «Зелене» будівництво набуло широкого поширення в останнє десятиліття в США (LEED), у Великобританії (BREEAM), в Німеччині (NDBG) і ще більш, ніж в 40 країнах (Австралія, Канада, Індія та ін.). Вже понад 100 тис. будівель в світі сертифіковано по «зеленим стандартам». «Зелені стандарти» в світовій практиці розвиваються як рейтингові системи добровільного застосування. До факторів високої затребуваності «зеленого будівництва» слід віднести:

- гуманістичну соціальну спрямованість бренду, підтримувану всіма верствами суспільства;
- зниження енергетичної залежності економік країн від невідновлюваних паливно-енергетичних ресурсів;
- раціональне використання водних ресурсів;
- зниження екологічного навантаження на навколишнє середовище;
- підвищення якості життя, оздоровлення середовища проживання;
- комерційну привабливість, зростання споживчого попиту на зелені житлові і громадські будівлі;
- розвиток індикаторів конкурентної переваги будівельних компаній-виробників будівельних і оздоблювальних матеріалів, інженерного обладнання, що працюють в межах стандартів «зеленого будівництва».

3. Національні рейтингові системи «зеленого будівництва» збудовані під свої нормативні бази в галузі будівництва, енергозбереження, екології та враховують свої національні традиції, ресурсні, енергетичні та економічні пріоритети. Адаптація «зелених стандартів» провідних країн в інших державах базується на прийнятті за основу нормативно-методичної бази країн - лідерів зеленого руху (наприклад, LEED - в Канаді та ін.). Однак, до теперішнього часу спроб гармонізації національних моделей-стандартів зеленого будівництва країн-лідерів в даній галузі (США - LEED, Великобританії - BREEAM, Німеччини - DGNB) не відзначається.



4. Зелене будівництво є важливим компонентом стійкого розвитку. Особлива увага повинна бути приділена наступним п'яти темам [36]:

- управління зеленим будівництвом в цілому, переваги та бар'єри для розвитку зеленого будівництва;
- ефективність зеленого будівництва;
- поведінка зацікавлених сторін щодо зелених будівель і стратегії зеленого будівництва;
- майбутні напрямки досліджень, що стосуються зеленого будівництва, пропонуються для управління зацікавленими сторонами, політики і стимулів, розвиток комунікаційної платформи;
- модернізація існуючих будівель.

5. Україна активно долучається до міжнародних конвенцій, які зменшують забруднення навколишнього середовища, і прагне поліпшити національні стандарти відповідно до міжнародних вимог. Вже є приклади сертифікованого за стандартом BREEAM зеленого будівництва житлових комплексів в Києві. Загальна економічна і політична ситуація, здається, готова вітати впровадження зеленого будівництва по всій Україні. Розвиток зеленого будівництва буде важливою галуззю в Україні, і більш всебічні дослідження по зеленому будівництву можуть сприяти подальшому її прогресу.

6. Основна мета концепції сталого розвитку в геотехнічному «зеленому будівництві» полягає в тому, щоб:

- I. Надати йому економічну конкурентоспроможність та достатню корисність;
- II. В той же час знизити енерго- і матеріаломісткість;
- III. Зменшити площу земельних ділянок, що відводиться під будівництво;
- IV. Мінімізувати ризики шкоди для здоров'я і життя людей в разі аварій і небажаних подій під час геотехнічного будівництва.

7. За результатами геотехнічного проектування і розрахунку протизсувних споруд зсувонебезпечної ділянки сучасного стабілізованого зсуву № 75 «Чукурлар-східний» в межах концепції «зеленого будівництва» можна сформулювати такі загальні висновки щодо стійкості схилу, де розташований "Японський сад" на території ДП "Айвазовське" в смт Партеніт АР Крим:

7.1. Обґрунтовано технічні рішення і розроблені робочі креслення підпірних стін, що дозволяють забезпечити нормативну стійкість розглянутої ділянки зсувного схилу сучасного зсуву (Соп IVA) № 75 «Чукурлар-східний», на якому розташований «Японський сад» відповідно до принципів «зеленого будівництва». Це дозволить не допустити подальшого руйнування існуючих будівель, доріг і підпірних стін.

7.2. До початку «зеленого будівництва» "Японського саду", схил в межах ділянки, відведеної під будівництво, в природних умовах знаходився в стані граничної рівноваги. Мінімальний коефіцієнт запасу стійкості дорівнює 1.04, а з урахуванням сейсмічного впливу - 0,72. На схилі зафіксовані наступні форми деформації мікрорельєфу: тріщини розтягування, розтягу та зсуву, опущених тріщин розтягнення і зсуву - головних зривів і бортів, валів наповзання і випирання, опливін, спливів і т.п. що свідчить про прояв зсувної активності. Спостерігається періодичне замочування ґрунтів схилу (через вклинювання на поверхню джерел, витоків з водогінних комунікацій, відсутності ефективної зливової каналізації для організації поверхневого стоку), що призводить до зниження міцності суглинних ґрунтів, і як наслідок, зниження ступеня стійкості. З огляду на те, що на схилі немає затримуючих протизсувних споруд, слід очікувати подальшого розвитку зсувній активності, аж до руйнування цілісності схилу ґрунтового масиву.

7.3. Для забезпечення стійкого стану схилу рекомендовано:

- i. Будівництво системи підпірних стін на пальовій основі із заглибленням їх в незсунені ґрунти з виконанням вимог зеленого будівництва.
- ii. Провести ревізію і ремонт водогінних комунікацій ЗАТ ЛОК "Айвазовське": водотоків, каналізаційних мереж та опалювальних систем, лотків-зливостоків і водопропусків.
- iii. Організувати стік просочуючихся на поверхню джерел заболочуваної території, з відведенням їх в загальну зливну каналізацію, в тому числі з використанням існуючої штольні.

БІБЛІОГРАФІЧНИЙ СПИСОК

1. Фаренюк Г.Г. Зеленое строительство. *Бизнес*. 2016. №39(1234). С.34-35.
2. United Nations Environment Programme 2009 Annual Report (2009). 94 p. URL: <http://www.unep.org/10yfp/programmes/sustainable-buildings-and-constructionprogramme>
3. Baynes T., Bergesen J., Labbé F., Musango J.K., Ramaswami A., Robinson B., Salat S., Suh S., Currie P., Fang A., Hanson A., Kruit K., Reiner M., Smit S., Tabory S. A Report by the International Resource Panel. United Nations Environment Programme. Nairobi, Kenya. The Weight of Cities summary report 2018. URL: <https://www.resourcepanel.org/reports/weight-cities>
4. Soulti E., Leonard D. The value of BREEAM A review of latest thinking in the commercial



- building sector. London: BRE Global Ltd. 2016.
5. United Nations Environment Programme 2009 Annual Report. 2009. 94 p. URL: <http://www.unep.org/10yfp/programmes/sustainable-buildings-and-constructionprogramme>
 6. The Weight of Cities: Resource Requirements of Future Urbanization. Swilling, M., Hajer, M. International Resource Panel. 2018. URL: <https://www.resourcepanel.org/>
 7. Thompson M., Cooper I., Gething B. The business case for adapting buildings to climate change: Niche or mainstream? Innovate UK Technology Strategy Board. 2015.
 8. Building Research Establishment Trust. URL: <https://bregroup.com/bretrust>
 9. Кошкина С.Ю., Корчагина О.А., Воронкова Е.С. “Зелёное” строительство как главный фактор повышения качества окружающей среды и здоровья человека. *Вопросы современной науки и практики. Ун-т им.В. И. Вернадского*. 2013. 3 (47). С. 150–158.
 10. World Green Building Trends 2016 report. URL: <https://www.construction.com/toolkit/reports/world-greenbuilding>
 11. About David Gottfrid. URL: <https://regen360.net/about/>
 12. The DGNB System. URL: <https://www.dgnb-system.de/en/system/index.php>
 13. Гаевская, З.А., Лазарева, Ю.С., Лазарев, А. Н. Проблемы внедрения системы “зеленых” стандартов. *Молодой учёный*. 2015. 16 (96). С. 145–152.
 14. Гусева, Т.В., Молчанова, Я.П., Панкина, Г.В., Петросян, Е.Р «Зеленые» стандарты в строительстве. Компетентность. 2012. 8 (99). С. 22–28.
 15. What is BREEAM? URL: <https://www.breeam.com/>
 16. Табунщиков Ю.А., Гранев В.В., Наумов А.А. Рейтинговая система оценки проектов жилых и общественных зданий высокой энергетической и экологической эффективности – АВОК. 2010. 7.
 17. World Green Building. URL: <https://www.worldgbc.org/>
 18. Стратегія розвитку міста Києва до 2025 року затверджено рішенням Київської міської ради №824/7060 від 15 грудня 2011 р., нова редакція 2016 р.
 19. Ваничек І. Применение Еврокода 7 к грунтовым конструкциям. *Світ геотехніки*. 2016. 4. С.4-8.
 20. Kaliukh I., Trofymchuk O., etc. Arrangement of deep foundation pit in restricted conditions of city build-up in landslide territory with considering of seismic loads of 8 points. *Proceedings XVI ECSMGE, 13th-17th SEPTEMBER 2015*. Edinburgh, Great Britain. P. 535-540.
 21. Kaliukh I., Silchenko K., etc. Trench strengthening in the restrained conditions of urban development with allowance for the magnitude 8 seismic loads. *Proceedings of the XV Danube - European Conference on Geotechnical Engineering, 9-11 September*. Vienna, Austria. P. 535-540.
 22. Kaliukh I., Senatorov V., Khavkin O., Polevetskiy V., Silchenko K., Kaliukh T., Khavkin K. Experimentally-analytical researches of the technical state of reinforced-concrete constructions for defense from landslide’s pressure in seismic regions of Ukraine. *Proceedings of the Fib Symposium. 22-24 April 2013*. Tel-Aviv, Israel. P.625-628.
 23. Trofymchuk O., Kaliukh I., Berchun V. Landslide stabilization in building practice: methodology and case study from Autonomous Republic of Crimea. *Proceedings of the WLF4. Springer-Verlag. Berlin, Germany*. P. 587-595.
 24. Trofymchuk O., Yakovlev E., etc. Hazardous Activation of Landslides Within Western Carpathian Region (Ukraine). *Proceedings of the WLF3. Landslide Science for a Safer Geoenvironment. Volume 2. Methods of Landslide Studies. Springer-Verlag. Berlin, Germany*. P.533-536.
 25. Trofymchuk O., Kaliukh I., Glebchuc A., etc. Modelling of Landslide Hazards in Kharkov Region of Ukraine Using GIS. *Landslides: Global Risk Preparedness. Springer-Verlag, Berlin, Germany*. P.273-283.
 26. Trofymchuk O., Kaliukh I., etc. Mathematical and GIS-modelling of landslides in Kharkov region of Ukraine. *Proceedings of WLF2. Landslide Science and Practice. Volume 3. Spatial Analysis and Modelling. Springer-Verlag, Berlin, Germany*. P 347-352.
 27. Trofymchuk O.M., Kaliukh I.I., Hlebchuk H.S., Berchun V.P. Experimental and analytical studies of landslides in the south of Ukraine under the action of natural seismic impacts. *Proceedings of the International Symposium on Earthquake-Induced Landslides*. Kiryu, Japan. Springer-Verlag, Berlin, Germany. P.883-890.
 28. Trofymchuk O., Kaliukh Y., Dunin V., Berchun Y. On the Possibility of Multi-Wavelength Identification of Defects in Piles. *Cybernetics and Systems Analysis*. 54, 600–609. DOI: <https://doi.org/10.1007/s10559-018-0061-9>
 29. Trofymchuk O., Kaliukh I. Activation of landslides in the south of Ukraine under the action of natural seismic impacts (experimental and analytical studies). *Journal of Environmental Science and Engineering*. 2013. 2(2):68-76.
 30. Trofymchuk O., Kaliukh I., Klymenkov O. TXT-tool 2.380-1.1. Monitoring and Early Warning System of the Building Constructions



of the Livadia Palace, Ukraine. *Landslide Dynamics: ISDR-ICL Landslide Interactive Teaching Tools*. Volume 1. Springer, Cham., 2017. P.491-508.

31. ДБН В.1.1.3-97 "Інженерний захист територій, будинків і споруд від зсувів та обвалів. Основні положення". URL: http://online.budstandart.com/ua/catalog/doc-page.html?id_doc=4955
32. ДБН В.1.1-2006 "Будівництво у сейсмічних районах України". URL: <https://dbn.co.ua/load/normativy/dbn/1-1-0-427>
33. Висновок «Про інженерно-геологічних умовах ділянки проектного будівництва «Японського садка» в ЛОК «Айвазовське» НВО Укрекогеобуд, ТОВ «Південнобережний центр вишукувань», м Алушта. 2004.
34. ДБН В.1.1-3-97 "Інженерний захист територій, будинків і споруд від зсувів та обвалів. Основні положення". URL: <https://dbn.co.ua/load/normativy/dbn/1-1-0-293>
35. СНиП 2.02.03-85 „Свайные фундаменты“. URL: <http://docs.cntd.ru/document/871001183>
36. Huo X., Yu A. Analytical review of green building development studies. *Journal of Green Building*. 2017. 12(2): 130-148.

REFERENCES

1. Farenjuk, G. (2016). Green construction. *Business*, 39(1234), 34-35.
2. *United Nations Environment Programme. 2009 Annual Report*. (2009). Retrieved from <http://www.unep.org/10yfp/programmes/sustainable-buildings-and-constructionprogramme>.
3. Baynes, T., Bergesen, J., Labbé, F., Musango, J.K., Ramaswami, A., Robinson, B., ...Tabory, S. (2018). The International Resource Panel. United Nations Environment Programme, Nairobi, Kenya. *The Weight of Cities summary report*. Retrieved from <https://www.resourcepanel.org/reports/weight-cities>.
4. Souti, E., & Leonard, D. (2016). *The value of BREEAM. A review of latest thinking in the commercial building sector*. London: BRE Global Ltd.
5. *United Nations Environment Programme. 2009 Annual Report*. (2009). Retrieved from <http://www.unep.org/10yfp/programmes/sustainable-buildings-and-constructionprogramme>
6. Swilling, M., & Hajer, M. (2018). International Resource Panel. *The Weight of Cities: Resource Requirements of Future Urbanization*. Retrieved from <https://www.resourcepanel.org/>
7. Thompson, M., Cooper, I., & Gething, B. (2015). *The business case for adapting buildings to climate change: Niche or mainstream?* Innovate

UK Technology Strategy Board.

8. *Building Research Establishment Trust*. Retrieved from <https://bregroup.com/bretrust>
9. Koshkina, S.Yu., Korchahina, O.A., & Voronkova, E.S. (2013). "Green" Construction as Major Factor of Improving Environmental Quality and Human Health. *Problems of Contemporary Science and Practice. Vernadsky University*, 3 (47), 150–158. Moscow: NGO "Forum Green Construction", Tambov: Tambov State Technical University.
10. *World Green Building Trends 2016 report*. Retrieved from <https://www.construction.com/toolkit/reports/world-greenbuilding>
11. *About David Gottfrid*. Retrieved from <https://regen360.net/about/>
12. The DGNB System. Retrieved from <https://www.dgnb-system.de/en/system/index.php>
13. Gaievskaia, Z.A., Lazareva, Yu.S., & Lazarev, A.N. (2015). Problems of the "green" standards system implementation. *Young scientist*, 16 (96), 145–152.
14. Husieva, T.V., Molchanova, Ya.P., Pankina, H.V., & Petrosian, E.R. (2012). The "green" standards in construction. *Competency*, 8 (99), 22–28.
15. *What is BREEAM?* Retrieved from <https://www.breeam.com/>
16. Tabunshchikov, Yu.A., Granev, V.V., & Naumov, A.L. (2010). Rating system for the design evaluation of residential and public buildings of high energy and environmental efficiency. *ABOK*, 7.
17. *World Green Building*. Retrieved from <https://www.worldgbc.org/>
18. *The development strategy of the city of Kyiv until 2025 (approved by the decision of the Kyiv City Council №8247060 of December 15, 2011, 2016 new edition)*. (2016).
19. Vanichek, I. (2016). Eurocode 7 application to the soil structures. *World of Geotechnics*, 4, 4-8.
20. Kaliukh I., Trofymchuk O., etc. (2015) Arrangement of deep foundation pit in restricted conditions of city build-up in landslide territory with considering of seismic loads of 8 points. *Proceedings XVI ECSMGE, 13th-17th SEPTEMBER 2015, Edinburgh, Great Britain*, pp. 535-540.
21. Kaliukh I., Silchenko K., etc. (2014). Trench strengthening in the restrained conditions of urban development with allowance for the magnitude 8 seismic loads. *Proceedings of the XV Danube - European Conference on Geotechnical Engineering, 9-11 September, Vienna, Austria*. pp. 535-540.
22. Kaliukh, I., Senatorov, V., Khavkin, O., Polevetskiy, V., Silchenko, K., Kaliukh, T., & Khavkin, K. (2013). Experimentally-analytical researches of the technical state of



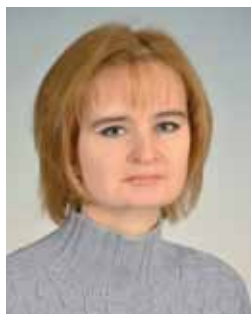
- reinforce-concrete constructions for defense from landslide's pressure in seismic regions of Ukraine. *Proceedings of the Fib Symposium*. 22-24 April 2013, Tel-Aviv, Israel. pp.625-628.
23. Trofymchuk O., Kaliukh I., & Berchun V. (2017). Landslide stabilization in building practice: methodology and case study from Autonomic Republic of Crimea. *Proceedings of the WLF4*, pp. 587-595 Berlin, Germany: Springer-Verlag.
24. Trofymchuk O., Yakovlev E., etc. (2014). Hazardous Activation of Landslides Within Western Carpathian Region (Ukraine). *Proceedings of the WLF3. Landslide Science for a Safer Geoenvironment (Volume 2): Methods of Landslide Studies*, pp.533-536. Berlin, Germany: Springer-Verlag.
25. Trofymchuk O., Kaliukh I., Glebchuk A., etc. (2013). Modelling of Landslide Hazards in Kharkov Region of Ukraine Using GIS. In: *Landslides: Global Risk Preparedness*. Springer-Verlag, Berlin, Germany. pp.273-283.
26. Trofymchuk O., Kaliukh I., etc. (2013). Mathematical and GIS-modelling of landslides in Kharkov region of Ukraine. *Proceedings of WLF2. Landslide Science and Practice (Volume 3): Spatial Analysis and Modelling*, pp 347-352. Berlin, Germany: Springer-Verlag.
27. Trofymchuk, O.M., Kaliukh, I.I., Hlebchuk, H.S., & Berchun, V.P. (2013). Experimental and analytical studies of landslides in the south of Ukraine under the action of natural seismic impacts. *Proceedings of the International Symposium on Earthquake-Induced Landslides, Kiryu, Japan*, pp.883-890. Berlin, Germany: Springer-Verlag.
28. Trofymchuk, O., Kaliukh, Y., Dunin, V., & Berchun, Y. (2018). On the Possibility of Multi-Wavelength Identification of Defects in Piles. *Cybernetics and Systems Analysis*. 54, 600–609. Doi: <https://doi.org/10.1007/s10559-018-0061-9>
29. Trofymchuk O., & Kaliukh I. (2013). Activation of landslides in the south of Ukraine under the action of natural seismic impacts (experimental and analytical studies). *Journal of Environmental Science and Engineering*, 2(2), 68-76.
30. Trofymchuk, O., Kaliukh. I., & Klymenkov, O. (2017). TXT-tool 2.380-1.1. Monitoring and Early Warning System of the Building Constructions of the Livadia Palace, Ukraine. *Landslide Dynamics: ISDR-ICL Landslide Interactive Teaching Tools* (Vol. 1), 491-508. Cham: Springer.
31. Engineering protection of territories, buildings and structures from landslides and failures. Substantive provisions: DBN V.1.1.3-97. (2007). Retrieved from http://online.budstandart.com/ua/catalog/doc-page.html?id_doc=4955
32. Construction in seismic regions of Ukraine: DBN V.1.1-2006 (2006). Retrieved from <https://dbn.co.ua/load/normativy/dbn/1-1-0-427>
33. *Conclusion on the engineering and geological conditions of the site of the "Japanese garden" projected construction in the "Aivazovske" recreational compound of the R&D enterprise Ukrecogeobud*. (2004). Alushta: LLC "South Coast Research Center".
35. Pile foundations: SNiP 2.02.03-85. Retrieved from <http://docs.cntd.ru/document/871001183>
36. Huo, X. & Yu, A. T.W. (2017). Analytical review of green building development studies. *Journal of Green Building*, 12(2), 130-148.

Стаття надійшла до редакції 15.04.2020 року



Doi: <https://doi.org/10.33644/scienceandconstruction.v24i2.4>

UDC 620.91:711.4



FILONENKO Olena

Candidate of Technical Sciences,
Associate Professor, National
University «Yuri Kondratyuk Poltava
Polytechnic»,
Poltava, Ukraine
e-mail: olena.filonenko.pf@gmail.com,
tel. +38-066-623-75-46,
ORCID: 0000-0001-8571-9089

LINEAR HEAT TRANSFER COEFFICIENTS OF COMBINED ROOF STRUCTURAL UNITS

ABSTRACT

The paper aims to elaborate the engineering methods of calculating heat loss through combined roof constructions. The roof heat losses can reach up to 40% of total heat losses of a building and affect its energy efficiency class. In Ukrainian construction regulations there are no roof heat loss determination methods, which would take into account the structural features as well as linear heat transfer coefficients values. For typical structural units only the linear heat transfer coefficients values for wall structures and their elements are given in the State construction standard of Ukraine DSTU Б В.2.6-189:2013 Annex Г. Putting into the insulation practice of typical energy-efficient structural units of the combined roof eaves, adjoining to the ventilation shafts and roof superstructures will significantly increase the building thermal protection. The results of these units temperature field simulation allow to use the method of State construction standard of Ukraine DSTU ISO 10211:2005 for determining the linear heat transfer coefficients that can be used in engineering calculations of the heat transfer resistance of the respective structures and to supplement the State construction standard of Ukraine DSTU Б В.2.6-189:2013 Annex Г. The combined roof structural units modeling was implemented by the finite element

method. The paper is a continuation of the author's previous scientific research. The main papers are given in the bibliography.

The aim of this paper is to clarify the calculation methods of combined roofing heat losses considering heat transfer linear coefficients of roof structural units and to develop constructional solutions for typical energy efficient units.

Research methods are based on the calculation of two-dimensional temperature fields by finite element method and engineering methods for determining linear heat transfer coefficients.

KEYWORDS: heat transfer resistance, heat loss, combined roof, thermal insulation, heat transfer linear coefficient, eave, temperature field.

**ЛІНІЙНІ КОЕФІЦІЄНТИ ТЕПЛОПЕРЕДАЧІ
КОНСТРУКТИВНИХ ВУЗЛІВ СУМІЩЕНОЇ
ПОКРІВАІ**

АНОТАЦІЯ

Стаття присвячена уточненню інженерних методів розрахунку тепловтрат крізь конструкції суміщених дахів. Тепловтрати покрівлею можуть досягати до 40% від загальних тепловтрат будинком і впливати на його клас енергоефективності.



В Українських нормативних документа не наведено методики визначення тепловтрат крізь дахи з врахуванням конструктивних особливостей та значення лінійних коефіцієнтів теплопередачі. Для типових конструктивних вузлів у Додатку Г ДСТУ Б В.2.6-189:2013 наведені лише значення лінійних коефіцієнтів теплопередачі для стінових конструкцій та їх елементів. Впровадження в практику утеплення типових енергоефективних конструктивних вузлів карнизної частини суміщеної покрівлі, примикання до вентиляційних шахт та дахових надбудов дозволить значно підвищити теплозахист будинку. Результати моделювання температурного поля цих вузлів дозволяють за методикою ДСТУ ISO 10211:2005 визначити лінійних коефіцієнтів теплопередачі, які можна застосовувати в інженерних розрахунках опору теплопередачі відповідних конструкцій та доповнити Додаток Г ДСТУ Б В.2.6-189:2013. Моделювання конструктивних вузлів суміщеної покрівлі реалізовано методом скінчених елементів. Стаття є продовженням попередніх наукових робіт автора, основні з яких наведено у бібліографії.

Мета роботи полягає в уточненні методів розрахунку тепловтрат суміщеними дахами з врахуванням лінійних коефіцієнтів теплопередачі їх конструктивних вузлів та розробці конструктивних рішень типових енергоефективних вузлів.

Методи дослідження базуються на розрахунку двовимірних температурних полів методом кінцевих елементів та інженерних методиках визначення лінійних коефіцієнтів теплопередачі.

КЛЮЧОВІ СЛОВА: опір теплопередачі, тепловтрати, суміщена покрівля, утеплювач, лінійний коефіцієнт теплопередачі, карниз, температурне поле.

ЛИНЕЙНЫЕ КОЭФФИЦИЕНТЫ ТЕПЛОПЕРЕДАЧИ КОНСТРУКТИВНЫХ УЗЛОВ СОВМЕЩЕННОЙ КРОВЛИ

АННОТАЦИЯ

Статья посвящена уточнению инженерных методов расчета теплотерь через конструкции совмещенных крыш. Теплотери кровлей могут достигать до 40% от общих теплотерь здания и влиять на его класс энергоэффективности. В Украинских нормативных документах не представлены методики определения теплотерь через крыши с учетом конструктивных особенностей и значения линейных коэффициентов теплопередачи.

Для типовых конструктивных узлов в Приложении Г ГОСТ В.2.6-189: 2013 представлены только значения линейных коэффициентов теплопередачи для стенных конструкций и их элементов. Внедрение в практику утепления типовых энергоэффективных конструктивных узлов карнизной части совмещенной кровли,

примыкания к вентиляционным шахтам и кровельных надстроек позволит значительно повысить теплозащиту дома. Результаты моделирования температурного поля этих узлов позволяют по методике ДСТУ ISO 10211: 2005 определить линейные коэффициенты теплопередачи, которые можно применять в инженерных расчетах сопротивления теплопередачи соответствующих конструкций и дополнить Приложение Г ГОСТ В.2.6-189: 2013.

Цель работы заключается в уточнении методов расчета теплотерь совмещенными крышами с учетом линейных коэффициентов теплопередачи их конструктивных узлов и разработке конструктивных решений типовых энергоэффективных узлов.

Методы исследования базируются на расчете двумерных температурных полей методом конечных элементов и инженерных методиках определения линейных коэффициентов теплопередачи.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: сопротивление теплопередачи, теплотери, совмещенная кровля, утеплитель, линейный коэффициент теплопередачи, карниз, температурное поле.

INTRODUCTION

The change in conditions of economic environment in Ukraine, which occurred due to the pressure from a number of political and economic factors, including the change in pricing policy for services in the housing and utility services sector and in the market for construction products enhanced the need for rigid energy savings, thermal protection and thermal modernization of buildings in line with European standards. The introduction of new mechanisms to ensure the energy efficiency of construction and to increase the requirements for predicting the hydrothermal conditions of buildings and their structural elements will allow providing a higher level of energy savings.

Depending on the construction solution, roof heat loss can reach up to 40% of the total house heat loss. According to the laws of convection, heated air rises, so heat losses through the roof are more noticeable. In addition, the contact of heated air from the room with a cold surface of the coating will inevitably cause condensation unless the roof is insulated. Water will gradually destroy the structure of the roof, and in the case of combined roof it will flow back into the habitable inner space. Insulation is essential in creating favorable microclimate conditions in rooms that are located directly below the combined roof in both the heating and cooling period conditions.

ANALYSIS OF RECENT RESEARCH AND PUBLICATIONS

The paper [1] provides systematization of construction systems used in planar and pitched roofs for insulation. Taking into account the experience



of leading companies, the peculiarities of exterior decoration systems use were considered in the paper: construction solutions, material requirements and installation recommendations for installation of these systems. Insulating the eaves of the roof is necessary to avoid cold bridges. Sketches with practical design solutions and examples were presented in the paper [2]. The calculation of heat accumulation, taking into account the thermal stability of structures shows the need to specify the engineering methods for predicting the thermal behavior in buildings.

Roofs also require attention in the summer, as they make up a large part of the building total area and significantly absorb solar radiation. In the papers [3, 4], the advantages of using ventilated roofs to reduce cooling loads in hot climates were studied. This is the first step towards ideas that transform local construction methods to make them effective in energetic, economic and functional dimensions.

The development of energy efficient solutions for the construction of combined roofs is a continuation of the author's previous scientific research [5 - 8].

Research objective

Combined roofing is a multi-layer envelope with variable thickness layers (for example, to create a slope for organized drainage system). Therefore, the total thermal resistance varies in different areas of the structure. There are many areas where the temperature field is two or three-dimensional in the design of combined roofs. In most cases, the thermal insulation envelope in such units has intentional gaps that, when operating the building, become significant "cold bridges".

Ukrainian construction regulations do not specify any methods of roof heat loss determination which would take into account structural features as well as the values of linear heat transfer coefficients. For typical structural units in Annex *F* of State construction standards of Ukraine DSTU Б B.2.6-189:2013, only the values of linear heat transfer coefficients for wall structures and their elements are given. Putting into practice the insulation of typical energy efficient structural units of combined roof eaves, adjoining the ventilation shafts, parapets and roof superstructures will significantly increase the thermal protection of the house. The results of the temperature field simulation of these units allow to determine, by the method of State construction standards of Ukraine DSTU ISO 10211:2005 linear heat transfer coefficients that can be used in engineering calculations of the heat transfer resistance of the according structures and to supplement Annex *F* of State construction standards of Ukraine DSTU Б B.2.6-189:2013.

MAIN MATERIAL AND RESULTS

There are no recommendations in Ukrainian construction regulations to consider the change in heat transfer resistance when changing

the thickness of layers in the combined roof constructions. For typical structural units in Annex *F* of State construction standards of Ukraine DSTU Б B.2.6-189:2013 only the values of linear heat transfer coefficients for wall structures and their elements are given. Therefore, when calculating the total heat transfer by transmission through a building zone according to State construction standards of Ukraine DSTU Б A.2.2-12: 2015, the direct heat transfer generic transmission coefficient to the external environment, W/K , by the formula (12) of the State construction standards of Ukraine DSTU Б A.2.2-12:2015:

$$H_x = b_{tr,x} \sum_i A_i U_i$$

where A_i is the area of the i^{th} element of the building envelope, m^2 ;

U_i is the reduced heat transfer coefficient of the i^{th} element of the building envelope, $W/(m^2 \cdot K)$ which equals $U_i = 1/R\Sigma_{npi}$;

$R\Sigma_{npi}$ is the reduced thermal resistance of the i^{th} element of the building envelope, $m^2 \cdot K/W$, which is calculated for non-transparent elements according to the State construction standards of Ukraine DSTU Б B.2.6-189.

$b_{tr,x}$ is the correction factor: $b_{tr,x} = 1$ when calculating H_D ;

If there is no information (or it is insufficient) on heat-conducting inclusions in a structure, it is recommended to use a correction factor to the heat transfer coefficient to take into account the effect of heat-conducting inclusions, according to the formula (21) of the State construction standards of Ukraine DSTU Б A.2.2-12: 2015:

$$U_{op,corr} = U_{op,mn} + \Delta U_{tb}$$

where $U_{op,mn}$ is heat transfer coefficient of a non-transparent part of the construction (on the main field), $W/(m^2 \cdot K)$, ΔU_{tb} is an additional component by default to the heat transfer coefficient of non-transparent structures, U_{op} , which includes the effect of heat-conducting inclusions, $W/(m^2 \cdot K)$, calculated values are given in Table 4 of the State construction standards of Ukraine DSTU Б A.2.2-12:2015, and for the average value of the heat transfer coefficient of non-transparent parts of construction it is $U_{op,mn} < 0,4$ $\Delta U_{tb} = 0,15$ $W/(m^2 \cdot K)$.

Such a significant amount of additional component can at times reduce the actual value of combined roof thermal resistance. Therefore, to improve the accuracy of calculations, it is advisable to use the formula of the reduced thermal resistance of a thermally inhomogeneous non-transparent building envelope structure (3) in the State construction standards of Ukraine DSTU Б B.2.6-189:2013. The heat transfer linear coefficients can be calculated



by the guidelines for the design and calculation of energy efficient structural solutions of combined roof elements given below.

The calculation of heat transfer linear coefficients is done on the basis of calculations of two-dimensional temperature fields and the methodology of the State construction standards of Ukraine DSTU ISO 10211-1, the State construction standards of Ukraine DSTU ISO 10211-2.

If the heat-conducting inclusion is located on the boundary of two zones, then a half of the linear heat transfer coefficient value of the heat-conducting

inclusion is assigned to each zone (clause 8.2.2.5.3 of the State construction standards of Ukraine DSTU Б А.2.2-12: 2015).

The parapet of combined insulated roof has to be insulated according to the scheme (Table 1) to avoid freezing of the contact angle of the roof slab and the outer wall. The linear heat transfer coefficients of such a solution are shown in Table 1.

The thermal insulation layer of the combined roof must be indissoluble with thermal insulation of the outer wall according to the scheme (Table 2) in order to avoid freezing of the contact angle of the

Table 1 – Parapet of the combined roof

Scheme of heat-conducting inclusion	Linear heat transfer coefficients, $W/(m \cdot K)$, depending on the parameters of the thermal insulation layer			
	Estimated thermal conductivity, $W/(m \cdot K)$	Thickness of external wall thermal insulation, δ_{in}		
		120 mm	150 mm	180 mm
	0,035	0,245	0,241	0,237
	0,040	0,252	0,248	0,243
	0,045	0,259	0,254	0,249
	1 – brick wall; 2 – adhesive layer for bonding the insulation boards to the base, as well as for leveling the surface of the base; 3 – thermal insulation layer - mineral wool; 4 – reinforcing fiberglass; 5 – multilayer plaster; 6 – reinforced concrete floor slab; 7 – vapor barrier; 8 – thermal insulation layer - mineral wool, 250 mm; 9 – two layers of roofing material; 10 – thermal insulation layer - mineral wool, 100 mm; 11 – sheet steel; 12 – antiseptic board.			



Table 2 – Combined roof without eaves

Scheme of heat-conducting inclusion	Linear heat transfer coefficients, $W/(m \cdot K)$, depending on the parameters of the thermal insulation layer			
	Estimated thermal conductivity, $W/(m \cdot K)$	Thickness of external wall thermal insulation, δ_{in}		
		120 mm	150 mm	120 mm
	0,040	0,162	0,152	0,144
	0,045	0,168	0,157	0,149
	0,050	0,175	0,162	0,153
	1 – brick wall; 2 – adhesive layer for bonding the insulation boards to the base, as well as for leveling the surface of the base; 3 – thermal insulation layer - mineral wool; 4 – reinforcing fiberglass; 5 – multilayer plaster; 6 – reinforced concrete floor slab; 7 – a layer of lightweight concrete; 8 – vapor barrier; 9 – thermal insulation layer - mineral wool, 250 mm; 10 – two layers of roofing material; 11 – cornice plate; 12 – bracket ; 13 – tray.			

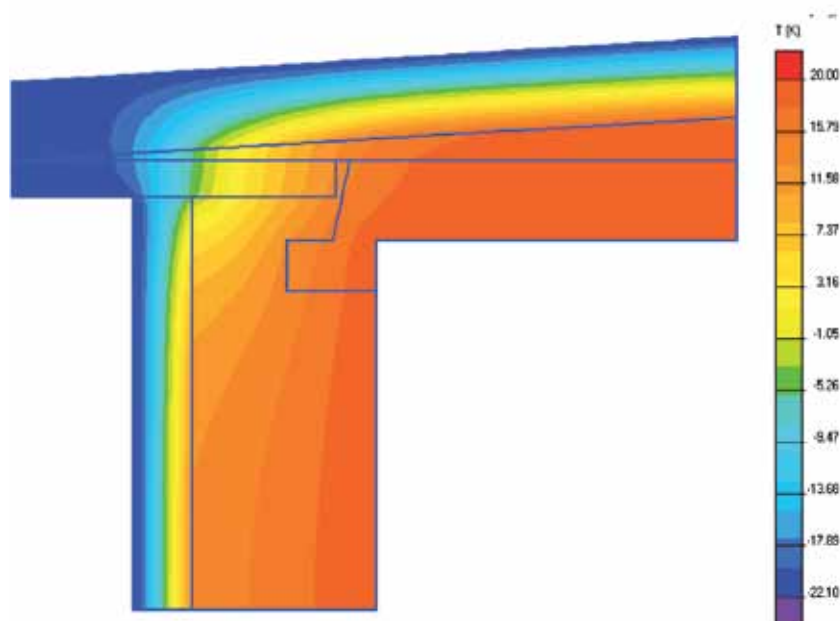


Figure 1 - Picture of the temperature field of the reinforced concrete slab eave



Table 3 – Combined roof with eaves slab

Scheme of heat-conducting inclusion	Linear heat transfer coefficients, $W/(m \cdot K)$, depending on the parameters of the thermal insulation layer			
	Estimated thermal conductivity, $W/(m \cdot K)$	Thickness of external wall thermal insulation, δ_{in}		
		120 mm	150 mm	120 mm
	0,040	0,162	0,152	0,144
	0,045	0,168	0,157	0,149
	0,050	0,175	0,162	0,153
	1 – brick wall; 2 – adhesive layer for bonding the insulation boards to the base, as well as for leveling the surface of the base; 3 – thermal insulation layer - mineral wool; 4 – reinforcing fiberglass; 5 – multilayer plaster; 6 – reinforced concrete floor slab; 7 – a layer of lightweight concrete; 8 – vapor barrier; 9 – thermal insulation layer - mineral wool, 250 mm; 10 – two layers of roofing material; 11 – cornice plate; 12 – bracket ; 13 – tray.			

roof slab and the outer wall. The heat transfer linear coefficients of such a solution are shown in Table 2. Design solutions for the arrangement of the external drainage system and roof edge railing should have minimal impact on the integrity of the thermal insulation and waterproofing layer of the roof.

Temperature field calculation of building eaves with a reinforced concrete slab insulated on one side only (Figure 1) shows to what extent a technological gap in thermal insulation envelope reduces its efficiency.

CONCLUSIONS AND PROSPECTS FOR FURTHER RESEARCH

The use of a correction factor to the heat transfer coefficient for considering the effect of heat-conducting inclusions according to the formula (21) of the State construction standards of Ukraine

DSTU Б А.2.2-12:2015 leads to a decrease of thermal resistance actual value of the multilayered combined roof construction by two times. Obtaining a certain class of energy efficiency of the building, as a whole, does not lead to economically impractical waste of thermal insulation material in the roof, the energy efficiency of which is significantly reduced. Refining calculation methods of heat losses through combined roofing and putting into practice the insulation of typical energy-efficient structural units of the combined roof eaves, adjoining the ventilation shafts and roof superstructures will significantly increase the thermal protection of the house. The structural solutions proposed in this paper were used to carry out thermal modernization projects of the academic buildings of the National University "Yuri Kondratyuk Poltava Polytechnic" and to increase combined roof insulation efficiency.



REFERENCES

1. Rumiantsev, B., Zhukov, A., Zelenshikov, D., Chkunin, A., Ivanov, K., & Sazonova, Yu. (2016). Insulation systems of the building constructions. MATEC Web of Conferences 86, 0 (2016) DOI: 10.1051/mateconf/20168604027 IPICSE-2016. Retrieved from https://www.researchgate.net/publication/311091265_Insulation_systems_of_the_building_constructions
2. Nienhuys, S. (2012). Calculation Examples of Thermal Insulation – HA Technical Working Paper number 2 (September 2012-updated). Retrieved from <https://www.researchgate.net/publication/232613788>
3. Omara, A.I., Virgonea, J., Vergnault, E., & Davida, D. (2017) Energy Saving Potential with a Double-Skin Roof Ventilated by Natural Convection in Djibouti. AiCARR 50th International Congress; Beyond NZEB Buildings, 10-11 May 2017, Matera, Italy. Energy Procedia 140 (2017) 361–373. Retrieved from https://www.researchgate.net/publication/321934047_Energy_Saving_Potential_with_a_Double-Skin_Roof_Ventilated_by_Natural_Convection_in_Djibouti
4. Dimoudi, A., Androutsopoulos, A., & Lykoudis, S. (2006.). Summer performance of a ventilated roof component. Energy and Buildings, 38: 610 – 617.
5. Filonenko, O.I., Yurin, O.I., & Kodak, O.A. (2017). The cold attic ventilation conditions influence on the roof structures. Municipal economy of cities: Engineering sciences and architecture series, 134, 15 – 20.
6. Miniailo, M.A., & Filonenko, O.I. (2015). Roof gardens and their socio-economic impact. Construction, materials science, mechanical engineering: Collection of scientific papers, 81, 111 – 118.
7. Farenjuk, G.G., Filonenko, O.I., & Timofeev, M.V. (2017). Energy efficiency of public buildings taking into account the thermal environment ergonomics. Municipal economy of cities: Engineering sciences and architecture series, 135, 119 – 124.
8. Farenjuk, G., Filonenko, O., & Datsenko, V. (2018). Research on Calculation Methods of Building Envelope Thermal Characteristics. International Journal of Engineering & Technology. Vol. 8, № 4.8, pp. 97–102. DOI: 10.14419/ijet.v7i4.8.27221 (іноз. вид.) Retrieved from <https://www.sciencepubco.com/index.php/ijet/article/view/27221>

БІБЛІОГРАФІЧНИЙ СПИСОК

1. Boris Rumiantcev, Aleksey Zhukov, Dmitry Zelenshikov, Anatoliy Chkunin, Kazbek Ivanov, Yuliya Sazonova. Insulation systems of the building constructions. MATEC Web of Conferences 86, 0. 2016. URL: https://www.researchgate.net/publication/311091265_Insulation_systems_of_the_building_constructions DOI: <https://doi.org/10.1051/mateconf/20168604027> IPICSE-2016
2. Sjoerd Nienhuys HA Technical Working Paper №2. Calculation Examples of Thermal Insulation (September 2012-updated). URL: <https://www.researchgate.net/publication/232613788>
3. Abdou Idris Omara, Joseph Virgonea, Etienne Vergnault, Damien Davida. Energy Saving Potential with a Double-Skin Roof Ventilated by Natural Convection in Djibouti. AiCARR 50th International Congress; Beyond NZEB Buildings, 10-11 May 2017. Matera, Italy. Energy Procedia 140. 2017. P. 361–373. URL: https://www.researchgate.net/publication/321934047_Energy_Saving_Potential_with_a_Double-Skin_Roof_Ventilated_by_Natural_Convection_in_Djibouti
4. Dimoudi A., Androutsopoulos A., Lykoudis S. Summer performance of a ventilated roof component. Energy and Buildings. 2006. 38. P. 610 – 617.
5. Філоненко О.І., Юрін О.І., Кодак О.А. Вплив вентиляційного режиму холодного горища на конструкції даху. Комунальне господарство міст. Серія: Технічні науки та архітектура. 2017. 134. С. 15 – 20.
6. Міняйло М.А., Філоненко О.І. Сади на дахах та їх соціально-економічний вплив. Строительство, материаловедение, машиностроение: сб. научн. трудов. 2015. 81. С. 111 – 118.
7. Фаренюк Г.Г., Філоненко О.І., Тимофєєв М.В. Енергоефективність громадських будівель з врахуванням ергономіки теплового середовища. Комунальне господарство міст. Серія: Технічні науки та архітектура. 2017. 135. С. 119 – 124.
8. Gennadiy Farenjuk, Olena Filonenko, Volodymyr Datsenko. Research on Calculation Methods of Building Envelope Thermal Characteristics. International Journal of Engineering & Technology. 2018. 8. 4. P. 97–102. URL: <https://www.sciencepubco.com/index.php/ijet/article/view/27221> DOI: <https://doi.org/10.14419/ijet.v7i4.8.27221>

Стаття надійшла до редакції 28.04.2020 року