

"Сучасні технології та методи розрахунків у будівництві", випуск 19, 2023

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ЛУЦЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

Сучасні технології
та методи розрахунків у будівництві
Збірник наукових праць

Випуск 19

Луцьк – 2023

У збірнику висвітлюються результати наукових досліджень будівельних матеріалів і конструкцій; технологій зведення та експлуатації будівель, інженерних і транспортних систем; теорії опору елементів будівельних конструкцій зовнішнім впливам та методів розрахунку; сучасних тенденцій проектних рішень у будівництві; енергоефективних технологій у міському будівництві та господарстві.

Призначений для науковців, фахівців проектних установ і виробничих підприємств, докторантів, здобувачів вищої освіти.

Редакційна колегія:

Головний редактор – **Шваб'юк В.І.**, д.т.н., професор (ЛНТУ, Луцьк)

Заступник редактора – **Пастернак Я.М.**, д.ф.-м.н., професор (ВНУ ім. Л.Українки, Луцьк)

Відповідальний секретар – **Ротко С.В.**, к.т.н., доцент (ЛНТУ, Луцьк)

Азізов Т.Н., д.т.н., професор (УДПУ, Умань); **Андрійчук О.В.**, к.т.н., доцент (ЛНТУ, Луцьк); **Бабич Є.М.**, д.т.н., професор (НУВГП, Рівне); **Белятинський А.О.**, д.т.н., професор (НАУ, Київ); **Дробишинець С.Я.**, к.т.н., доцент (ЛНТУ, Луцьк); **Жданюк В.К.**, д.т.н., професор (ХНАДУ, Харків); **Задорожнікова І.В.**, к.т.н., доцент (ЛНТУ, Луцьк); **Ільчук Н.І.**, к.т.н., доцент (ЛНТУ, Луцьк); **Карась Славомір**, доктор інженерії (Люблінська політехніка, Польща); **Кислюк Д.Я.**, к.т.н., доцент (ЛНТУ, Луцьк); **Клименко Є.В.**, д.т.н., професор (ОДАБА, Одеса); **Кочкаръов Д.В.**, д.т.н., доцент (НУВГП, Рівне); **Мікулич О.А.**, д.т.н., професор (ЛНТУ, Луцьк); **Максимович О.В.**, д.т.н., професор (НУ "ЛП"); **Наумов В.С.**, д.т.н., професор (Краківська політехніка, Польща); **Пасічник Р.В.**, к.т.н., доцент (ЛНТУ, Луцьк); **Пустюльга С.І.**, д.т.н., професор (ЛНТУ, Луцьк); **Савенко В.Я.**, д.т.н., професор (НТУ, Київ); **Самчук В.П.**, к.т.н., доцент (ЛНТУ, Луцьк); **Синій С.В.**, к.т.н., доцент (ЛНТУ, Луцьк); **Сунак П.О.**, к.т.н., доцент (ЛНТУ, Луцьк); **Трач В.М.**, д.т.н., професор (НУВГП, Рівне); **Ужегова О.А.**, к.т.н., доцент (ЛНТУ, Луцьк); **Ужегов С.О.**, к.т.н., доцент (ЛНТУ, Луцьк); **Чапюк О.С.**, к.т.н., доцент (ЛНТУ, Луцьк); **Шишкін О.О.**, д.т.н., професор (КНУ, Кривий Ріг).

Зареєстрований Державною реєстраційною службою України (свідоцтво про державну реєстрацію КВ № 20340-10140Р від 31.05.2013).

Включений Міністерством освіти і науки до переліку наукових фахових видань України (категорія Б) за спеціальностями 113 – Прикладна математика; 122 – Комп'ютерні науки (наказ МОН України, № 409 від 17.03.2020 р.); 192 – Будівництво та цивільна інженерія (наказ МОН України, № 886 від 02.07.2020 р.).

Матеріали збірника рекомендовані до друку на засіданні вченої ради Луцького національного технічного університету (протокол № 11 від 23 травня 2023 р.).

Адреса редакції: 43018, м. Луцьк, вул. Потебні, 56, ЛНТУ, кафедра будівництва та цивільної інженерії, e-mail: Zbirnukfbd@gmail.com, <http://eforum.lntu.edu.ua/index.php/construction>, телефон (0332) 26-24-60

**АНАЛІЗ СИСТЕМИ КОЕФІЦІЄНТІВ, ЩО
ВИКОРИСТОВУЮТЬСЯ ДЛЯ ВИЗНАЧЕННЯ РОЗРАХУНКОВОГО
СЕЙСМІЧНОГО НАВАНТАЖЕННЯ В НОРМАТИВНИХ
ДОКУМЕНТАХ ДЛЯ ПРОЕКТУВАННЯ**

**ANALYSIS OF THE SYSTEM OF COEFFICIENTS USED TO
DETERMINE THE CALCULATED SEISMIC LOAD IN REGULATORY
DESIGN DOCUMENTS**

**Бондаренко О.В., к.т.н., доцент, Майстренко О.Ф., к.т.н., доцент
(Одеська державна академія будівництва та архітектури, м. Одеса)**

**Bondarenko O.V., Ph.D., Associate Professor, Maistrenko O.F., Ph.D.,
Associate Professor (Odesa State Academy Civil Engineering and
Architecture, Odesa)**

Для сучасного етапу розвитку теорії сейсмостійкості характерна загальна тенденція уточнення постановки розрахункового завдання, отже, був проведений аналіз значень коефіцієнтів для визначення розрахункового сейсмічного навантаження, що застосовувались у нормативних документах різних років видання, оскільки на практиці виникає необхідність використання відповідних інструментів розрахунку та систематизації таких коефіцієнтів.

The current stage of development of the theory of seismic stability is characterized by a general tendency to refine the statement of the calculation problem. This implies a more complete and detailed description of the seismic effect and requires the use of more rigorous calculation methods. It is necessary to study the problem of the interaction of the structure with the soil in determining the influence of the nature of the soil and the conditions for laying structures in them on the dynamic characteristics. An important direction is the further improvement of the design schemes of buildings and structures that most fully reflect their physical properties, spatial functioning, torsion, and wave processes in soils and structures.

It is relevant to develop methods for calculating buildings and structures, taking into account the elastic-plastic properties of the material, which is important for assessing the actual bearing capacity of structures under seismic effects.

In the general case, when normalizing inertial seismic loads, the following coefficients can be used:

- K_B – coefficient of variability of maximum accelerations, determined for a given construction site, regardless of the properties of the building;
- K_O – coefficient of responsibility, which depends only on the class of responsibility of the building;
- $K_{\text{соч}}$ – coefficient of a combination of seismic and non-seismic loads;

- K_x – constructive coefficient, taking into account the features of the system, not reflected in the design scheme;
- K_1 – coefficient of limit states;
- K_ψ – coefficient taking into account energy absorption;
- K_L – coefficient of elongation, taking into account the difference between the average (over the area of the base) and maximum accelerations.

The above system of design coefficients, with the correct designation of the design scheme of the building, makes it possible to accurately assess its seismic resistance. However, in practice, due to the traditionally established calculation and design standards, the system of design coefficients turns out to be more confusing: some coefficients are missing in the calculation formulas, and the existing standard coefficients are changed taking into account the corresponding functions.

The article analyzes the system of coefficients used to determine the design seismic load in regulatory documents for design. It is known that the history of the development of domestic design standards in the section for determining seismic forces clearly shows some inconsistency in the application of the above coefficients, as well as the instability of their numerical values.

The performed analysis of seismic coefficients showed that the existing regulatory system of calculated coefficients is sufficiently balanced, but needs improvement, since the results of calculations do not always correspond to the data of damage to buildings during earthquakes. This must be taken into account when clarifying certain details of the calculation of engineering structures.

Ключові слова: сейсмостійкість споруд, сейсмічне навантаження, розрахункові коефіцієнти, нормативні документи.

Keywords: seismic resistance of buildings, seismic load, calculation coefficients, regulatory documents.

Вступ. Спектральна методика оцінки сейсмостійкості споруд є основною в нормативних документах багатьох країн. Така методика базується на спостереженнях та досвіді минулих землетрусів і забезпечує необхідну сейсмостійкість споруд шляхом застосування при розрахунку емпіричної системи розрахункових коефіцієнтів. Це дозволяє по-різному оцінювати як результати, так і вихідні передумови нормативної методики.

Сейсмічні спостереження у своїй найпростішій формі велися з найдавніших часів. Одночасно з вивченням землетрусів виникали і спроби захищати від них будівлі та споруди. Аналіз розміщених у сейсмічних районах пам'яток стародавньої архітектури показує, що будівельники враховували тоді небезпеку землетрусів та передбачали спеціальні заходи компонування та захисту конструкцій. Але антисейсмічні заходи давнини базувалися на емпіризмі та інженерній інтуїції.

Аналіз останніх досліджень та публікацій. Перша спроба створити теоретичні методи розрахунку та проектування сейсмостійких будівель і

споруд була зроблена в 1900 японським вченим Фусакачі Оморі [1]. На основі досліджень Ф. Оморі розробив методику визначення сейсмічних сил, що отримала назву статичної теорії сейсмостійкості. Ця теорія не враховувала деформації споруди, її коливання зводилися лише до переносного руху всіх точок споруди разом із основою, а сейсмічні сили визначалися за формулою:

$$S = K_c \cdot Q \quad (1)$$

де $K_c = w_0/g$ та w_0 – максимальне сейсмічне прискорення основи. Значення статичної теорії у розвитку теорії сейсмостійкості полягало у тому, що в її рамках вперше вдалося отримати кількісну, хоч і наближену, оцінку сейсмічних сил, тобто звести проектування сейсмостійких споруд до звичайного інженерного завдання.

Першу спробу створити динамічну теорію було зроблено японським вченим Н. Мононобе у 1920 році [2]. Він прийняв, що основа споруди здійснює коливання за гармонійним законом і розглянув вимушені коливання споруди у вигляді системи з одним ступенем свободи. Н. Мононобе була отримана формула для визначення сейсмічної сили:

$$S = K_c \cdot \beta \cdot Q \quad (2)$$

Вираз (2) відрізняється від формули Ф. Оморі (1) наявністю додаткового коефіцієнта динамічності β , який для системи з одним ступенем свободи має вигляд:

$$\beta = 1/(1 - T^2/T_0^2) \quad (3)$$

де T – період власних коливань споруди; T_0 – період коливань основи під час землетрусу.

Недоліком досліджень Н. Мононобе було ігнорування початкової фази сейсмічних коливань. У загальній формі основи динамічного методу розрахунку будівель та споруд на сейсмостійкість було закладено К.С. Заврієвим у 1927 році [4]. Він запропонував розглядати сейсмічні коливання ґрунту як гармонійні незатухаючі, що починаються за законом косинуса. Сейсмічна сила обчислювалася аналогічно Н. Мононобе, але коефіцієнт динамічності β визначався за формулою:

$$\beta = (\cos \omega_0 t - \cos \omega t)/(1 - \omega_0^2/\omega^2) \quad (4)$$

Роботи Н. Мононобе та К.С. Заврієва відіграли велику роль у становленні динамічного підходу до розрахунку споруд.

У 1934 р. американський вчений М. Біо розробив метод оцінки сейсмічних сил із використанням інструментальних записів коливань ґрунту під час землетрусу [3]. Роботи М. Біо стали дуже важливим етапом у розвитку теорії сейсмостійкості, оскільки у них вперше були використані інструментальні записи землетрусів.

Цілі і завдання. Виконати аналіз системи коефіцієнтів, що використовуються для визначення розрахункового сейсмічного

навантаження в нормативних документах для проектування.

Основна частина. Для сучасного етапу розвитку теорії сейсмостійкості характерна загальна тенденція уточнення постановки розрахункового завдання. Це передбачає повніший та докладніший опис сейсмічного впливу та вимагає залучення більш строгих методів розрахунку. Необхідне вивчення проблеми взаємодії споруди з ґрунтом при уточненні впливу характеру ґрунтів та умов закладення в них споруд на динамічні характеристики. Важливим напрямом є подальше вдосконалення розрахункових схем будівель і споруд, що найбільш повно відображають їх фізичні властивості, просторову роботу, кручення, хвильові процеси в ґрунтах та спорудах.

Актуальною є розробка методів розрахунку будівель та споруд з урахуванням пружнопластичних властивостей матеріалу, що є важливим для оцінки дійсної несучої здатності конструкцій при сейсмічних впливах.

У загальному випадку при нормуванні інерційних сейсмічних навантажень можуть бути використані такі коефіцієнти:

- K_B – коефіцієнт варіабельності максимальних прискорень, що визначається для даного майданчика будівництва незалежно від властивостей споруди;
- K_0 – коефіцієнт відповідальності, що залежить тільки від ступеня відповідальності споруди;
- $K_{соч}$ – коефіцієнт поєднань сейсмічного і несейсмічного навантажень;
- K_K – конструктивний коефіцієнт, що враховує специфічні особливості системи, що невідображені в розрахунковій схемі;
- K_1 – коефіцієнт граничних станів;
- K_ψ – коефіцієнт, що враховує поглинання енергії;
- K_L – коефіцієнт протяжності, що враховує відмінність середніх (за площею фундаменту) прискорень від максимальних.

Наведена система розрахункових коефіцієнтів при коректному призначенні розрахункової схеми споруди дозволяє досить точно оцінити її сейсмостійкість. Однак на практиці, в силу традиційно сформованих нормативів розрахунку та проектування, система розрахункових коефіцієнтів виявляється більш заплутаною: частина коефіцієнтів відсутня в розрахункових формулах, а для обліку відповідних особливостей змінені наявні нормативні коефіцієнти.

Історія розвитку вітчизняних норм проектування у розділі визначення сейсмічних сил наочно показує деяку непослідовність застосування вище наведених коефіцієнтів та й нестабільність їх чисельних значень.

ПСП 101-51 [5]. Розрахункова величина сейсмічних сил інерції визначається за такою формулою:

$$S = \alpha \cdot K_c \cdot P \quad (5)$$

СН 8-57 [6]. Розрахункове сейсмічне навантаження у будь-якій точці, де, згідно з розрахунковою схемою споруди, зосереджена маса вагою Q_K , визначається за формулою:

$$S_k = Q_k \cdot k_c \cdot \beta \cdot \eta_k \quad (6)$$

СНиП II-A.12-62 [7]. Максимальне значення розрахункового сейсмічного навантаження, що відповідає якомусь одному i -му тону вільних коливань, визначається за формулою:

$$S_{ik} = Q_k \cdot k_c \cdot \beta_i \cdot \eta_{ik} \quad (7)$$

СНиП II-A.12-69 [8]. Розрахункове значення сейсмічного навантаження S_{ik} , що відповідає i -му тону власних коливань споруди, визначається за формулою:

$$S_{ik} = Q_k \cdot K_c \cdot \beta_i \cdot \eta_{ik} \quad (8)$$

де k_c – сейсмічний коефіцієнт;

α – коефіцієнт, що залежить від динамічних характеристик будівлі та споруди або їх елементів, а також від характеру сейсмічних впливів.

Q_K – навантаження, що викликає інерційну силу: вага елементів будівлі або споруди, корисне навантаження на перекриття, власна вага кранів, навантаження від снігу тощо;

β – коефіцієнт динамічності, що залежить від періоду вільних коливань споруди;

η_{ik} – коефіцієнт, який залежить від форми деформації споруди при її вільних коливаннях i -ї формі та від місця розташування навантаження Q_K ; $K_{ст}$ – коефіцієнт, що враховує поверховість (приймається як додатковий, безпосередньо у формулі не застосовується).

СНиП II-7-81 [9]. Розрахункове сейсмічне навантаження S_{ik} у вибраному напрямку, прикладене до точки k і відповідно i -му тону власних коливань споруд чи будівель (окрім гідротехнічних споруд), обчислюється за формулою:

$$S_{ik} = K_1 \cdot K_2 \cdot S_{0ik} \quad (9)$$

де S_{0ik} – значення сейсмічного навантаження для i -го тону власних коливань споруди або будівлі, що визначається припущенням пружного деформування конструкцій за формулою:

$$S_{0ik} = Q_k \cdot A \cdot \beta_i \cdot K_{\psi} \cdot \eta_{ik} \quad (10)$$

СНиП II-7-81* [10]. Розрахункове сейсмічне навантаження S_{ik} у вибраному напрямку, прикладено до точки k і відповідно i -му тону власних коливань споруд або будівель (окрім гідротехнічних споруд), визначається за формулою:

$$S_{ik} = K_1 \cdot S_{0ik} \quad (11)$$

де K_1 – коефіцієнт, що враховує допустимі пошкодження будівель й споруд;

K_2 – коефіцієнт, що враховує конструктивні рішення будівель та споруд;
 Q_k – вага будівлі або споруди, віднесена до точки k , яка обчислюється з урахуванням розрахункових навантажень на конструкції;

A – коефіцієнт, значення якого треба приймати рівними 0,1; 0,2; 0,4 відповідно для розрахункової сейсмічності 7, 8, 9 балів;

β_i – коефіцієнт динамічності, що відповідає i -му тону власних коливань будівель чи споруд;

K_ψ – коефіцієнт, що враховує вплив знижених дисипативних властивостей деяких матеріалів;

η_{ik} – коефіцієнт, який залежить від форми деформації споруди або будівлі при його власних коливаннях по i -му тону, та від місця розташування навантаження.

ДБН В.1.1-12:2006 [11]. Розрахункове значення горизонтального сейсмічного навантаження S_{ik} , прикладеного до точки k , яке відповідає i -тій формі власних коливань будівлі чи споруди, необхідно визначати за формулою:

$$S_{ki} = k_1 \cdot k_2 \cdot k_3 \cdot S_{0ki} \quad (12)$$

де k_1 – коефіцієнт, який враховує непружні деформації та локальні пошкодження елементів будівлі;

k_2 – коефіцієнт відповідальності споруди;

k_3 – коефіцієнт, що враховує поверховість будівлі, що складає більше 5 поверхів, та може бути визначений за формулою: $k_3 = 1 + 0,06 \cdot (n - 5)$, де n – кількість поверхів в будівлі. Максимальне значення k_3 слід приймати не більше 2,0 (включаючи рамні, рамно-в'язеві та в'язеві системи), а для стінових та каркасно-стінових конструктивних систем слід приймати не більше 1,8;

S_{0ki} – горизонтальне сейсмічне навантаження за i -тою формою власних коливань споруди або будівлі, що має визначатися у припущенні пружного деформування конструкцій за формулою:

$$S_{0ki} = Q_k \cdot a_0 \cdot k_{гр} \cdot \beta_i \cdot \eta_{ik} \quad (13)$$

де Q_k – навантаження, яке відповідає масі, прийнятій у якості зосередженої у точці k та визначається з урахуванням коефіцієнтів;

a_0 – відносне прискорення ґрунту, це значення приймається рівним 0,05; 0,1; 0,2 і 0,4 відповідно для районів сейсмічністю 6, 7, 8 і 9 балів;

$k_{гр}$ – коефіцієнт, що враховує нелінійне деформування ґрунтів, він вводиться, якщо визначення сейсмічності майданчика проведено на базі матеріалів інженерно-геологічних випробувань;

β_i – спектральний коефіцієнт динамічності, який відповідає i -тій формі власних коливань споруди чи будівлі;

η_{ik} – коефіцієнт, що залежить від форми власних коливань будівлі чи споруди, а також від місця прикладання навантаження.

ДБН В.1.1-12:2014 [12]. Розрахункове значення горизонтального сейсмічного навантаження S_{ki} визначається за формулою (12), але тут k_3 – коефіцієнт, що враховує поверховість будівлі заввишки понад 5 поверхів, та визначається за формулою: $k_3 = 1 + 0,04 \cdot (n - 5)$, де n – кількість поверхів будівлі. Максимальне значення коефіцієнта k_3 рекомендовано приймати не більше 1,6 (включаючи рамні, рамно-в'язеві та в'язеві системи), а для стінових та каркасно-стінових конструктивних систем слід приймати не більше 1,5.

Коефіцієнтом передбачається збільшення запасів міцності конструкцій будівлі у міру зростання числа їх поверхів вище п'яти. Цим враховується, що зі зростанням вертикальних навантажень, що є наслідком збільшення числа поверхів, підвищується небезпека крихкого руйнування конструкцій. У таблиці 1 представлені чисельні значення вищенаведених коефіцієнтів, що застосовувались у формулах 5...13 у нормативних документах, які видавались у різні роки [5, 6, 7, 8, 9, 10, 11, 12].

Таблиця 1. Значення сейсмічних коефіцієнтів у нормативних документах різних років видання

Будинки та споруди або їх елементи під час розрахункової сейсмічності у балах:		α	K_c
ПСП 101-51	7	1	0,025
	8	1	0,05
	9	1	0,1
СН 8-57	7	-	0,025
	8	-	0,05
	9	-	0,1
СНиП II-A.12-62	7	-	0,025
	8	-	0,05
	9	-	0,1

СНиП II-A.12-69*	Будівлі та споруди або їх елементи з числом поверхів $n > 5$ при розрахунковій сейсмічності в балах:	K_c	$K_{зт}$
	7	0,025	1+0,1·(n-5) але не більше 1,4
	8	0,05	
	9	0,1	
	Великопанельні будівлі та будівлі зі стінами з монолітного залізобетону з числом поверхів $n > 5$ при розрахунковій сейсмічності в балах:		
	7	0,025	1+0,06·(n-5) але не більше 1,3
	8	0,05	
9	0,1		

Продовження таблиці 1

СНиП II-7-81	Будинки каркасні числом n поверхів понад 5 при розрахунковій сейсмічності в балах (у конструкціях в яких можуть бути допущені залишкові деформації, тріщини, пошкодження окремих елементів тощо, що ускладнюють нормальну експлуатацію):	K_1	K_2	K_w	A
	7	0,25	$1+0,1 \cdot (n-5)$	1,5	0,1
	8	0,25	але не	1,5	0,2
	9	0,25	більше 1,5	1,5	0,4
	Будинки великопанельні або зі стінами з монолітного залізобетону та числом n поверхів понад 5 розрахункової сейсмічності в балах (в конструкціях в яких можуть бути допущені залишкові деформації, тріщини, пошкодження окремих елементів тощо, що ускладнюють нормальну експлуатацію):				
	7	0,25	$0,9+0,075 \cdot (n-5)$	1,0	0,1
	8	0,25	але не	1,0	0,2
	9	0,25	більше 1,5	1,0	0,4

СНиП II-7-81*	Будинки каркасні (з діафрагмами або в'язями) при розрахунковій сейсмічності в балах (в конструкціях в яких можуть бути допущені залишкові деформації та пошкодження, що ускладнюють нормальну експлуатацію):	K_1	K_2	K_w	A
	7	0,25	-	1,3	0,1
	8	0,25	-	1,3	0,2
	9	0,25	-	1,3	0,4
	Будинки із залізобетонних великопанельних або монолітних конструкцій при розрахунковій сейсмічності в балах (в конструкціях в яких можуть бути допущені залишкові деформації та пошкодження, що ускладнюють нормальну експлуатацію):				
	7	0,22	-	1,0	0,1
	8	0,22	-	1,0	0,2
	9	0,22	-	1,0	0,4

Продовження таблиці 1

ДБН В.1.1-12:2006		K_1	K_2	K_3	$K_{гр}$	
	Будівлі та споруди в яких застосований залізобетонний каркас з вертикальними діафрагмами або ядрами жорсткості (стінове заповнення яких не впливає на їх деформативність, при відношенні висоти стояків h до їх поперечного розміру b в напрямку дії сейсмічного навантаження, що дорівнює або менше 15) при розрахунковій сейсмічності в балах (в конструкціях в яких можуть бути допущені залишкові деформації та пошкодження, що ускладнюють нормальну експлуатацію):				1+0,06·(n-5) але не більше: 2,0 - для рамних, рамно-в'язевих та в'язевих систем; 1,8 - для стінових та каркасно-стінових конструктивних систем	
	7	0,3	1,0		0,8-1,2	
	8	0,3	1,0		0,75-1,3	
9	0,4	1,0		0,7-1,4		

ДБН В.1.1-12:2014 (змiна №1)		K_1	K_2	K_3	$K_{гр}$	
	Будівлі та споруди в яких застосований залізобетонний каркас з вертикальними діафрагмами або ядрами жорсткості (стінове заповнення яких не впливає на їх деформативність, при відношенні висоти стояків h до їх поперечного розміру b в напрямку дії сейсмічного навантаження, що дорівнює або менше 15) при розрахунковій сейсмічності в балах (в конструкціях в яких можуть бути допущені залишкові деформації та пошкодження, що ускладнюють нормальну експлуатацію):				1+0,04·(n-5) але не більше: 1,6 - для рамних, рамно-в'язевих та в'язевих систем; 1,5 - для стінових и каркасно-стінових конструктивних систем	
	7	0,3	1,0		0,8-1,2	
	8	0,3	1,0		0,75-1,3	
9	0,4	1,0		0,7-1,4		

Висновки. Виконаний аналіз сейсмічних коефіцієнтів показав, що існуюча нормативна система розрахункових коефіцієнтів виявляється достатньо збалансованою, але потребує вдосконалення, оскільки результати

розрахунків не завжди відповідають даним ушкоджень споруд при землетрусах. Цей факт необхідно враховувати при уточненні тих чи інших деталей розрахунку інженерних споруд.

References

1. Omori F. Seismic experiment on the fracturing and overturning of columns / F. Omori. – Tokyo, 1900.
2. Mononobe N. On the determination of earth pressures during earthquakes / N. Mononobe, H. Matsuo // . Proc. World Eng. Conf., 9, 1929. – P. 177-185.
3. Biot M.A. Tansient oscillations in elastic systems / M.A. Biot // Transactions of the American Society of Civil Engineers – Vol. 108, No. 1, January 1943. – P. 365-385.
4. Zavriev K.S. Raschet inzhenernyih sooruzheniy na seysmostoykost / K.S. Zavriev // «Izvestiya Tiflisskogo politehnicheskogo instituta» – Tiflis, 1928.
5. PSP 101-51. Polozhenie po stroitelstvu v seysmicheskikh rayonah.
6. CN 8-57. Stroitelstvo v seysmicheskikh rayonah.
7. SNiP II-A.12-62. Stroitelstvo v seysmicheskikh rayonah.
8. SNiP II-A.12-69*. Stroitelstvo v seysmicheskikh rayonah.
9. SNiP II-7-81. Stroitelstvo v seysmicheskikh rayonah.
10. SNiP II-7-81*. Stroitelstvo v seysmicheskikh rayonah.
11. DBN V.1.1-12:2006. Budivnytstvo u seismichnykh raionakh Ukrainy.
12. DBN V.1.1-12:2014. Budivnytstvo u seismichnykh raionakh Ukrainy.

Література

1. Omori F. Seismic experiment on the fracturing and overturning of columns / F. Omori. –Tokyo, 1900.
2. Mononobe N. On the determination of earth pressures during earthquakes / N. Mononobe, H. Matsuo // . Proc. World Eng. Conf., 9, 1929. – P. 177-185.
3. Biot M.A. Tansient oscillations in elastic systems / M.A. Biot // Transactions of the American Society of Civil Engineers – Vol. 108, No. 1, January 1943. – P. 365-385.
4. Завриев К.С. Расчет инженерных сооружений на сейсмостойкость / К.С. Завриев // «Известия Тифлисского политехнического института» – Тифлис, 1928.
5. ПСП 101-51. Положение по строительству в сейсмических районах.
6. СН 8-57. Строительство в сейсмических районах.
7. СНиП II-A.12-62. Строительство в сейсмических районах.
8. СНиП II-A.12-69*. Строительство в сейсмических районах.
9. СНиП II-7-81. Строительство в сейсмических районах.
10. СНиП II-7-81. *Строительство в сейсмических районах.
11. ДБН В.1.1-12:2006. Будівництво у сейсмічних районах України.
12. ДБН В.1.1-12:2014. Будівництво у сейсмічних районах України.

**ДОСЛІДЖЕННЯ МОДЕЛІ ТЕРМОПРУЖНОГО СТАНУ
ОБОЛОНКОВОЇ СИСТЕМИ «КОНУС-ЦИЛІНДР»**

**RESEARCH OF THE THERMO-ELASTIC STATE MODEL OF THE
«CONE-CYLINDER» SHELL SYSTEM**

Бондарський О.Г., к.т.н., доц., Ужегова О.А., к.т.н., доц. (Луцький національний технічний університет)

Bondarskyi O.G., Ph.D. in Engineering, Associate Professor, Uzhegova O.A., PhD in Engineering, Associate Professor (Lutsk National Technical University)

Досліджується вплив геометричних параметрів на напружено-деформований стан оболонкової системи яка піддається комплексному впливу силових та температурних факторів.

Issues related to calculations of strength, stiffness, and stability play an important role in the design and creation of the latest modern structures used in various industries. The construction of mathematical models and calculation schemes for the purpose of researching their stress-strain state is especially important. Quite often, the elements of such structures are made in the form of plates and shells, which makes it possible to make them sufficiently strong, light, and resource-saving. Multi-layer shells of complex shapes are widely used in industrial, civil, and road construction, mechanical engineering, aviation, and rocket technology.

For the production of multilayer plates and shells, various materials are used, which are anisotropic in nature. The calculation of structures made of anisotropic materials in a three-dimensional setting is a rather difficult task and is possible only for certain cases of shell geometry, load, and boundary conditions.

Solutions obtained on the basis of a mathematical model of the deformation of plates and shells in a linear arrangement lead to significant errors in the results. In this regard, approximate two-dimensional models of the theory of plates and shells, which take into account the anisotropy of properties and transverse shear deformation, have been widely used.

Quite often, multilayer structures are subjected to the combined influence of force factors and temperature, which causes the formation of a complex type of stress and deformation fields. There are solutions to such a problem in a refined setting, taking into account the dependence of the physical and mechanical properties of the layer material on temperature. This paper considers constructing a mathematical model and analyzing the stress-strain state based on applying the finite-shear theory of shells using numerical methods.

The purpose of this article is to solve the boundary value problem of thermoelastic equilibrium of a multilayer orthotropic composite shell and to analyze the obtained results.

A converging composite shell is considered, which is formed from cylindrical and conical parts that work as a whole. The influence of the taper angle on the stress-strain state of the folded shell, which varies in a fairly wide range, is studied.

Various variants of boundary conditions are considered:

Option 1. The left end has hinged and movable support, and the right end is pinched.

Option 2. The left end is free, and the right is pinched.

Option 3. The left end has hinged and movable support, and the right end has hinged and fixed.

Option 4. Both ends are pinched.

Option 5. The left end has hinged and fixed support, and the right is pinched.

Option 6. Both ends have hinged and fixed support with an absolutely rigid diaphragm in its plane.

Ключові слова: багатошарові оболонки і пластини, кінцево-зсувна модель теорії оболонок .

Keywords: multilayer shells and plates, finite-displacement model of shell theory.

Вступ. Питання, пов'язані з розрахунками на міцність, жорсткість та стійкість, відіграють важливу роль у проектуванні та створенні новітніх сучасних конструкцій, які використовуються у різноманітних галузях виробництва. Особливо важливим є побудова математичних моделей та розрахункових схем з метою дослідження їх напружено-деформованого стану. Досить часто елементи таких конструкцій виконані у вигляді пластин та оболонок, що дозволяє виготовляти їх достатньо міцними, легкими та ресурсощадними [1]. Багатошарові оболонки складної форми широко застосовуються у промисловому, цивільному та дорожньому будівництві, машинобудуванні, у авіаційній та ракетній техніці.

Аналіз останніх досліджень та публікацій. Постановка проблеми

Для виготовлення багатошарових пластин та оболонок використовуються різноманітні матеріали, які по своїй природі є анізотропними. Розрахунок конструкцій, що виготовлені із анізотропних матеріалів у тривимірній постановці є досить складною задачею і можливий тільки для окремих випадків геометрії оболонок, навантаження та граничних умов [2].

Розв'язки, які отримані на основі математичної моделі деформування пластин та оболонок у лінійній постановці Кірхгофа-Лява, приводять до суттєвих похибок у результатах [3].

У зв'язку із цим, широке застосування знайшли наближені двовимірні моделі теорії пластин та оболонок в яких враховується анізотропія властивостей та деформація поперечного зсуву [4].

Досить часто багат шарові конструкції піддаються комбінованому впливу силових факторів та температури, що викликає утворення складного виду полів напружень та деформацій. Розв'язок такої задачі в уточненій постановці, із врахуванням залежності фізико-механічних властивостей матеріалу шарів від температури, наведений у роботі [5].

В даній роботі розглядається побудова математичної моделі та аналіз напружено-деформованого стану оболонкової системи на основі застосування кінцево-зсувної теорії оболонок [6,7,8] із використанням чисельних методів.

Метою цієї статті є розв'язок крайової задачі термопружної рівноваги багат шарової ортотропної складеної оболонки та аналіз отриманих результатів.

Основна частина. Розглядається складена оболонка, яка утворена із циліндричної і конічної частин, що працюють як одне ціле (рис.1)

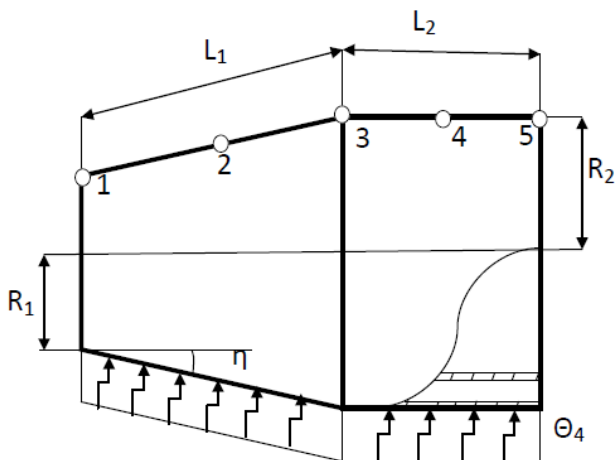


Рис. 1. Конструктивна схема оболонки

До оболонки прикладене рівномірно розподілене навантаження з інтенсивністю $q = 0,03 \text{ МПа}$.

Оболонка піддається впливу температурного поля з характеристиками:

$$\Theta_1 = \Theta_2 = \Theta_3 = 20^{\circ}\text{C}, \Theta_4 = 100^{\circ}\text{C},$$

де $\Theta_1, \Theta_2, \Theta_3$ - значення температур оточуючого середовища відповідно біля лівого торця, правого торця та внутрішньої поверхні оболонки, а Θ_4 - температура зовнішньої поверхні оболонки.

Відбувається конвективний теплообмін оболонки з оточуючим середовищем.

Стінка оболонки складається із трьох шарів (рис. 2) товщини яких наступні:

$$t_1 = t_3 = t_n = 0,001 \text{ м (несучі шари)},$$

$$t_2 = t_{\text{зап}} = 0,012 \text{ м (заповнювач)}.$$

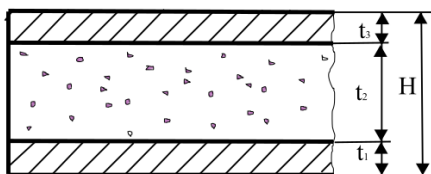


Рис. 2. Конструкція стінки оболонки

Довжина конічної частини оболонки $L_1 = 0,24$ м, циліндричної – $L_2 = 0,19$ м. Радіус циліндричної частини – $R_2 = 0,2$ м, конічної – $R_1 = 0,1$ м.

Фізико-механічні властивості матеріалу шарів оболонки такі.

Коефіцієнти тепловіддачі:

$a_3 = a_4 = 1500 \text{ Вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{К})$ – зовнішня і внутрішня поверхня оболонки,

$a_1 = a_2 = 200 \text{ Вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{К})$ - правий та лівий торці.

Модуль пружності: $E_n = 7 \cdot 10^4 \text{ МПа}$, $E_{\text{зап}} = 70 \text{ МПа}$.

Коефіцієнти Пуассона: $\nu_n = 0,3$; $\nu_{\text{зап}} = 0,1$.

Коефіцієнти теплопровідності: $\lambda_n = 100 \text{ Вт}/(\text{м} \cdot \text{К})$, $\lambda_{\text{зап}} = 100 \text{ Вт}/(\text{м} \cdot \text{К})$.

Коефіцієнт лінійного теплового розширення: $\alpha_n = 0,238 \cdot 10^{-4} \text{ 1/К}$, $\alpha_{\text{зап}} = 0$.

Досліджується вплив кута конусності η на напружено - деформований стан складеної оболонки. Кут конусності змінюється від 0^0 до 25^0 , тобто розв'язується цілий ряд задач про НДС оболонкової системи яка в граничному випадку приймає форму циліндричної оболонки ($\eta=0^0$).

Розглядаються різні варіанти граничних умов:

Варіант 1. Лівий торець має шарнірно-рухоме спирання, а правий – защемлений.

Варіант 2. Лівий торець вільний, а правий – защемлений.

Варіант 3. Лівий торець має шарнірно-рухоме спирання, а правий – шарнірно-нерухоме.

Варіант 4. Обидва торці защемлені.

Варіант 5. Лівий торець має шарнірно-нерухоме спирання, а правий защемлений.

Варіант 6. Обидва торці мають шарнірно-нерухоме спирання з абсолютно жорсткою із своєї площини діафрагмою.

За результатами розрахунку побудовані графіки залежності переміщень і напружень від кута конусності оболонки для перерізів позначених на рисунках 3 та 4 цифрами 1-5.

Як показав аналіз результатів, отриманих для защемленої оболонки, максимальні переміщення U_z , які виникають в зоні з'єднання циліндричної і кінцевої частин оболонки (т.3), при зменшенні кута конусності η нелінійно спадають (рис.3). В проміжних точках 2 і 4 спостерігається зворотнє явище: при зменшенні кута η переміщення U_z лінійно зростають.

Для циліндричної оболонки ($\eta=0^0$) переміщення 2, 3 та 4 точок практично однакові. Меридіональні напруження σ_{11} досягають максимальних значень в точках спирання (т.1 і т.5), причому із зменшенням кута конусності напруження σ_{11}^- залишаються майже постійними; а σ_{11}^+ збільшується на 20%. В зоні з'єднання із збільшенням кута конусності епюри σ_{11}^- і σ_{11}^+ мають суттєво нелінійний характер. Якщо при $\eta=15\div 25^0$ вказані напруження майже постійні, то при $\eta=0\div 15^0$ має місце значне зменшення. Зауважимо, що при куті конусності близькому до 13^0 напруження σ_{11}^- в зоні з'єднання змінюють знак. Кільцеві напруження σ_{22}^+ і σ_{22}^- в проміжних точках 2 і 4 при збільшенні η залишаються постійними. В зоні з'єднання кільцеві напруження циліндра ($\eta=0^0$) у всіх проміжних перерізах мають постійні значення характеристик термопружного стану. Аналогічним чином змінюються параметри термопружного стану оболонки в залежності від η для граничних умов 5 і 6.

Розглянемо оболонку при граничних умовах 1, 2, 3. На відміну від оболонок з нерухомим по X спиранням тут не проявляється різка зміна параметрів термопружного стану при зміні кута конусності η . Як видно із графіків які побудовані для оболонок при граничних умовах 1, 2, 3 (рис.4), переміщення і напруження залишаються практично постійними.

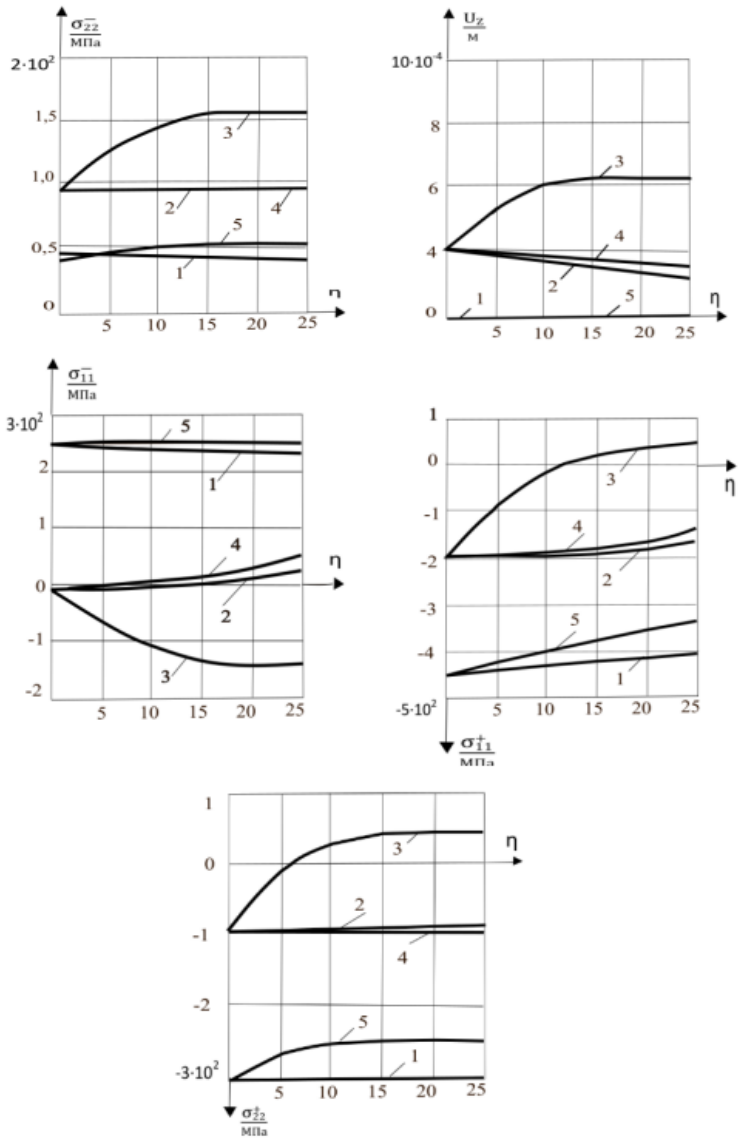


Рис. 3. Графіки залежностей $U_z - \eta$ і $\sigma - \eta$ для оболонки із зацемленими торцями

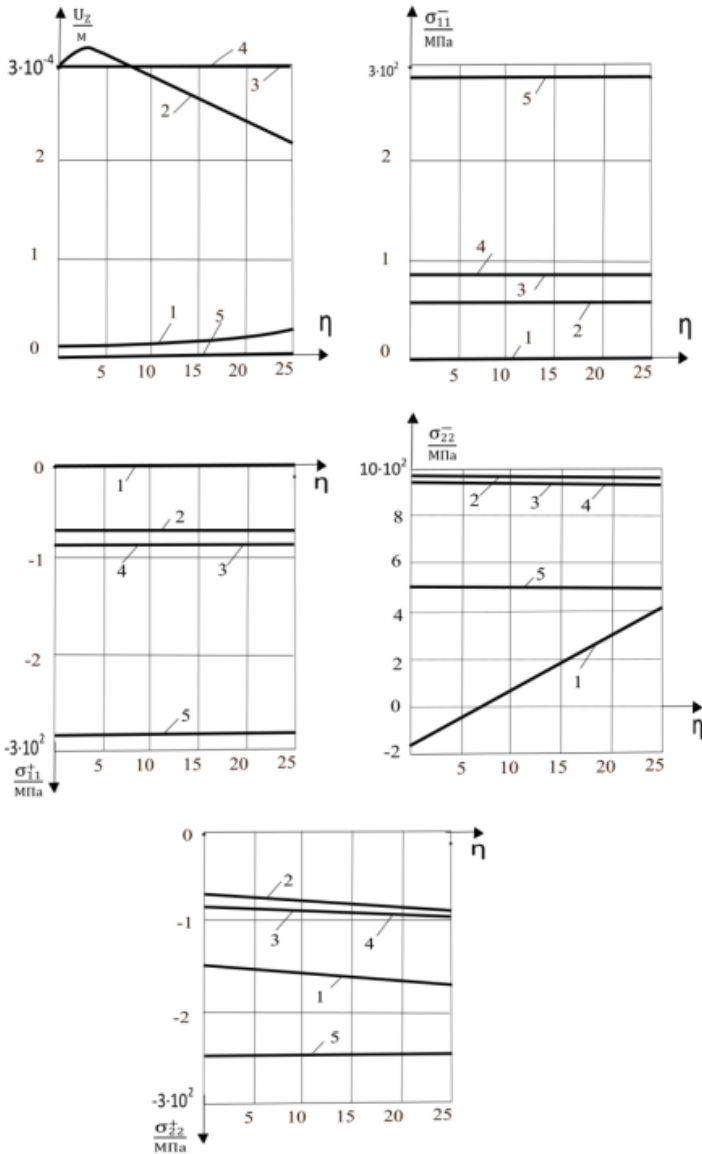


Рис. 4. Графіки залежностей $U_z - \eta$ і $\sigma - \eta$ для оболонки при граничних умовах 1,2,3

Виключення складають переміщення U_z другої точки, які при збільшенні η суттєво зменшуються, а також кільцеві напруження σ_{22} в першому перерізі оболонки які при збільшенні кута конусності різко зменшуються і змінюють при цьому знак.

Таким чином, аналіз отриманих результатів показує, що для складених оболонок, при відсутності вільних температурних зміщень в меридіональному напрямку, із збільшенням кута конусності спостерігається суттєве збільшення переміщень і напружень в області з'єднання циліндричної та конічної частин оболонки. У зв'язку із цим, для оболонок з великим кутом η необхідно приймати додаткові конструктивні заходи для підсилення стику складеної конструкції.

References

1. Pasichnyk R., Pasichnyk O., Uzhegova O., Andriichuk O., Bondarskii O. Calculation Optimization of Complex Shape Shells by Numerical Method. In: Ivanov V. et al. Advances in Design, Simulation and Manufacturing II. DSMIE 2019. Lecture Notes in Mechanical Engineering. Springer, Cham. pp 643-652. DOI:10.1007/978-3-030-22365-6_64. Online ISBN978-3-030-22365-6. SCOPUS.
2. Hryhorenko Ya.M., Vasylenko A.T., Pankratova N.D. Do rozviazku napruzhenoho stanu tovtstoinnykh neodnorodnykh obolonok. – Prykl. mekhanika, 1974, T.10, №5, S. 86-93.
3. Bondarskyi O.H., Uzhegova O.A. Modeliuvannya ta doslidzhennia termopruzhnoho stanu trysharovoї skladoenoї obolonky // Suchasni tekhnologii ta metody rozrakhunkiv v budivnytstvi: Zb. nauk. prats – Lutsk: Lutskiy NTU, 2022. – Vyp. 18. – S. 34-39.
4. Rasskazov O.O., Sokolovska I.I., Shulha M.A. Teoriia i rozrakhunok sharuvatykh ortotropnykh plastyn i obolonok. Kyiv: Vyshcha shkola. 1986. – 191 s.
5. Bondarskyi O.H., Babkov O.V. Vplyv termochutlyvosti materialu shariv na napruzhenno-deformovanyi stan bahatosharovykh obolonok i plastyn // Suchasni tekhnologii ta metody rozrakhunkiv v budivnytstvi: Zb. nauk. prats – Lutsk: Lutskiy NTU, 2021. – Vyp. 16. – S. 20-25.
6. Hryhorenko Ya.M., Vasylenko A.T., Pankratova N.D. Statyka anizotropnykh tonkostinnykh obolonok. Kyiv: Vyshcha shkola. 1985. – 189 s.
7. Bondarskyi O.H., Babkov O.V., Kosenko V.I. Metodyka chyselnoho rozviazannia kraiovykh zadach statyky system bahatosharovoї struktury. // Mizhvuzivskyi zbirnyk "Naukovi notatky". – Vypusk №33. – 2011. – S. 50–52.
8. Pankratova N.D., Rasskazov O.O., Bondar O.H., Bondarskyi O.H. Do rozviazku termonapruzhenoho stanu piddatlyvykh na zsvu bahatosharovykh ortotropnykh obolonok i plastyn // Prykl. mekhanika, 1987. T.23, № 7. S. 55-61.

Література

1. Pasichnyk R., Pasichnyk O., Uzhegova O., Andriichuk O., Bondarskii O. Calculation Optimization of Complex Shape Shells by Numerical Method. In: Ivanov V. et al. Advances in Design, Simulation and Manufacturing II. DSMIE 2019. Lecture Notes in Mechanical Engineering. Springer, Cham. pp 643-652. DOI:10.1007/978-3-030-22365-6_64. Online ISBN978-3-030-22365-6. SCOPUS
2. Григоренко Я.М., Василенко А.Т., Панкратова Н.Д. До розв'язку напруженого стану товстостінних неоднорідних оболонок. – Прикл. механіка, 1974, Т.10, №5, С. 86-93.
3. Бондарський О.Г., Ужегова О.А. Моделювання та дослідження термопружного стану тришарової складеної оболонки // Сучасні технології та методи розрахунків в будівництві: Зб. наук. праць – Луцьк: Луцький НТУ, 2022. – Вип. 18. – С. 34-39.
4. Рассказов О.О., Соколовська І.І., Шульга М.А. Теорія і розрахунок шаруватих ортотропних пластин і оболонок. Київ: Вища школа. 1986. – 191 с.
5. Бондарський О.Г., Бабков О.В. Вплив термочутливості матеріалу шарів на напружено-деформований стан багатошарових оболонок і пластин // Сучасні технології та методи розрахунків в будівництві: Зб. наук. праць – Луцьк: Луцький НТУ, 2021. – Вип. 16. – С. 20-25.
6. Григоренко Я.М., Василенко А.Т., Панкратова Н.Д. Статика анізотропних тонкостінних оболонок. Київ: Вища школа. 1985. – 189 с.
7. Бондарський О.Г., Бабков О.В., Косенко В.І. Методика чисельного розв'язання крайових задач статки систем багатошарової структури. // Міжвузівський збірник "Наукові нотатки". – Випуск №33. – 2011. – С. 50–52.
8. Панкратова Н.Д., Рассказов О.О., Бондар О.Г., Бондарський О.Г. До розв'язку термонапруженого стану піддатливих на зсув багатошарових ортотропних оболонок і пластин // Прикл. механіка, 1987. Т.23, № 7. С. 55-61.

ТЕХНІЧНЕ ОБСТЕЖЕННЯ ЗАЛІЗОБЕТОННИХ КОНСТРУКЦІЙ
TECHNICAL INSPECTION OF REINFORCED CONCRETE
STRUCTURES

Бондарський О.Г., к.т.н., доцент, Дробишинець С.Я., к.т.н., доцент, Лучинець С.А., інженер, Ротко С.В., к.т.н., доцент, Ужегова О.А., к.т.н., доцент (Луцький національний технічний університет)

Bondarskyi O.G., Ph.D. in Engineering, Associate Professor, Drobysynets S.Y. Ph.D. in Engineering, Associate Professor, Luchynets S.A., Engineer, Rotko S.V., Ph.D. in Engineering, Associate Professor, Uzhehova O.A., Ph.D. in Engineering, Associate Professor(Lutsk National Technical University)

Подано інформацію про обстеження демонтованих конструкцій залізобетонного каркасу. Наведені результати візуального огляду. Описано дефекти, виявлені під час візуального та інструментального обстежень. Проаналізовано технічний стан залізобетонних конструкцій. Запропоновано заходи для відновлення технічних характеристик обстежених конструкцій.

With the help of non-destructive testing devices, on-site inspections of prefabricated reinforced concrete frame structures, which were in operation, were performed to establish their reliability and suitability for further use in new construction. At the same time, verification calculations of the bearing capacity of the examined structures were performed. A detailed survey of building structures was performed: columns, covering beams, and covering slabs.

Survey work was carried out by the construction research laboratory at the Department of Construction and Civil Engineering of the Lutsk National Technical University.

As a result of the technical inspection, it was established that a long period of operation of the structures, adverse environmental effects, and violations of technology during dismantling and transportation led to several damages and defects of individual structural elements, which worsened their technical condition.

When performing a technical inspection of precast concrete structures (14 columns of the 2K48-3m2 brand, according to the type of series 1.423-3 v.1 with a cross-section of 300×400 mm; 50 columns of the brand 2K60-4M2 according to the type of series 1.423-3 v.1 with a cross-section of 400×400 mm 26 columns of the 5K60-5M2 type series 1.423-3 v.1 with a section of 400×400 mm, 32 cover beams with parallel belts of the 3BSO 12-A IV series type 1.462.1-1/81, L=12000mm; 13 girder covering beams of the

BDR-18-2 A IV type of series 1.462.1-1/80, L=18000mm; 196 ribbed covering slabs of the PG3 A IV brand, type series 1.465, with dimensions of 6000×3000 mm) showed chipping of concrete, minor potholes that are the result of dismantling and transportation works, partial exposure of structural reinforcement, its corrosion and corrosion of embedded parts. The condition of all structures is satisfactory - category "2". It is recommended to eliminate defects, and bring structures to a normal state - category "1", for which measures should be provided:

- *mechanical separation of the exfoliated protective layer of concrete from structural and working reinforcement;*
- *cleaning of the corrosion layer from structural fittings, and embedded parts by mechanical and chemical methods;*
- *performance of anti-corrosion protection of fittings and embedded parts with Ceresit CD 30;*
- *restoration of the protective layer of structural reinforcement with fine-grained concrete, concrete class $C \geq 30$, (for columns $C \geq 25$), Ceresit CD 26, Ceresit CD 21.*

When carrying out measures to eliminate defects of prefabricated reinforced concrete structures - covering slabs, columns, covering beams, these structures are suitable for use in new construction and further operation.

Ключові слова: обстеження, залізобетонні конструкції, дефекти.

Keywords: survey, reinforced concrete structures, defects.

Залізобетон можна вважати чи не найдовговічнішим штучним будівельним матеріалом. Конструкції із залізобетону служать довго, не потребують особливого догляду за час експлуатації, а в разі демонтажу можуть бути використані повторно. Демонтаж будівельних конструкцій тепер не рідкість – багато підприємств минулого століття стали вже нерентабельними, їх технології застаріли як морально, так і фізично, а от залізобетонні конструкції каркасу промислових будівель не втратили своїх якостей і можуть далі використовуватись. Перед тим, як дати шанс на «друге життя» цим конструкціям, доводиться обстежувати їх на предмет експлуатаційної придатності, несучої здатності, деформативності, міцності бетону, ступеню фактичного зносу, можливості подальшої їх експлуатації тощо. Висновок про можливість та доцільність повторного використання конструкцій можна зробити за результатами натурального обстеження і лабораторного визначення міцнісних характеристик бетону й арматури, розрахунку фактичної тримкої здатності елементів. Для цього проводиться візуальне обстеження конструкції, виконуються обміри, фіксуються наявні дефекти та пошкодження, здійснюються інструментальні дослідження та випробування.

Неруйнівні методи визначення міцності бетону були відомі ще з середини минулого століття, про них йдеться у працях вчених Г.М. Гладишева, І.А. Диковського, А.М. Зінкевича, А.І. Кравцова,

М.Ю. Ліщинського, М.А. Новгородського, Б.Г. Скрамтаєвої, С.М. Соколова, І.М. Рабиновича та інших. Технічному обстеженню будівельних конструкцій, оцінці їх технічного стану, залишковому ресурсу будівель, споруд та їх елементів присвячені роботи вчених Т.Н. Азізова, Є.М. Бабича, З.Я. Бліхарського, О.І. Голоднова, Р.І. Кінаша, Є.В. Клименка, В.А. Пашинського, С.Ф. Пічугіна, О.В. Семка, Л.І. Стороженка, О.В. Шимановського, В.С. Шмуклера та інших.

Мінімально допустимі значення контрольованих параметрів встановлюють за результатами розрахунків досліджуваних будівельних конструкцій методами опору матеріалів і будівельної механіки для визначення тримкої здатності та порівняння їх з найбільшим чинним зусиллям:

$$F_{cr} [x_1(t), x_2(t), \dots, x_n(t)] > F, \quad (1)$$

де $F_{cr} [x_1(t), x_2(t), \dots, x_n(t)]$ – функція тримкої здатності, тут $x_1(t), x_2(t), \dots, x_n(t)$ – параметри поперечного перерізу, характеристики міцності, деформацій як функції в часі; F – величина найбільшого чинного зусилля, визначена розрахунками.

Напружено-деформівний стан, тримку здатність, деформації, тріщиностійкість обстежуваних залізобетонних конструкцій виконують згідно з ДБН В.2.6-98:2009.

За допомогою приладів неруйнівного контролю виконувались натурні обстеження збірних конструкцій залізобетонного каркасу, які були в експлуатації, для встановлення їх надійності та придатності до подальшого використання у новому будівництві. Разом з тим, виконано перевірочні розрахунки тримкої здатності обстежуваних конструкцій. Виконано детальне обстеження будівельних конструкцій: колон, балок покриття, плит покриття, фото деяких з них наведені на рис.1, 2.



Рис. 1. Елементи каркасу в стадії демонтажу

Роботи з обстеження виконувались науково-дослідною будівельною лабораторією при кафедрі будівництва та цивільної інженерії Луцького національного технічного університету (свідоцтво про атестацію № 106-04/2020 від 16 грудня 2020 р.). В результаті виконання робіт з технічного обстеження було встановлено, що тривалий період експлуатації конструкцій, несприятливий вплив навколишнього середовища, порушення технології при демонтажі та транспортуванні привели до ряду пошкоджень і дефектів окремих конструктивних елементів, які погіршили їх технічний стан:

- збірні залізобетонні колони марки 2К48-3М2, серії 1.423.1-3, перерізом 300×400 мм, колони марки 2К60-4м2, 5К60-5м2, серії 1.423.1-3, перерізом 400×400 мм мають сколювання бетону; незначні вибоїни, які є результатом проведення демонтажних і транспортних робіт; часткове оголення конструктивної арматури, її корозію та корозію закладних деталей (рис. 1);

- збірні залізобетонні балки покриття, марки ЗБСО 12-АІV, серії 1.462.1-1/81, L=12,0 м, залізобетонні балки покриття, марки БДР-18-2-АІV, серії 1.462.1-3/80, L=18,0 м мають сколювання бетону; вибоїни; місцями поздовжні та поперечні тріщини захисного шару бетону, шириною розкриття 1-1,5 мм; оголення і корозію конструктивної арматури; недостатню товщину захисного шару бетону верхнього поясу, торцевих стінок, поздовжніх стінок приопорних зон балок; корозію закладних деталей (рис. 2, б, в, г, д, е);

- збірні залізобетонні плити покриття, марки ПГЗ А ІV, серії 1.465, розмірами 6000×3000×300 мм, мають сколювання бетону; відшарування захисного шару бетону конструктивної арматури; оголення і корозію конструктивної арматури; недостатню товщину захисного шару конструктивної арматури поздовжніх ребер, окремими місцями поперечних торцевих ребер; корозію закладних деталей (рис. 2, а). Додатковою причиною такого технічного стану деяких конструкцій є недотримання технології при виготовленні збірних залізобетонних елементів – не витримана товщина захисного шару бетону для конструктивної арматури.

При виконанні робіт з інженерно-технічного обстеження проведено інструментальне дослідження неруйнівними методами фізико-механічних властивостей бетону збірних залізобетонних ребристих плит покриття, колон, балок покриття. Міцність бетону конструкцій визначали методом пружного відскоку за [4], використовували еталонний молоток Кашкарова, склерометр Шмідта. Товщина захисного шару бетону, діаметр робочої арматури та її розташування встановлювались магнітним методом за [3], використовували прилад ИЗС-10Н.

Для опрацювання результатів методів неруйнівного контролю з визначення міцності бетону застосовувались методи математичної статистики, що дало змогу адекватно оцінити отримані дані для визначення технічного стану залізобетонних конструкцій.



а



б



в



г



д



е

Рис. 2. Демонтовані залізобетонні конструкції, які були обстежені

При цьому для кожної групи однотипних конструкцій визначали середнє значення міцності бетону:

$$f_{cm} = \frac{1}{\sum n} (n_1 f_{c1} + n_2 f_{c2} + \dots + n_n f_{cn}). \quad (2)$$

Середнє квадратичне відхилення обчислювали за формулою:

$$\sigma = \sqrt{\frac{1}{n-1} [(f_{c1} - f_{cm})^2 + (f_{c2} - f_{cm})^2 + \dots + (f_{cn} - f_{cm})^2]}. \quad (3)$$

За отриманими даними визначали характеристичне значення міцності бетону

$$C = f_{cm} - \chi \sigma, \quad (4)$$

що відповідає найменшому контрольному значенню із достовірною імовірністю 0,95. Ця величина була базовою для встановлення класу бетону за міцністю на осьовий стиск. При цьому, згідно норм, коефіцієнт достовірності приймався $\chi = 1,64$.

Результати визначення міцності бетону одного типу з досліджених конструкцій балок двохстих гратчастих марки БДР-18-2 А ІV по типу серії 1.462.1-1/80, L=18000мм методом ударного імпульсу за [4] наведені в таблиці 1.

Таблиця 1. Визначення фізико-механічних характеристик бетону балок двоскатних неруйнівними методами

№ з/п	Номер за специфікацією на прироб'єктному складі	Молоток Кашкарова				Склерометр Шмідта				
		Відбитки еталонного молотка Кашкарова			Сер. міцн., МПа, кгс/см ²	Клас бетону	Показ за шкалою приладу, од.	Середній показ для конструкції, од.	Показ міцності за номограмою, МПа, кгс/см ²	Клас бетону
		d бет., мм	d ел., мм	$n = \frac{\sum d \text{ бет}}{\sum d \text{ ел}}$						
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
1	7	3,9	3,1				42			
		3,7	2,9				41			
		3,6	2,7	1,25	41,9	C25/30	43		43,1	C25/30
		3,7	2,9		427		42	42,4	440	
		3,8	3,0				44			
2	11	3,7	2,7				44			
		3,6	2,9				41			
		3,8	2,9	1,27	41,0	C25/30	43		44,1	C30/35
		3,8	3,9		417		42	42,8	450	
		3,5	2,9				44			
3	5	3,6	2,8				42			
		3,7	2,9				44			
		3,6	2,7	1,26	41,9	C25/30	42		44,3	C30/35
		3,9	3,1		427		44	43,1	452	
		3,5	2,7				43			

Продовження таблиці 1

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
4	12	4,0	3,0				42			
		3,6	2,9				44			
		3,8	3,1	1,26	41,9	C25/30	42		43,5	C25/30
		3,8	3,1		427		43	42,6	444	
		3,9	3,0				42			
5	1	3,5	2,6				43			
		3,9	3,1				42			
		3,8	3,1	1,26	41,9	C25/30	41	41,8	42,7	C25/30
		3,6	2,9		427		41		435	
		3,7	3,0				42			
6	4	3,7	2,7				44			
		3,6	2,9				41			
		3,8	2,9	1,27	41,0	C25/30	43	42,8	44,1	C30/35
		3,8	3,9		417		42		450	
		3,5	2,9				44			
7	10	3,9	3,1				42			
		3,7	2,9				41			
		3,6	2,7	1,26	41,9	C25/30	43	42,4	43,1	C25/30
		3,7	3,0		427		42		440	
		3,8	3,0				44			
8	2	3,5	2,6				43			
		3,9	3,1				42			
		3,8	3,1	1,26	41,9	C25/30	41	41,8	42,7	C25/30
		3,6	2,9		427		41		435	
		3,7	3,0				42			
9	13	3,9	3,0				42			
		3,7	2,9				42			
		3,7	2,7	1,26	41,9	C25/30	44	42,4	43,1	C25/30
		3,6	3,0		427		41		440	
		3,8	3,1				43			
10	3	3,7	2,9				44			
		3,8	2,9				43			
		3,6	2,7	1,27	41,0	C25/30	41	42,8	44,1	C30/35
		3,8	3,9		417		44		450	
		3,5	2,9				42			
11	6	3,4	2,7				44			
		3,3	2,6				42			
		3,5	2,8	1,26	42,4	C25/30	43	42,6	43,4	C25/30
		3,7	2,9		432		41		443	
		3,5	2,8				43			
12	9	4,0	3,2				43			
		3,6	2,8				44			
		3,8	3,1	1,27	41,9	C25/30	42	42,6	43,5	C25/30
		3,8	3,0		427		43		444	
		3,9	3,0				42			

Закінчення таблиці 1

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
13	8	3,5	2,7				43			
		3,9	3,1				42			
		3,8	3,1	1,26	41,7	C25/30	41	41,9	42,7	C25/30
		3,6	2,9		425		41		435	
		3,7	3,0				42			
Усереднена міцність бетону балок покриття: $f_{cm} = 41,71 \text{ МПа}$							$f_{cm} = 43,42 \text{ МПа}$			
Коефіцієнт достовірності: $\beta = 1,64$							$\beta = 1,64$			
Середнє квадратичне відхилення: $\sigma = 0,44 \text{ МПа}$							$\sigma = 0,89 \text{ МПа}$			
Характеристична міцність бетону: $C = f_{cm} - \beta \cdot \sigma = 41,00 \text{ МПа}$ (418,08 кгс/см ²)							$C = f_{cm} - \beta \cdot \sigma = 41,87 \text{ МПа}$ (426,96 кгс/см ²)			
C25/30							C25/30			

Результати досліджень збірних залізобетонних конструкцій (14 колон марки 2К48-3м2 по типу серії 1.423-3 в.1 перерізом 300×400 мм; 50 колон марки 2К60-4М2 по типу серії 1.423-3 в.1 перерізом 400×400 мм; 26 колон марки 5К60-5М2 по типу серії 1.423-3 в.1 перерізом 400×400 мм; 32 балки покриття з паралельними поясами марки ЗБСО 12-А ІV по типу серії 1.462.1-1/81, L=12000мм; 13 балок покриття двохстихих ґратчастих марки БДР-18-2 А ІV по типу серії 1.462.1-1/80, L=18000мм; 196 ребристих плит покриття, марки ПГЗ А ІV по типу серії 1.465 розмірами 6000×3000мм) відображені в таблицях звіту.

Аналізуючи результати інструментальних випробувань, досліджень і розрахунків фізико-механічних характеристик бетону збірних залізобетонних конструкцій (плит покриття, колон, балок покриття), визначених випробуваннями неруйнівними методами за допомогою молотка Кашкарова, склерометра Шмідта АТ241/Е клас N, незважаючи на наявність дефектів, відображених у таблицях звіту, клас і марка бетону відповідають вимогам типових серій періоду їх виготовлення: колони – серія 1.423.1-3/88; балки покриття – серія 1.462-1/81, 1.462.1-3/80; плити покриття – серія 1.465-7.

Висновки та рекомендації

1. При виконанні технічного обстеження збірних залізобетонних колон марки 2К48-3м2, серії 1.423.1-3/88 перерізом 300×400 мм, виявлено сколювання бетону, незначні вибоїни, які є результатом проведення демонтажних і транспортних робіт, часткове оголення конструктивної арматури, її корозії та корозії закладних деталей. Стан конструкцій задовільний – категорія «2». Рекомендовано при виконанні будівельно-монтажних робіт ліквідувати дефекти, довести конструкції до нормального стану – категорія «1», передбачити заходи:

- відокремлення відшарованого захисного шару бетону від конструктивної і робочої арматури механічним способом;
- очищення шару корозії з конструктивної арматури, закладних деталей механічним і хімічним способами;
- виконання антикорозійного захисту арматури та закладних деталей засобом Ceresit CD 30;
- відновлення захисного шару конструктивної арматури дрібнозернистим бетоном, клас бетону $C_{\geq 25}$, Ceresit CD 26, Ceresit CD 21;

2. При виконанні технічного обстеження збірних залізобетонних колон марки 2К60-4м2, серії 1.423.1-3/88, перерізом 400×400 мм, колон марки 5К60-5м2, серії 1.423.1-3/88, перерізом 400×400 мм виявлено сколювання бетону, незначні вибоїни, які є результатом проведення демонтажних і транспортних робіт, часткове оголення конструктивної арматури, її корозії та корозії закладних деталей. Стан конструкцій задовільний – категорія «2». Рекомендовано при виконанні будівельно-монтажних робіт ліквідувати дефекти, довести конструкції до нормального стану – категорія «1», передбачити заходи:

- відокремлення відшарованого захисного шару бетону від конструктивної і робочої арматури механічним способом;
- очищення шару корозії із конструктивної арматури, закладних деталей механічним і хімічним способами;
- виконання антикорозійного захисту арматури та закладних деталей засобом Ceresit CD 30;
- відновлення захисного шару конструктивної арматури дрібнозернистим бетоном, клас бетону $C_{\geq 25}$, Ceresit CD 26, Ceresit CD 21.

3. При проведенні технічного обстеження збірних залізобетонних балок покриття, марки ЗБСО12-А IV, серії 1.462.1-1/81, L=12,0 м, виявлено сколювання бетону, вибоїни, місцями поздовжні, поперечні тріщини захисного шару бетону шириною розкриття 1-1,5 мм, оголення і корозію конструктивної арматури, недостатню товщину захисного шару бетону верхнього поясу, торцевих стінок, поздовжніх стінок приопорних зон балок, корозію закладних деталей. Стан конструкцій задовільний – категорія «2». Рекомендовано при виконанні будівельно-монтажних робіт ліквідувати дефекти, довести конструкції до нормального стану – категорія «1», передбачити заходи:

- звільнення арматури від пошкодженого корозією бетону поверхні верхнього поясу та бокових стінок балок механічним способом;
- очищення конструктивної арматури від шару корозії механічним і хімічним способами;
- виконання антикорозійного захисту арматури, Ceresit CD 30;

- відновлення захисного шару арматури з дрібнозернистого бетону, клас бетону $C \geq 30$, Ceresit CD 26, Ceresit CD 21.

4. При проведенні технічного обстеження збірних залізобетонних балок покриття, марки БДР-18-2-АІV, серії 1.462.1-3/80, $L=18,0$ м, виявлено сколювання бетону, вибоїни, місцями поздовжні, поперечні тріщини захисного шару бетону шириною розкриття 1-1,5 мм, оголення і корозію конструктивної арматури, недостатню товщину захисного шару бетону верхнього поясу, торцевих стінок, поздовжніх стінок приопорних зон балок, корозію закладних деталей. Стан конструкцій задовільний – категорія «2». Рекомендовано при виконанні будівельно-монтажних робіт ліквідувати дефекти, довести конструкції до нормального стану – категорія «1», передбачити заходи:

- звільнення арматури від пошкодженого корозією бетону поверхні верхнього поясу та бокових стінок балок механічним способом;
- очищення конструктивної арматури від шару корозії механічним і хімічним способами;
- виконання антикорозійного захисту арматури, Ceresit CD 30;
- відновлення захисного шару арматури з дрібнозернистого бетону, клас бетону $C \geq 30$, Ceresit CD 26, Ceresit CD 21.

5. Технічним обстеженням збірних залізобетонних плит покриття, марки ПГЗ А ІV, серії 1.465, розмірами $6000 \times 3000 \times 300$ мм, виявлено сколювання бетону, відшарування захисного шару бетону конструктивної арматури, оголення і корозію конструктивної арматури, недостатню товщину захисного шару конструктивної арматури поздовжніх ребер, окремими місцями – поперечних торцевих ребер, корозію закладних деталей. Стан конструкцій задовільний – категорія «2». Рекомендовано при виконанні будівельно-монтажних робіт ліквідувати дефекти, довести конструкції до нормального стану – категорія «1», передбачити заходи:

- звільнення арматури від пошкодженого корозією бетону поверхнь плит покриття механічним способом;
- очищення механічним і хімічним способами ділянок залізобетонних поверхнь із корозією арматури та металевих закладних деталей;
- виконання антикорозійного захисту арматури, закладних деталей, Ceresit CD 30;
- відновлення захисного шару конструктивної арматури дрібнозернистим бетоном (наповнювач – крупнозернистий промитий кварцовий пісок), клас бетону $C \geq 30$ товщиною ≥ 10 мм, Ceresit CD 26, Ceresit CD 21.

При виконанні заходів із ліквідації дефектів збірних залізобетонних конструкцій – плит покриття, колон, балок покриття, ці конструкції придатні для використання у новому будівництві і подальшої експлуатації.

References

1. DSTU-N B V.1.2-18:2016. Nastanova shchodo obstezhennia budivel i sporud dlia vyznachennia ta otsinky yikh tekhnichnogo stanu. 2. DBN V.1.2-14-2009. Systema zabezpechennia nadiinosti ta bezpeky budivelnykh ob'ektiv. Zahalni pryntsypy nadiinosti ta konstruktyvnoi bezpeky budivel, sporud, budivelnykh konstruksii ta osnov. 3. DSTU B V.2.6-4-95. Mahnitnyi metod vyznachennia tovshchyny zakhysnogo шару бетону і розташування арматури. 4. DSTU B V.2.7-220:2009. Будівельні матеріали. Бетони. Визначення міцності механічними методами неруйнівного контролю. 5. DSTU B V.2.7-224:2009. Бетони. Правила контролю міцності. 6. DSTU B V.2.7-226:2009. Будівельні матеріали. Бетони. Ультразвуковий метод визначення міцності. 7. Drobyshtynets S. Ya., Kysliuk D. Ya., Talakh L. O., Uzhegov S. O., Uzhegova O. A. Obstezhennia monolitnogo zalizobetonnoho perekryttia z trishchynamy // Resursoekonomni materialy, konstruksii, budivli ta sporudy: zb. nauk. prats – Rivne: NUVHP, 2021. Vyp. 40. – S.242-250. 8. Rotko S.V., Uzhegova O.A., Pasichnyk R.V., Hontar V.O. Tekhnichne obstezhennia konstruksii tekhpiddpillia adminbudivli u m. Lutsku // Suchasni tekhnologii ta metody rozrakhunkiv u budivnytstvi: zb. nauk. prats – Lutsk: LNTU, 2022. – Vyp. 17. - S.120-130. 9. Yasnii P.V. Doslidzhennia mitsnosti betonu neruiniivnymy metodamy kontroliu / P.V. Yasnii, O.P. Kononchuk, O.M. Yakubyshtyn // Resursoekonomni materialy, konstruksii, budivli ta sporudy: zb. nauk. pr. – Rivne: NUVHP, 2016. – Vyp. 32. – S. 296 – 303. 10. <https://lntu.edu.ua/uk/naukovo-doslidna-budivelna-laboratoriya>

Література

1. ДСТУ-Н Б В.1.2-18:2016. Настава щодо обстеження будівель і споруд для визначення та оцінки їх технічного стану. 2. ДБН В.1.2-14-2009. Система забезпечення надійності та безпеки будівельних об'єктів. Загальні принципи надійності та конструктивної безпеки будівель, споруд, будівельних конструкцій та основ. 3. ДСТУ Б В.2.6-4-95. Магнітний метод визначення товщини захисного шару бетону і розташування арматури. 4. ДСТУ Б В.2.7-220:2009. Будівельні матеріали. Бетони. Визначення міцності механічними методами неруйнівного контролю. 5. ДСТУ Б В.2.7-224:2009. Бетони. Правила контролю міцності. 6. ДСТУ Б В.2.7-226:2009. Будівельні матеріали. Бетони. Ультразвуковий метод визначення міцності. 7. Дробишинець С.Я., Кислюк Д.Я., Талах Л.О., Ужegov С.О., Ужegov О.А. Обстеження монолітного залізобетонного перекриття з тріщинами // Ресурсоекономні матеріали, конструкції, будівлі та споруди: зб. наук. праць – Рівне: НУВГП, 2021. Вип. 40. – С.242-250. 8. Ротко С.В., Ужegov О.А., Пасичник Р.В., Гонтар В.О. Технічне обстеження конструкцій техпідпілля адмінбудівлі у м. Луцьку // Сучасні технології та методи розрахунків у будівництві: зб. наук. праць – Луцьк: ЛНТУ, 2022. – Вип. 17. - С.120-130. 9. Ясній П.В. Дослідження міцності бетону неруйнівними методами контролю / П.В. Ясній, О.П. Конончук, О.М. Якубишин // Ресурсоекономні матеріали, конструкції, будівлі та споруди: зб. наук. пр. – Рівне: НУВГП, 2016. – Вип. 32. – С. 296 – 303. 10. <https://lntu.edu.ua/uk/naukovo-doslidna-budivelna-laboratoriya>

**ВПЛИВ ЗАЛІЗОВМІЩУЮЧИХ РЕЧОВИН НА
ВЛАСТИВОСТІ ГАЗОБЕТОНУ**

**INFLUENCE OF IRON-CONTAINING SUBSTANCES ON
PROPERTIES OF AERATED CONCRETE**

Бровко Д.В., д.т.н., професор, Герасимова К.В., к.т.н., доцент, Настич О.Б., к.т.н., доцент (Криворізький національний університет, м. Кривий Ріг)

Brovko D.V., Doctor of Engineering, Professor, Gerasimova K.V., Ph.D. in Engineering, Associate Professor, Nastych O.B., Ph.D. in Engineering, Associate Professor (Kryvyi Rih National University, Kryvyi Rih)

Розглянуто особливості впливу залізовміщуючих речовин на властивості бетонної суміші та газобетону, отриманого на основі гідропериту, залежно від його складу

The results of the experiments in which the properties of the dispersed system, which consists of a complex pore former, which includes perhydrol and iron oxide, and the hydrophobic surface-active substance that was used, were investigated. as calcium oleate, in the presence of sodium hydroxide and aggregates that were used as unground waste from mining and processing plants. The ease of placement of the concrete mixture was determined on mixtures of different mobility. In the experiments, ground ferrous rocks were used as a filler, and uncrushed ferrous rocks were used as an aggregate. The analysis of the research results allowed us to conclude that the complex foaming agent performs the role of a plasticizing additive. Based on the results of these experiments, it can be concluded that the intensity of the change in the mobility of the concrete mixture depends on its storage conditions. The intensity of the change in the mobility of the concrete mixture decreases with the introduction of a complex pore former. Thus, the introduction of a complex pore former reduces the loss of mobility of the concrete mixture at plus temperature. Under the conditions of the experiment, the optimal content of the complex pore former for the compressive strength of concrete was 10...15% of the mass of cement, which was adopted in further studies. Mathematical processing of the results of these experiments established the mathematical modulus of concrete compressive strength depending on the amount of foaming agent. According to the results of the experiments, the following conclusion can be drawn: an increase in the content of the complex mineral-organic pore former by more than 10% of the mass of the "cement - mineral part of the complex pore former" system practically does not lead to a noticeable change in the density of porous concrete. Therefore, it is advisable to limit the

content of the complex mineral-organic pore former to within (10...15) % of the mass of the "cement - mineral part of the complex pore former" system.

Ключові слова: бетон, відходи гірничо-збагачувальних комбінатів, поверхнево-активна речовина

Keywords: concrete, waste from mining and beneficiation plants, surfactant

Постановка проблеми та аналіз останніх публікацій. Проведеними раніше дослідженнями [1-3] встановлено, що газобетони мають підвищені деформації усадки та невелику міцність, обмеження яких регламентується нормативними документами [4]. Згідно ж [2], введення до складу газобетону заповнювачів (наповнювачів) знижує власні деформації отриманого матеріалу. При плануванні даної групи досліджень було враховано, що, відповідно до визначення [5], бетон являє собою систему «матриця - поверхня розділу - мінеральні вclusions», у якій, для даного випадку, матрицею є пористий цементний камінь (цементне тісто), а мінеральними вclusions – частки мінеральних речовин, які в процесі структуроутворення даної системи зазнають зміни лише на своїй поверхні.

У початковій стадії структуроутворення, до тужавіння, дана система має переважно пластичні деформації. Тому, у цьому випадку, основною характеристикою процесів формування її структури є її пластичні властивості, які визначаються, згідно з [6], рухливістю й твердістю. На даному етапі структуроутворення цю дисперсну систему прийнято називати «бетонна суміш» [6], цей термін і був використаний у роботі.

У процесі твердіння розглянутої системи утворюється композиційний матеріал, пружні деформації якого, при дії зовнішнього навантаження, переважають надпластичними.

Метою даної роботи є визначення можливості підвищення міцності газобетону. Для досягнення даної мети були поставлені задачі визначити вплив на міцність при стиску газобетону комплексної добавки, яка основана на відходах гірничозбагачувальних комбінатів. На даному етапі структуроутворення дану дисперсну систему прийнято називати «бетон» [6], цей термін і був використаний у роботі.

Виклад основного матеріалу

У даній групі експериментів досліджувалися властивості дисперсної системи «в'язуча речовина – комплексний поризатор – заповнювач». Комплексний поризатор складався із пергідролу, мелених відходів гірничо-збагачувальних комбінатів і гідрофобної поверхнево-активної речовини (ПАР), у якості якої використали олеат кальцію. В якості

заповнювача використовували немелені відходи гірничо-збагачувальних комбінатів.

У зв'язку з цим, визначення оптимального, за ступенем поризації системи «гідрравлічне в'яжуче – комплексний поризатор – заповнювач», складу даного поризатора полягало у визначенні співвідношень між його компонентами (табл. 1).

Таблиця 1

Змінні параметри

Найменування змінного параметра	Позначення змінного параметра
співвідношення між компонентами газоутворювача	X_1
співвідношення вихідних компонентів при одержанні гідрофобної ПАР	X_2
співвідношення між гідрофобною ПАР і газоутворювачем	X_3
співвідношення між заповнювачем і цементом	X_4

Дослідження проводили на портландцементі ПЦ П/Б-Ш-400 (виробник ПрАТ «Хайдельберг Кривий Ріг цемент») із вмістом у ньому доменного гранульованого шлаку у кількості 35% від його маси та ШПЦ П/А-400 (виробник ПрАТ «Хайдельберг Кривий Ріг цемент») із вмістом у ньому доменного гранульованого шлаку у кількості 65% від його маси. Величина водов'язучого відношення при одержанні системи «цемент – комплексний поризатор – заповнювач» у всіх випадках була прийнята рівною 0,4.

Легкоукладність бетонної суміші, яка, для даного випадку, характеризується її текучістю, визначалася на сумішах різної рухливості. В дослідях у якості наповнювача використовували мелені залізовмісні гірські породи, а у якості заповнювача – немелені залізовмісні гірські породи.

Для приготування даного бетону застосовувалися системи, як без комплексного мінерально-органічного поризатора (КМОП), так із ним. Нормальна густина цементного тіста складала $[B/C]=0,25$. Щільність портландцементного клінкера – 3000 кг/м^3 . Щільність цементу з добавкою залізовмісних гірських порід коливалася від 3005 кг/м^3 до 3100 кг/м^3 , залежно від вмісту останнього. Питома поверхня заповнювача – F_{1mz} (немелених залізовмісних гірських порід) визначалася за формулою Ладинського [6] і складала 2258 умовних одиниць.

При проведенні експериментів змінювали склади бетонної суміші за витратою цементу, вмістом наповнювача, який входив до складу КМОП, та заповнювача (рис.1)

Обробка результатів експериментів (рис. 1), при опису складу бетонної суміші через наведену товщину шару цементного тіста – N і розрідження цементного тіста – Z , дозволила одержати математичну модель показника її текучості, яка має вигляд:

$$G=6.71+8,44 \cdot N+25 \cdot Z-298,7 \cdot N \cdot Z+628,5 \cdot N^2 \cdot Z+590,9 \cdot N \cdot Z^2-41.1 \cdot N^2-78,4 \cdot Z^2-1250,8 \cdot N^2 \cdot Z^2 \quad (1)$$

(вірогідність 95%)

де N - наведена товщина шару цементного тіста,
 Z – розрідження цементного тіста.

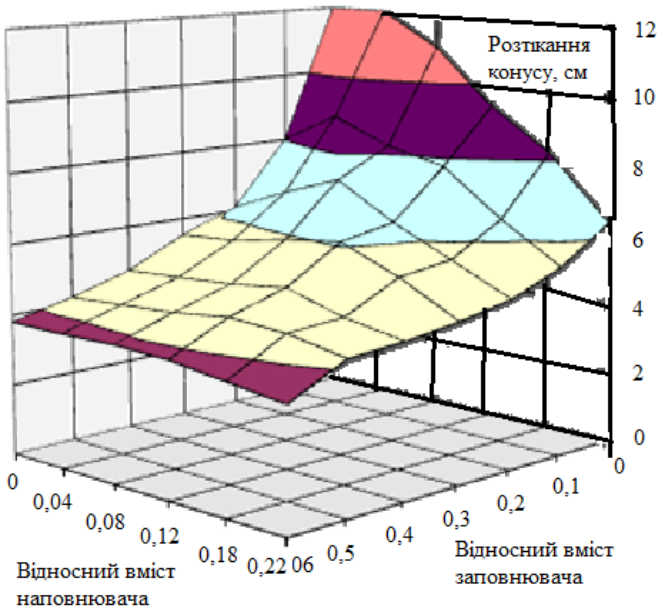


Рис. 1. Текучість бетонної суміші залежно від вмісту наповнювача та заповнювача

Аналіз результатів даних досліджень дозволяє зробити висновок про те, що наповнювач здійснює більший вплив на реологічні властивості бетонної суміші, ніж заповнювач, а комплексний поризатор виконує роль пластифікуючої добавки.

Життєздатність бетонних сумішей. Технологічні властивості бетонної суміші в значній мірі визначаються її життєздатністю, тобто

здатністю зберігати свої технологічні властивості протягом певного проміжку часу.

Життєздатність бетонної суміші визначалася шляхом виміру осадки конуса бетонної суміші – ОК на протязі певного часу її існування при температурі навколишнього середовища (290 ± 2)К.

В умовах експерименту спостерігається помітне зменшення текучості суміші через одну хвилину після її виготовлення як з КМОП, так і без нього (рис. 2). Вочевидь, це є наслідком початку газоутворення, що тягне за собою підвищення температури суміші, яке й викликає зменшення її текучості.

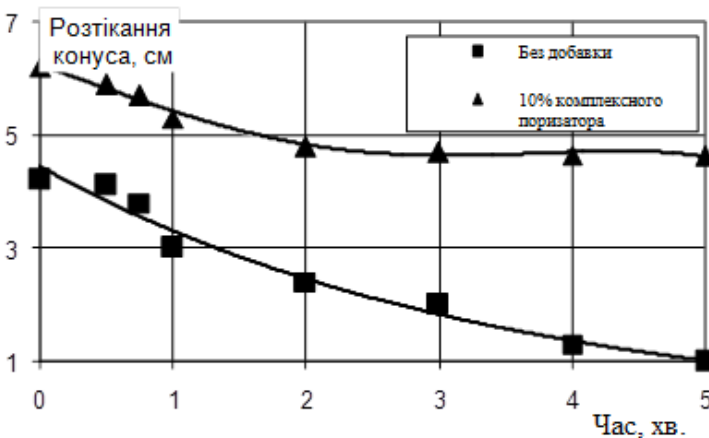


Рис. 2. Зміна в часі текучості бетонної суміші, що зберігалася при температурі (290 ± 2)К

(склад бетону – $1:0,57:0,28=C:V:Зап.$ Ц – витрата цементу; В – витрата води; Зап. – витрата заповнювача)

На підставі результатів даних експериментів можна зробити висновок, що інтенсивність зміни рухомості бетонної суміші залежить від умов, у яких вона зберігається. Інтенсивність зміни рухомості бетонної суміші зменшується при введенні комплексного поризатора (рис. 2).

Таким чином, введення комплексного поризатора знижує втрату рухливості бетонною сумішшю при додатній температурі.

Це можна пояснити тим, що компоненти комплексного поризатора переводять воду у зв'язаний стан, що зменшує вплив на її властивості температури, крім цього, даний комплексний поризатор гальмує

гідратацію мінералів портландцементу в початковий період, що також сприяє уповільненню втрати рухливості бетонною сумішшю.

Обробка результатів експериментів дозволила одержати математичну модель зміни текучості бетонної суміші в часі, яка має вигляд:

$$G = G_0(1 - 0.236 \cdot \tau + 0.015 \cdot \tau^2) \quad (2)$$

де τ – вік бетонної суміші,

G_0 – показник текучості бетонної суміші при температурі $(290 \pm 2) \text{K}$ відразу після її готування.

Міцність бетону, згідно з [5,6], є одним із основних показників його якості.

Як відомо [7-9], оптимальний склад і вміст комплексних добавок за міцністю цементного каменю й міцністю бетону може відрізнитися, що й зумовило необхідність проведення даної групи експериментів, у якій досліджувалася залежність міцності бетону при стиску від складу комплексного поризатора.

Визначення оптимального складу комплексного поризатора та його вмісту в бетоні здійснювалося методом однофакторного експерименту. При проведенні досліджень було поставлено дві групи експериментів: у першій групі визначалося оптимальне співвідношення між мінеральними компонентами поризатора – X_1 (див. табл. 1), у другій – вміст даного поризатора в бетоні.

У всіх групах експериментів за параметр оптимізації (функцію відгуку) приймалася міцність бетону при стиску. Випробування здійснювали на стандартних зразках-кубах з розміром сторін 150 мм за стандартними методиками після витримування зразків протягом 28 доби в нормальних умовах.

Дослідження були проведені на портландцементі при різних складах бетону при вмісті гідрофобної ПАР - олеату кальцію в кількості 0,05% від маси цементу.

Обробка результатів досліджень даної групи експериментів на ЕОМ з використанням програми «Excel» дозволила одержати математичну модель міцності бетону залежно від співвідношення мінеральних складових у комплексному поризаторі

$$R = 560 + 510 \cdot X_1 + 295 \cdot X_1^2 - 75 \cdot X_1^3 \quad (3)$$

де X_1 – за табл. 1,

при цьому оптимальна величина параметра, що змінюється, становить $X_{opt} = 35$.

В умовах експерименту оптимальний вміст комплексного поризатора за міцністю бетону при стиску (рис. 3) склав 10...15% від маси цементу, що й було прийнято в подальших дослідженнях.

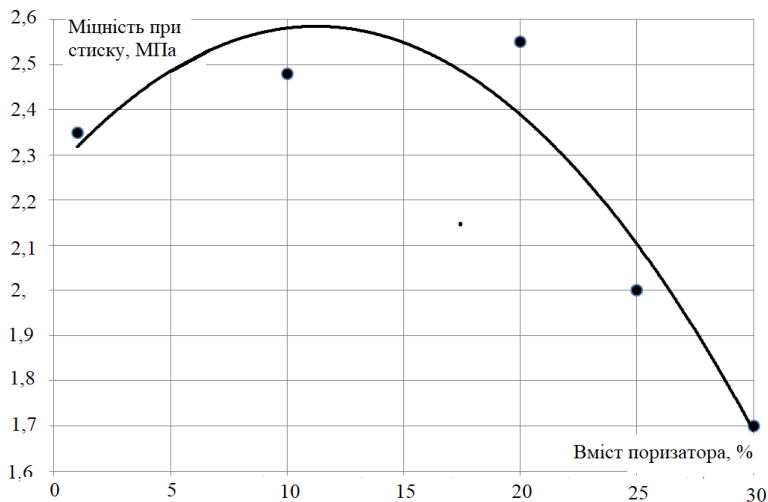


Рис. 3. Вплив кількості поризатора на міцність бетону складу 1:0,15:0,28 (цемент – наповнювач – заповнювач) за нормальних умов твердіння при В/Ц=0,55

Математичною обробкою результатів експериментів встановлена математична залежність міцності бетону, що містить комплексний поризатор, при стиску від розрідження цементного тіста – Z , що має вигляд:

$$R_{\delta\delta} = R_{цд} \cdot \exp(0,08 - 1,34 \cdot Z^2), \quad (4)$$

де $R_{цд}$ – міцність цементного каменю, що містить комплексний поризатор.

Математичною обробкою результатів даних експериментів встановлена математична модель міцності бетону при стиску від кількості поризатора:

$$R = 0,0108 \cdot X^4 - 0,1465 \cdot X^3 + 0,5647 \cdot X^2 - 0,5237 \cdot X + 1,1033.$$

Зміна вмісту цементного каменю – m у бетоні неоднозначно позначається на зміні його міцності. Обробкою результатів експериментів

(рис. 4.) встановлено, що при вмісті цементного каменю в кількості 32% від його об'єму забезпечується максимальна міцність бетону.

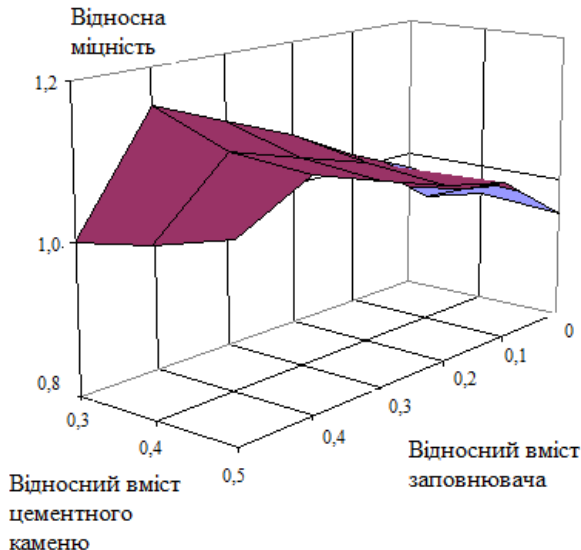


Рис. 4. Відносна міцність бетону при витраті КМОП 10%

З результатів даних експериментів можна зробити такий **висновок**: збільшення вмісту комплексного мінерально-органічного поризатора понад 10% від маси системи «цемент - мінеральна частина комплексного поризатора» практично не призводить до помітної зміни щільності ніздрюватого бетону. Тому доцільно обмежити вміст комплексного мінерально-органічного поризатора в межах (10...15)% від маси системи «цемент - мінеральна частина комплексного поризатора».

References

1. Symonov M.Z. Osnovy tekhnolohyy lehkykh betonov. M.: Stroyizdat, 1973. 584 s.
2. Borodskaya R.M. Danylov B.P. Bezavtoklavnyy hazozoloshlakobeton. K.: Hosstroyzdat USSR, 1964. – 78 s.
3. Kevesh P.D.. Эршлер Іа Hazobeton na perhydrole. M.: Hosstroyzdat, 1961. – 86 s.
4. Budivelni materialy. Betony nizdriuvati. Zahalni tekhnichni umovy: DSTU B V.2.7-45:2010 [chynnyi vid 2010-11-01]. – K.: Minreghyonbud Ukrainy, 2010. – 41 s.
5. Solomatov V.Y. Virovoi V.N., Dorofeev V.S., Syrenko A.V. Kompozytsyonnye stroitelnye materialy u konstruksyy ponyzhennoi materialoemkosti. – K. : Budyvelnik, 1991. – 144 s.

6. Bazhenov Yu.M. Tekhnolohiya betona. - M.: Vissh. shk., 1978. - 449 s.

7. Shyshkin A.A. Spetsyalnye betony dlia usyleniya stroytelnykh konstruksiyi, ekspluatyruuiushchykhisia v uslovyakh deistviya ahressyvnnykh sred: dys..... dokt. tekhn. nauk: 05.23.05. - Kryvoi Roh, 2003. - 336 s.

8. Nabyl Abdulla Akhmed Al-Vasaby Tekhnolohiya y svoistva dorozhnoho tsementobetona v uslovyakh suchoho zharkoho klymata: dys.....kand. tekhn. nauk: 05.23.05 «Stroytelnie materialy y yzdelyi». – Kryvoi Roh, 2002. – 166 s.

9. Nastych O.B. Vlasyvosti i tekhnolohiia hazobetonu, modyfikovanoho oksydamy zaliza: dys.....kand. tekhn. nauk: 05.23.05. – Kryvyi Rih, 2008.

Література

1. Симонов М.З. Основы технологии легких бетонов / М.З. Симонов. - М.: Стройиздат, 1973. – 584 с.

2. Бородская Р.М. Безавтоклавный газозолошлакобетон / Р.М. Бородская, Б.П. Данилов. К.: Госстройиздат УССР, 1964. – 78 с.

3. Кевеш П.Д. Газобетон на пергидроле / П.Д. Кевеш, Э.Я. Эршлер. М.: Госстройиздат, 1961. – 86 с.

4. Будівельні матеріали. Бетони ніздрюваті. Загальні технічні умови: ДСТУ Б В.2.7-45:2010 [чинний від 2010-11-01]. – К.: Мінрегіонбуд України, 2010. – 41 с.

5. Соломатов В.И. Композиционные строительные материалы и конструкции пониженной материалоемкости / В.И. Соломатов, В.Н. Выровой, В.С. Дорофеев, А.В. Сиренко. – К. : Будивельник, 1991. – 144 с.

6. Баженов Ю.М. Технология бетона / Ю.М. Баженов. - М.: Высш. шк., 1978. - 449 с.

7. Шишкин А.А. Специальные бетоны для усиления строительных конструкций, эксплуатирующихся в условиях действия агрессивных сред: дис..... докт. техн. наук: 05.23.05 / Шишкин Александр Алексеевич. - Кривой Рог, 2003. - 336 с.

8. Набиль Абдулла Ахмед Аль-Васаби Технология и свойства дорожного цементобетона в условиях сухого жаркого климата: дис.....канд. техн. наук: 05.23.05 «Строительные материалы и изделий» / Абдулла Ахмед Аль-Васаби Набиль. – Кривой Рог, 2002. – 166 с.

9. Настич О.Б. Властивості і технологія газобетону, модифікованого оксидами заліза: дис.....канд. техн. наук: 05.23.05 «Будівельні матеріали та вироби» / Настич Олег Борисович. – Кривий Ріг, 2008.

ОБЛАСТЬ ЗАСТОСУВАННЯ ТА ПЕРСПЕКТИВИ ВИКОРИСТАННЯ LVL-КОМПОЗИТІВ В УКРАЇНІ

FIELD OF APPLICATION AND PROSPECTS OF THE USE OF LVL-COMPOSITES IN UKRAINE

Гомон Св.Св., д.т.н., проф. (Національний університет водного господарства та природокористування, Рівне), Свиридюк О.Б., аспірант (Луцький національний технічний університет, Луцьк)

Homon S.S., Dh.D., professor (National University of Water and Environmental Engineering, Rivne), Svyrydiuk O., postgraduate (Lutsk National Technical University, Lutsk)

Проаналізовано стан наукових досліджень LVL-композитів за кордоном та в Україні. Висвітлено область застосування та перспективи використання LVL-композитів в Україні та за її межами. Наведено область подальших перспективних досліджень LVL-композитів.

Domestic and foreign researchers carried out a detailed analysis of the work of LVL composites abroad and in Ukraine. The field of application and prospects for the use of LVL composites in Ukraine and abroad are highlighted. The area of further perspective research of LVL-composites is given.

Wood is a valuable natural material, and the world's reserves are decreasing significantly every year. Materials, products, elements, and structures based on the wood of various species are wildly popular, both in Ukraine and far beyond its borders. Ukraine is one of the leading European exporters of raw wood products. Many times in everyday life, at work, and in public places, our eyes are pleased with products made of wood.

Equally important factors are studies of different mechanical characteristics of wood-based materials that work under different types of loads and in different environments. Materials, products, elements, and structures made of glued and modified wood (various composites), including those based on wood veneer, are gaining great popularity. They are used in many industries, including construction. These include LVL composites.

A composite is a material made of two or more components and has new improved properties compared to others. Composite materials usually imitate the best characteristics of the components: increased strength, reduced deformability, resistance to corrosion, lightweight, thermal insulation, etc. Among the main modern wood-based composite materials are: Laminated Veneer Lumber, (LVL), Cross-Laminated Timber (CLT) i Glued Laminated Timber (GLT).

The most promising and innovative among them in the conditions of Ukrainian realities is laminated veneer lumber. LVL is a material made from pine and spruce veneers that are glued together to create a material that is primarily strong and dimensionally stable.

In the future, it is necessary to conduct experimental and theoretical studies of the mechanical properties of the above-mentioned composites under different operating conditions and types of loading from the beginning of loading to destruction, as well as to propose a calculation method.

Ключові слова: *деревина, LVL-композити, дерев'яний шпон, механічні характеристики, композиційні матеріали.*

Keywords: *wood, LVL-composites, wood veneer, mechanical characteristics, composite materials.*

Постановка проблеми. Деревина є цінним природним матеріалом, запаси якого в світі з кожним роком значно зменшуються. Матеріали, вироби, елементи та конструкції на основі деревини різних порід користуються шаленою популярністю як в Україні, так і далеко за її межами. Україна є одним із провідних європейських експортерів сировинної продукції деревини. Неодноразово в побуті, на роботі, в громадських місцях наше око радують вироби з деревини.

Не менш важливими факторами залишаються дослідження різних механічних характеристик матеріалів на основі деревини, які працюють за різних видів навантажень та в різних середовищах. На даний час великої популярності набувають матеріали, вироби, елементи та конструкції з клеєної та модифікованої деревини (різні композити), в тому числі на основі дерев'яного шпону. Вони застосовуються в багатьох галузях промисловості, в тому числі і будівництві. До таких можна віднести і *LVL-композити*.

Отже, в даній статті ми спробуємо навести область застосування та перспективи використання в Україні та за її межами таких нових композитів.

Аналіз відомих досліджень і публікацій. У нашій країні та світі досить широко використовується клеєна деревина, в тому числі у вигляді дверей, вікон, меблів, а також несучих елементів та конструкцій - балок, колон, ферм [1-9]. Не менш популярною є модифікована деревина [10, 11].

В останні роки набуває все більшої популярності композиційний матеріал на основі дерев'яного шпону, який склеєний пошарово тонкими листками. З нього виготовляють, як правило, несучі елементи конструкцій, які називають *LVL-композитами* [12-14].

В нашій країні виготовляють *LVL-компози́ти* частково, тому вони практично і не досліджені, в тому числі їхні механічні характеристики за різних умов експлуатації.

Метою даної статті є встановити область застосування та перспективи використання *LVL-компози́тів* у різних галузях економіки нашої країни.

Основна частина. Цільна деревина є природним матеріалом, який має цілий перелік переваг, що зумовлює його різноманітне використання у різних галузях економіки. Однак цей природний матеріал має і низку значних недоліків, що суттєво обмежує його використання як матеріалу. Серед основних недоліків цільної деревини є: сучкуватість, біологічна нестійкість та горючість (без додаткової обробки спеціальними хімічними речовинами), здатність до утворення тріщин, анізотропія та асиметрія деревини, обмеженість у розмірах готових виробів.

Тому все частіше застосовуються матеріали на основі композитів. Композит - це матеріал, виготовлений з двох або більше компонентів (поєднаних у макроскопічному масштабі) і має нові покращені властивості в порівнянні з іншими. Композитні матеріали зазвичай наслідують найкращі характеристики компонентів: підвищена міцність, понижена деформівність, стійкість до корозії, невелика вага, термоізоляція, тощо. Серед основних сучасних композитних матеріалів на основі деревини є: клеєна пошарово деревина зі шпону (англ. Laminated Veneer Lumber, LVL), поперечно-клеєна деревина (англ. Cross-Laminated Timber, CLT) і пошарово-клеєна деревина (англ. Glued Laminated Timber, GLT).

Найбільш перспективний та інноваційний серед них в умовах українських реалій - це клеєна пошарово деревина зі шпону. LVL – це матеріал, виготовлений із шпону сосни та ялини (залежно від виробника, можуть бути й інші породи дерев), які склеюються між собою, щоб створити матеріал, який є перш за все міцним та стабільним у розмірах.

LVL можна назвати відносно новим та інноваційним матеріалом на основі деревини тільки для України, оскільки в світі виробництво даного матеріалу бере свій початок із середини 50-х років. Технологія його виробництва дозволяє обробляти малоцінну деревину (наприклад, дрібні дерева), яку не можна використовувати для виробництва цільної деревини. За умовами використання LVL можна застосовувати як за стандартної вологості, так і за підвищеної.

LVL, як і фанера, відноситься до матеріалів, виготовлених зі шпону, який в свою чергу виготовляється з колод круглої форми. Потім листи шпону склеюють шарами по товщині клеєм на основі фенолоформальдегідних смол, а по довжині з'єднують за допомогою

компресійних нахлесткових з'єднань. Основним продуктом, отриманим у результаті склеювання листів дерев'яного шпону, зазвичай товщиною близько 3 мм, є будівельна плита LVL товщиною від 21 до 90 мм, максимальною шириною 2500 мм і довжиною 18 000 мм.

Завдяки видаленню дефектів деревини, таких як сучки, тріщини або скручування волокон, LVL у процесі виробництва характеризуються кращими параметрами міцності, ніж у випадку з цільною деревиною. Крім того, LVL характеризується високим ступенем рівномірності властивостей у поздовжньому і поперечному напрямках. Таким чином, матеріал LVL є сучасним конструкційним будівельним матеріалом, який має такі характеристики:

- широкий асортимент доступних перерізів і можливість отримати перерізи з розмірами більшими, ніж для цільної деревини;
- простота обробки та складання конструкцій;
- точність виконання і висока якість поверхні, яка часто не потребує додаткової обробки;
- однорідність та покращені механічні властивості у порівнянні з суцільною деревиною;
- стабільність розмірів (низький рівень вологості і пов'язане з цим зниження усадки дозволяє обмежити деформацію конструкції в результаті зміни вологості);
- ефективне використання матеріалу;
- низький коефіцієнт теплопровідності (нижчий, ніж у суцільної деревини);
- легкий захист від гниття та вогню.

Незважаючи на те, що у світі є багато виробників LVL, на даний момент в Україні небагато виробників виготовляють матеріали такого типу. Єдиний завод з виробництва цього матеріалу в Польщі знаходиться в місті Чарна Вода (Поморське воєводство). Основною продукцією LVL, що виробляється на цьому заводі, є два види плит LVL, тобто LVL R і LVL X. Плита LVL R виготовляється лише зі шпону, наклеєного паралельно довжині плити, тоді як плита LVL X має близько 20% шпону, волокна якого розташовані впоперек його довжини, завдяки чому він характеризується більшою стабільністю розмірів і жорсткістю у поперечному напрямку. Тому типовим застосуванням панелей LVL R є поздовжні конструктивні елементи, наприклад, балки, крокви. Панелі LVL X використовуються, серед іншого, в якості обшивки дахів, стель і стін, як несучі плити, так і плити жорсткості. Структура клеєного бруса зі шпону наведена на рис. 1.

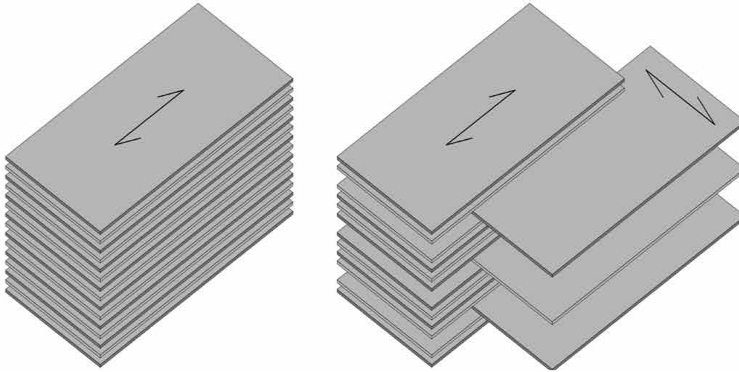


Рис. 1. Структура клеєного бруса зі шпону

Плити LVL також є напівфабрикатом для виготовлення несучих елементів з клеєного перерізу - балок LVL, а також двотаврових балок. Завдяки кромковому розташуванню шпону LVL має високу несучу здатність, що дозволяє зменшувати поперечні перерізи.

Враховуючи вищенаведені властивості LVL, можна зробити висновок, що даний матеріал має великі перспективи використання в Україні в якості будівельного матеріалу в каркасних і традиційних конструкціях.

Застосування LVL-композитів можливе у різних сферах будівництва, зокрема, в промислових будівлях (рис.2), в елементах покрівель (рис.3), несучих конструкціях громадських будівель (рис.4), альтанок (рис.5), складів (рис.6).



Рис. 2. Промислова будівля з використанням LVL-композитів



Рис. 3. Елементи покрівлі з використанням LVL-композитів



Рис. 4. Несучі конструкції громадських будівель із використанням LVL-композитів (конференц-зала)



Рис. 5. Несучі конструкції альтанок з використанням LVL-композитів



Рис. 6. Склад готової продукції з використанням LVL-композитів

У подальшому необхідно провести експериментально-теоретичні дослідження механічних властивостей вище наведених композитів за різних умов експлуатації та видів навантаження, від початку завантаження до повного руйнування, а також запропонувати методику розрахунку.

Висновки

1. Проаналізовано стан наукових досліджень LVL-композитів за кордоном та в Україні.
2. Висвітлено область застосування та перспективи використання LVL-композитів в Україні та за її межами.
3. Наведено область подальших перспективних досліджень LVL-композитів.

References

1. Mascia, N. T., Bertoline, C. A. A., Basaglia, C. D., Donadon, B. F.(2018). Numerical analysis of glued laminated timber beams reinforced by Vectran fibers. *Ambiente Construído, Porto Alegre*, 18(3), 359-373.
2. Kulman, S., Boiko, L., Bugaenko, Ya., & Zagursky, I. (2019). Finite element simulation the mechanical behaviour of prestressed glulam beams. *Scientific Horizons*, 12(83), 72-80.
3. Gomon, S., Gomon, P., Korniychuck, O., Homon, S., Dovbenko, T., Kulakovskiy, L., & Boyarska, I. (2022). Fundamentals of calculation of elements from solid and glued timber with repeated oblique transverse bending, taking into account the criterion of deformation. *Acta Facultatis Xylogologiae Zvolen*, 64(2), 37-47.
4. Gomon, S.S., Gomon, P., Homon, S., Polishchuk, M., Dovbenko, T., & Kulakovskiy, L. (2022). Improving the strength of bending elements of glued wood.

Procedia Structural Integrity, 36, 217-222.

5. Gomon S., Pavluk A., Gomon P., & Podhorecki A. (2019). Complete deflections of glued beams in the conditions of oblique bend for the effects of low cycle loads. *AIP Conference Proceedings*, 2077, article number 020021.

6. Sobczak-Piąstka, J., Gomon, S.S., Polishchuk, M., Homon, S., Gomon, P., & Karavan, V. (2020). Deformability of glued laminated beams with combined reinforcement. *Buildings* 10(5), article number 92.

7. Gomon S.S., Polishchuk M., Homon S., Gomon P., Vereshko O., Melnyk Yu., Boyarska I. (2020). Rigidity of combined reinforced glued wood beams. *AD ALTA: Journal of Interdisciplinary Research*, 11(1). Pp. 131-133.

8. Homon Sv.Sv., Homon Sv.St., Karavan V., Kulakovs'kyi L. Rezultaty eksperymental'nykh doslidzhen' kleyenoyi derevyny konstruktsiynykh rozmiriv za zhorstkoho rezhymu viprobuvan'. Visnyk L'vivs'koho natsional'noho universytetu pryrodokorystuvannya. Seriya «Arkhitektura ta budivnytstvo». L'viv: LNUP, 2022. №23. S. 45-48.

9. Gomon S.S., Pilipaka L.M. Experimental studies of the glued wood strength and deformation properties under the hard test mode. Vcheni zapysky Tavriys'koho natsional'noho universytetu imeni V.I. Vernads'koho. Seriya: Tekhnichni nauky. Kyiv, 2020. Tom 31 (70). № 3. CH.2. C. 130–135.

10. Yasniy, P., Homon, S., Iasnii, V, Gomon, S.S., Gomon, P., & Savitskiy, V. (2022). Strength properties of chemically modified solid woods. *Procedia Structural Integrity*, 36, 211-216.

11. Yasniy P., Gomon S. Timber with improved strength and deformable properties. *Scientific Journal of Ternopil National Technical University*. Ternopil: TNTU, 2020. Vol 99. No3. P. 17–27.

12. Homon Sv. Sv. Polipshennya mitsnisnykh ta deformivnykh vlastyvostry sutsil'noyi derevyny ta kompozytsiynykh materialiv na yiyi osnovi: dys. ... dokt. tekhn. nauk: 01.02.04. Ternopil', 2021. 387 s.

13. Svyrydyuk O.B., Homon Sv.Sv. Perspektyvy vykorystannya kompozytiv na osnovi derev"yanoho shponu v Ukraini. Fizyka i khimiya tverdoho tila. Stan, dosyahnennya i perspektyvy : Materialy VII Vseukrayins'koyi naukovopraktychnoyi konferentsiyi zdobuvachiv vyshchoyi osvity ta molodykh vchenykh, 21-22 zhovtnya 2022 r., m. Luts'k. Luts'k: IVV LNTU, 2022. S. 43-44.

14. Buryak A.O., Mykhalovs'kyi D.V. Perevahy i nedoliky LVL-balok v porivnyanni z balkamy zi zvychnoyi kleyenoyi derevyny. Novi tekhnolohiyi v budivnytstvi. Kyiv: NDIBK, 2015. №29. S. 29-34.

Література

1. Mascia, N. T., Bertoline, C. A. A., Basaglia, C. D., Donadon, B. F.(2018). Numerical analysis of glued laminated timber beams reinforced by Vectran fibers. *Ambiente Construido, Porto Alegre*, 18(3), 359-373.

2. Kulman, S., Boiko, L., Bugaenko, Ya., Zagursky, I. (2019). Finite element simulation of the mechanical behaviour of prestressed glulam beams. *Scientific Horizons*, 12(83), 72-80.

3. Gomon, S., Gomon, P., Korniychuck, O., Homon, S., Dovbenko, T., Kulakovskiy, L., & Boyarska, I. (2022). Fundamentals of calculation of elements from solid and glued timber with repeated oblique transverse bending, taking into account the criterion of deformation. *Acta Facultatis Xylogologiae Zvolen*, 64(2), 37-47.

4. Gomon, S.S., Gomon, P., Homon, S., Polishchuk, M., Dovbenko, T., & Kulakovskiy, L. (2022). Improving the strength of bending elements of glued wood. *Procedia Structural Integrity*, 36, 217-222. <https://doi.org/10.1016/j.prostr.2022.01.027>.

5. Gomon S., Pavluk A., Gomon P., & Podhorecki A. (2019). Complete deflections of glued beams in the conditions of oblique bend for the effects of low cycle loads. *AIP Conference Proceedings*, 2077, article number 020021.

6. Sobczak-Piąstka, J., Gomon, S.S., Polishchuk, M., Homon, S., Gomon, P., & Karavan, V. (2020). Deformability of glued laminated beams with combined reinforcement. *Buildings* 10(5), article number 92.

7. Gomon S.S., Polishchuk M., Homon S., Gomon P., Vereshko O., Melnyk Yu., Boyarska I. (2020). Rigidity of combined reinforced glued wood beams. *AD ALTA: Journal of Interdisciplinary Research*, 11(1). Pp. 131-133.

8. Гомон Св.Св., Гомон Св.Ст., Караван В., Кулаковський Л. Результати експериментальних досліджень клеєної деревини конструкційних розмірів за жорсткого режиму випробувань. *Вісник Львівського національного університету природокористування. Серія «Архітектура та будівництво»*. Львів: ЛНУП, 2022. №23. С. 45-48.

9. Gomon S.S., Pilipaka L.M. Experimental studies of the glued wood strength and deformation properties under the hard test mode. *Вчені записки Таврійського національного університету імені В.І. Вернадського. Серія: Технічні науки*. Київ, 2020. Том 31 (70). № 3. Ч.2. С. 130–135.

10. Yasniy, P., Homon, S., Iasnii, V., Gomon, S.S., Gomon, P., & Savitskiy, V. (2022). Strength properties of chemically modified solid woods. *Procedia Structural Integrity*, 36, 211-216.

11. Yasniy P., Gomon S. Timber with improved strength and deformable properties. *Scientific Journal of Ternopil National Technical University*. Ternopil: TNTU, 2020. Vol 99. No3. P. 17–27.

12. Гомон Св. Св. Поліпшення міцнісних та деформівних властивостей суцільної деревини та композиційних матеріалів на її основі: дис. ... докт. техн. наук: 01.02.04. Тернопіль, 2021. 387 с.

13. Свиридюк О.Б., Гомон Св.Св. Перспективи використання композитів на основі дерев'яного шпону в Україні. Фізика і хімія твердого тіла. Стан, досягнення і перспективи : Матеріали VII Всеукраїнської науково-практичної конференції здобувачів вищої освіти та молодих вчених, 21-22 жовтня 2022 р., м. Луцьк. Луцьк: ІВВ ЛНТУ, 2022. С. 43-44.

14. Буряк А.О., Михайловський Д.В. Переваги і недоліки LVL-балок в порівнянні з балками зі звичайної клеєної деревини. Нові технології в будівництві. Київ: НДІБК, 2015. №29. С. 29-34.

**ТЕОРЕТИЧНІ АСПЕКТИ ПЛАНУВАННЯ ТА УПРАВЛІННЯ
ЛОГІСТИЧНИМИ СИСТЕМАМИ ВИКОРИСТАННЯ ВІДХОДІВ
НА РІВНІ ТЕРИТОРІАЛЬНИХ ГРОМАД**

**THEORETICAL ASPECTS OF PLANNING AND MANAGEMENT OF
THE LOGISTICS SYSTEMS OF WASTE USE AT THE LEVEL OF
TERRITORIAL COMMUNITIES**

**Дзюбинська О.В., к.е.н., доцент, Дзюбинський А.В., к.е.н., доцент,
Смаль М.В., к.т.н., доцент (Луцький національний технічний
університет)**

**Dziubynska O.V., Ph.D. in Economics, Associate Professor,
Dziubynskyi A.V., Ph.D. in Economics Associate Professor, Smal M.V.,
Ph.D. in Engineering, Associate Professor (Lutsk National Technical
University)**

Інвестиції в окремі елементи послуг логістики ТПВ без бачення майбутньої системи кругової логістики суттєво не покращать ситуацію із накопиченням сміття. Кругова логістика відходів має характеризуватися високою ефективністю, що потребує належного інформаційного потоку між різними учасниками ланцюга переробки. Це дозволить забезпечити всіх зацікавлених суб'єктів інформацією щодо управління відходами, створити умови для перерозподілу матеріальних потоків, оптимізувати маршрути утилізації тощо.

The investments in individual elements of solid waste logistics services without a vision of the future circular logistics system will not significantly improve the situation with waste accumulation. Communities may invest their funds in the purchase of new special vehicles for the transportation of garbage, but at the same time do not know about their compatibility with future collection systems. This is especially important for UTC, which does not have its processing capabilities. In some places, communities have introduced separate garbage collection, but people are not ready for it. This does not allow for quickly optimize the logical parameters of the system.

Based on their observations, the scientists determined that cities and townships have more or less satisfactory ecological material and technical base, rural settlements are risk groups, whereas direct private farms of farmers are critical. In rural areas, the logistic system of waste management is not sufficiently developed. This indicates the relevance of problems in the solid waste management field.

Household waste collection points focus on the separate collection of various components of waste – paper, metal, plastic, glass, textiles, wood, bulky, household, and hazardous waste, etc. These points should replace container sites where the waste will

accumulate. Circular logistics of such waste should be characterized by high efficiency, which requires proper information flow between various participants in the waste processing chain. This will provide all interested parties the information on waste management, create conditions for the redistribution of material flows, optimize waste disposal routes, etc.

The material flow in this area represents the interconnection of all operations that occur during the reception, processing, placement of waste, and redistribution of resources. Knowing the sequence of material flows in cyclical logistics is necessary to find ways to minimize logistics costs and optimize time parameters. An important issue is the establishment of waste collection in order not to increase costs. The main role in this should be played is the residents' awareness and responsibility for household waste sorting and the availability of the independent garbage collection infrastructure.

Ключові слова: побутові відходи, зворотна логістика, управління відходами, екологістика.

Keywords: household waste, reverse logistics, waste management, environmental logistics.

Вступ. Що стосується локальних територій регіонів країни, то відсутність повної логістичної системи неможливо компенсувати спробами постійного налагодження збору та вивезення твердих побутових відходів (ТПВ). Інвестиції в окремі елементи послуг мобільної логістики ТПВ, без бачення майбутньої системи кругової логістики, суттєво не покращать ситуацію. Так, наприклад, громади можуть вкладати власні кошти в придбання нових спецавтомобілів для перевезення відходів, не знаючи при цьому про їх сумісність із майбутніми системами збору. Це особливо важливо для ОТГ, які не мають власних переробних можливостей. Подекуди громади запровадили роздільний збір сміття, але люди до цього ще не готові, через що не можна швидко оптимізувати логічні параметри системи.

Аналіз останніх досліджень. Логістична інфраструктура потребує значних капіталовкладень, але сприяє зростанню потенціалу використання ресурсів побутових відходів. Довжина ресурсоцінних логістичних маршрутів ТПВ впливає на коефіцієнти використання пробігу транспортних засобів та витрати на збір і транспортування. Роботи багатьох авторів стосувалися вирішення питань організації логістики відходів:

О. Хандогена, З. Герасимчук та Н. Хвищун, С. Бойченко, К. Лейда та О. Іванченко, М. Григорак та Л. Савченко, О. Шатteman, І. Кочешкова та Н. Трушкіна, Ю.Фесіні та ін.

Мета статті - вирішення проблеми логістики у сфері поводження із твердими побутовими відходами на регіональному рівні.

Виклад основного матеріалу. Логістика відіграє важливу роль у сфері поводження з відходами. Однією з причин відсутності практик

поводження та переробки ТПВ у малих населених пунктах є відсутність логістичних процесів, на що вказує О. Хандогена [1]. Львівські науковці наголошують на важливості вивчення екологічної та циркулярної логістики для зменшення небезпеки, пов'язаної з нагромадженням сміття. Зосереджуючись на екологічних аспектах логістики, вони запропонували виділяти рівні екологічної логістики: задовільний, ризикований і критичний. На основі спостережень науковці визначили, що селища міського типу мають задовільний рівень екологічної матеріально-технічної бази, сільські поселення – ризикований, а приватні фермерські господарства – критичний. Дослідники підкреслюють, що в сільській місцевості недостатньо розвинена логістична система поводження з відходами, що свідчить про актуальність проблем у цій сфері.

Науковці акцентують увагу на екологістиці, стверджуючи, що її завдання зводиться до ефективного переміщення відходів на утилізацію або безпечне зберігання. Варто зазначити, що позиціонування логістики в екологічно орієнтованій сфері поводження з ТПВ пов'язане з необхідністю підкреслити суто природозберігаюче значення проблем відходів.

З. Герасимчук та Н. Хвищун у переліку екологічних логістичних об'єктів виокремлюють матеріальні потоки, складовими яких є відходи та вторинні ресурси для переробки. На думку дослідників, метою науки про навколишнє середовище є інтеграція та гармонізація екологічних, соціальних та економічних аспектів у межах регіональних логістичних систем з метою досягнення екоорієнтованого логістичного менеджменту для регіонального розвитку.

С. Бойченко, К. Лейда та О. Іванченко спеціалізуються на зворотній логістиці у сфері поводження з ТПВ. На думку вчених, це пов'язано з відновленням вторинних матеріальних ресурсів. У той же час наголошується на політиці, яка підтримує збереження ресурсів. Відповідно, виділено поняття «зворотна логістика». Її функції зводяться до відновлення продукції, збереження ресурсів, переробки, заміни матеріалів, їх відновлення та повторного використання.

М. Григорак та Л. Савченко невід'ємною частиною традиційної логістики вважають зворотну логістику, процес повернення зі сфери споживання у сферу виробництва та утилізації товарів, які можуть бути перепродані, повторно використані чи відремонтовані. Метою зворотної логістики є зменшення необґрунтованого споживання ресурсів, переробка товарів, непридатних для використання за призначенням на інші види ресурсів, утилізація відходів [3].

Використання інструментів зворотної логістики не є достатньою умовою комплексної утилізації відходів. Як зазначають І. Кочешкова та Н. Трушкіна, необхідно створити цілісну логістичну систему, що включає збір, зберігання, утилізацію та важливі об'єкти обслуговування системи –

інформацію, маркетинг, транспорт, комерцію [4]. На думку Т. Наконечної та Л. Мастеляк, на рівні регіону варто приділити особливу увагу оптимізації побудови зворотних логістичних ланцюгів та утилізації побутових відходів [5].

Логістичний ланцюжок поводження з побутовими відходами, за твердженням Ю. Фесіни, реалізується у комплексній логістичній системі території, яка має включати первинну класифікацію побутових відходів, їх збір та вивіз. Це підтверджує досвід Угорщини, де більшість заходів регіональної системи управління відходами базується на логістичних елементах, а саме: функціонування щотижневої системи вивезення відходів; забезпечення сучасним автотранспортним обладнанням; впровадження єдиної контейнерної системи; організація оптимальних маршрутів і графіків збирання та вивезення відходів, зростання частки суб'єктів, які займаються поводженням з відходами.

Виходячи з різноманітних назв логістичних функцій у сфері поводження з відходами, зазначимо, що варто почати із сутності логістики. Ми розуміємо це як процес планування, впровадження, контролю та зберігання потоку сировини на основі оптимізації витрат, часу для задоволення попиту клієнтів на шляху логістичного потоку (від точки створення до точки споживання). Логістичні процеси в циркулярній економіці не обмежуються рухом готової продукції, первинної сировини або відходів і вторинних ресурсів. У циркулярній економіці потік товарів і сировини є регулярним, то й функції логістики працюють постійно. У сфері управління відходами логістика забезпечує належне функціонування процесів. Вона включає первинну ресурсну логістику, яка забезпечує потік первинних товарів, і логістику, представлену вторинними ресурсами та продуктами переробки. Перший потік можна назвати базовим або прямим. На нашу думку, це не закінчується доставкою товарів, а обслуговуванням потоків відходів, які, згідно з лінійною моделлю економіки, потрапляють на звалища, оскільки вважаються незворотними відходами. У моделі кругової економіки другий потік можливий, коли фізичний потік відходів знаходить своє продовження у сортуванні та розподілі ресурсів, придатних для подальшого використання.

Розглянемо зміст матеріального потоку в циклічній логістиці (рисунок 1). Він являє собою взаємозв'язок усіх операцій, що відбуваються під час прийому, переробки відходів та перерозподілі отриманих ресурсів. Матеріальний потік у логістиці можна класифікувати за етапами:

- 1 - постачальник передає ресурс у виробничу зону та перетворює його на готову продукцію;
- 2 - передбачає розміщення готової продукції на складі;
- 3 – орієнтований на транспортування продукції до торгових мереж;

4 - передбачає рух товарів від початку споживання до утворення відходів;

5 –збір та сортування відходів;

6 - передбачає збір відходів із спеціально відведених місць і транспортування їх до місць зберігання та переробки (тут слід окремо вказати етапи 6.1 і 6.2, де останній забезпечує матеріально-технічну підтримку операцій з утилізації відходів);

7 - переробка відходів, де вони використовуються як вторинний ресурс для отримання нових чи відновлених товарів (повертаються на 3 етап логістичної системи).

Якщо на п'ятому етапі матеріального потоку сміття збирається, але не сортується, то на шостому здійснюється розділення його на спеціальних сортувальних станціях (етап 6.2.). Після цього на 7 етапі відбувається транспортування відходів на переробку. Такий сценарій передбачає наявність 8 етапу - виконання операцій з технічного обслуговування, ремонту товарів та переробки вторинної сировини з подальшим поверненням їх у логістичний ланцюг (рисунок 1).

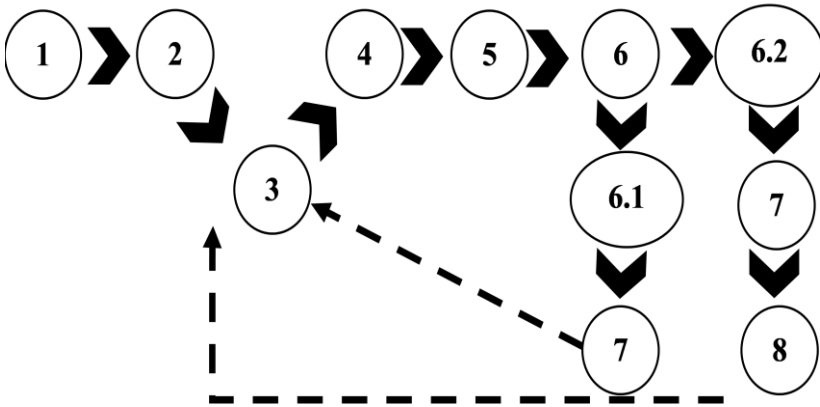


Рис. 1. Послідовність проходження потоку в круговій логістиці

Пункти прийому побутових відходів зосереджені на роздільному зборі різних компонентів: паперу, металу, деревини, пластику, скла, текстилю, великогабаритного побутового та небезпечного сміття тощо. Вони мають замінити контейнерні майданчики, де відбувається накопичення сміття. Кругова логістика ТПВ має характеризуватися високою ефективністю, що вимагає відповідного інформаційного потоку між різними учасниками ланцюга переробки. Це дозволить забезпечити всіх зацікавлених суб'єктів інформацією щодо управління відходами,

створити умови для перерозподілу матеріальних потоків, оптимізувати маршрути утилізації тощо.

Через низький рівень цифровізації в Україні, пункти збору побутових відходів можуть бути орієнтованими на цифрову трансформацію. Тут варто згадати весь спектр інструментів, доступних у циклічній логістиці. По-перше, це створення інноваційних систем у сфері збору відходів. Наприклад, обладнавши контейнери для збору сміття спеціальними датчиками, які діють як індикатори, що в реальному часі визначають наповненість, можна коригувати графіки збору ТПВ. Цей «розумний» смітневий бак є закритою конструкцією та містить комунікаційний модуль (надсилає сповіщення електронною поштою чи текстовим повідомленням), компактор (стискає відходи), сонячні батареї для забезпечення постійної енергії. Такі контейнери потребують менше місця для зберігання і є стандартизовані таким чином, що їх можна спустошувати за допомогою наявного обладнання для збору відходів. За даними Price Monitor, «розумний» бак коштує близько 4000 євро. Для ефективного вивезення сміття один контейнер повинен обслуговувати не менше 400 осіб.

Наступним цифровим інструментом кругової логістики є «розумний» автопарк. Він оснащується датчиками і спеціальним програмним забезпеченням, які дозволяють оптимізувати логістичні маршрути, скорочуючи витрати палива і часу. Крім «розумних» контейнерів та спецтранспорту у сфері кругової логістики також є можливість використовувати спеціалізоване програмне забезпечення для побудови розумних хмарних систем управління відходами. Однією з таких є Microsoft Azure, де можна реалізувати можливості моніторингу відходів, створювати цифрові інтерактивні карти, відображати дані в режимі реального часу, отримувати сповіщення про рівні заповнення контейнерів, отримувати відгуки громадян і планувати маршрути. Загалом цифровізація логістики у сфері поводження з відходами можлива завдяки розвитку партнерства між ІТ-компаніями та логістичними операторами в досліджуваній сфері.

Висновки. Знання послідовності матеріальних потоків у циклічній логістиці необхідне для пошуку шляхів мінімізації логістичних витрат та оптимізації часових параметрів. Щоб не збільшувати витрати, важливим питанням є налагодження збору відходів. Основну роль у цьому мають відігравати обізнаність і відповідальність мешканців за сортування побутових відходів та наявність інфраструктури самостійного збору сміття. Логістика матеріальних потоків ТПВ найкраще реалізується у населених пунктах, де громада є високоорганізованою.

References

1. Khandohina O. V. (2019). Peculiarities of the organization the management system and handling of solid household waste at the local level. *Ahrosvit*, 18, 72-82 [in Ukrainian].
2. Popovych N. P., Malovanyi M. S., Popovych V. V. (2018). Ecological logistics of waste management in villages, towns, and peasant households. *Visnyk LDU BZHD*, 17, 102-110 [in Ukrainian].
3. Hryhorak M. Yu., Savchenko L. V. (2018). Conceptual foundations of the development the reverse logistics in the circular economy. *Pryazovskyi ekonomichnyi visnyk*, 5, 78-84 [in Ukrainian].
4. Kocheshkova I. M., Trushkina N. V. (2018). Reverse logistics of industrial waste. *Visnyk ekonomichnoi nauky Ukrainy*, 2, 105-108 [in Ukrainian].
5. Nakonechna T. V., Masteliak L. V. (2018). Implementation of marketing and logistics methods in the field of household waste management. *Naukovyi visnyk Uzhhorodskoho natsionalnoho universytetu*, 17, P 2, 12-26 [in Ukrainian].
6. Dziubynska O. V. (2021). *Mechanism of utilization of household waste resource potential of the region based on a circular economy*. Ph.D. thesis abstract. Lutsk: LNTU [in Ukrainian].

Література

1. Хандогіна О. В. Особливості організації системи управління та поводження з твердими побутовими відходами на локальному рівні. *Агросвіт*. 2019. № 18. С. 72–82.
2. Попович Н. П., Мальований М. С., Попович В. В. Екологічна логістика поводження з відходами у селах, селищах та селянських домогосподарствах. *Вісник ЛДУ БЖД*. 2018. № 17. С. 102–110.
3. Григорак М. Ю., Савченко Л. В. Концептуальні основи розвитку реверсивної логістики в циркулярній економіці. *Приязовський економічний вісник*. 2018. Вип. 5. С. 78–84.
4. Кочешкова І. М., Трушкіна Н. В. Реверсивна логістика промислових відходів. *Вісник економічної науки України*. 2018. № 2. С. 105–108.
5. Наконечна Т. В., Мастеляк Л. В. Впровадження маркетингових та логістичних методів у сферу поводження з побутовими відходами. *Науковий вісник Ужгородського національного університету*. 2018. Вип. 17. Ч. 2. С. 12–26.
6. Дзюбинська О. В. *Механізм використання ресурсного потенціалу побутових відходів регіону на засадах кругової економіки* : дис. канд. екон. наук: 08.00.05/ Дзюбинська Оксана Василівна. – Луцьк: Луцький НТУ, 2021. - 305 с.

**ЗАСТОСУВАННЯ ЕФЕКТИВНИХ ТЕХНОЛОГІЙ
ВІДНОВЛЕННЯ МЕРЕЖ ТРАНСПОРТУВАННЯ ВОДИ У
ПІСЛЯВОЄННИЙ ПЕРІОД**

**APPLICATION OF EFFECTIVE TECHNOLOGIES FOR THE
RESTORATION OF WATER TRANSPORTATION NETWORKS IN
THE POST-WAR PERIOD**

**Добровольська О.Г., к.т.н., доцент, Чудновський П.Б., магістр
(Запорізький національний університет)**

**Dobrovolska O.G., Ph.D. in Engineering, Associate Professor,
Chudnovsky P.B., M.Sc (Zaporizhzhya National University)**

Досліджено гідравлічні та техніко-економічні характеристики мереж транспортування води із трубопроводів з різних матеріалів. За результатами досліджень розроблені рекомендації, які дозволяють комунальним підприємствам за результатами визначення вузлових тисків з урахуванням матеріалу трубопроводів при проєктуванні мереж та при реконструкції окремих її ділянок, визначати кількість та місця розташування контрольних вузлів.

The hydraulic and technical and economic characteristics of water transportation networks using pipelines made of different materials were studied. Based on the results of the research, recommendations have been developed that allow utilities to determine the number and location of control units based on the results of determining nodal pressures, taking into account the material of pipelines when designing networks and reconstructing individual sections of them.

The relevance of the issue under consideration is explained by the fact that many Ukrainian utilities have faced major challenges the wartime. A sound approach to the construction, reconstruction, and modernization of water transportation networks will make a significant contribution to the restoration of urban infrastructure and reduce the dependence of utilities on external energy resources.

This paper analyzes changes in the hydraulic and technical and economic performance of the water supply network, taking into account the use of pipelines made of different materials for its construction and reconstruction. It is shown how the design pressure, capital and operating costs change when using pipelines made of cast iron, reinforced concrete, and polyethylene. The research results are presented in the form of a piezometric map, hydraulic and technical and economic indicators. The tasks to be solved by the flow distribution control system during the restoration and modernization of water transportation networks are defined.

Modeling of water supply networks schemes during their reconstruction and modernization, analysis of pressure zones in the network allows determining the required

number of pressure control units and their locations, taking into account the need. A distinctive feature of this approach to flow distribution management is the timely prevention of emergency water losses and the selection of priority areas for network modernization. Recommendations on flow distribution management can be offered for implementation in the work of the dispatching service of the Zaporizhzhia utility company

Ключові слова: *матеріал трубопроводів, реконструкція мереж, динаміка тиску, гідравлічні показники, економічні показники.*

Keywords: *pipeline material, network reconstruction, pressure dynamics, hydraulic indicators, economic indicators.*

Вступ. В умовах війни енергоефективність всіх інженерних систем набуває нового значення, перед багатьма комунальними підприємствами України постали великі виклики. Це пов'язано з проведенням бойових дій, масованих обстрілів, результатом чого є повне або часткове руйнування інфраструктури міст.

Структурними підрозділами Державної установи «Запорізький обласний центр контролю та профілактики хвороб Міністерства охорони здоров'я» здійснюються моніторингові дослідження якості питної води у місцях водозаборів, на водопровідних спорудах і мережах централізованого господарсько-питного водопостачання на території Запорізької області. Станом на сьогодні проби на мікробіологічні та санітарно-хімічні показники відповідають прийнятим нормативам. Але в умовах воєнного стану з'являються додаткові фактори, що впливають на якість водозабезпечення.

За прогнозами, до 2050 року майже 70% населення світу проживатиме в урбанізованій місцевості, що вимагатиме вдвічі більше будівельного фонду. Ефективне використання енергії води, врахування якості життя мешканців при проєктуванні, будівництві та експлуатації є одними з головних принципів, яким повинно відповідати зелене будівництво. Розумний підхід до відновлення та модернізації мереж транспортування води дозволить зробити вагомий вклад у відновлення міської інфраструктури, зменшити залежність від зовнішніх енергоресурсів.

Аналіз останніх досліджень. Значна частина водопровідних мереж в Україні перебувала в аварійному стані ще в довоєнний час [1], воєнні дії погіршили цю ситуацію: «в аварійному стані знаходиться 35% водопровідних мереж, 38% мереж водовідведення та майже 30% насосних агрегатів» [2]. В європейських країнах, зокрема, в Польщі, Словенії, Хорватії та інших, мережі транспортування води побудовані зі сталевих

трубопроводів, пропускна здатність яких змінюється у часі в результаті впливу корозійних процесів [3]. У складних умовах воєнного часу в Україні було прийнято Закон «Про Загальнодержавну цільову соціальну програму «Питна вода України» на 2022 – 2026 роки» [4]. В рамках її виконання планується реалізувати понад 1,7 тисячі проєктів, зокрема побудувати 280 водопровідних та очисних споруд, 290 водозабірних споруд і понад тисячу водопровідних мереж [4].

Аварії на водопровідних мережах є проблемою комунальних підприємств багатьох країн. Контроль тиску в мережах транспортування води дозволяє зменшувати втрати води, особливо для мереж із тривалим періодом експлуатації. Так, для міста Гамільтон автори [5] пропонують імовірнісний підхід, який враховує розрахункове співвідношення між швидкістю розриву труби та максимальним тиском, значення якого отримані за допомогою моделювання Монте-Карло. Для локалізації аварій на мережах та усунення втрат води фахівцями [6] запропоновано методика на основі вимірювання вібраційного стану трубопроводів, що може бути пов'язано з самим рухом потоку. За даними [7] розроблено модель для розрахунку оптимального часу заміни труб у водопровідній мережі, так, за результатом досліджень виходить, що оптимальний час заміни для міста Афіни становить 69 років після початку експлуатації мережі.

Для визначення критичного стану трубопроводів науковцями [8] розроблено схему, яка оцінює деградацію водопровідних труб із часом, розробка дозволяє зменшити експлуатаційні витрати та витрати на технічне обслуговування комунальних підприємств протягом усього періоду експлуатації мереж.

За результатами проведеного економічного аналізу в дослідженнях [9] запропоновано контролювати тиски в реальному часі за допомогою звичайних редуційних клапанів та знижувати їх значення, застосовуючи клапани з дистанційним керуванням у режимі реального часу після збільшення експлуатаційних витрат та витрат на технічне обслуговування мережі.

За даними журналів обліку виникнення і ліквідації аварій та ремонтних робіт на водопровідних мережах, у які робітники аварійної служби комунального підприємства «Водоканал» (м. Запоріжжя) вносять інформаційні дані щодо виявлення поривів трубопроводів, були проаналізовані об'єми втрат води на трубопроводах із різних матеріалів – чавунних, сталевих, поліетиленових, які мають різні терміни початку

експлуатації – від 1940 р. до 2019 р. За результатами аналізу були побудовані діаграми, представлені на рис. 1.

Поліетиленові трубопроводи були введені в експлуатацію у 80–90 роках минулого століття. Найбільші об'єми втрат води в результаті пошкоджень трубопроводів спостерігаються на мережах із чавунних трубопроводів для ділянок, які експлуатуються з 1970–80 років, що у 1,5–2 рази перевищує об'єми втрат води на ділянках зі сталевих трубопроводів.

Враховуючи наслідки воєнних дій, житловий фонд багатьох міст, інженерні комунікації, система благоустрою, зелене господарство потребують реконструкції та модернізації.

Впровадження програм застосування нових енергоощадних та екологічно привабливих технологій, новітнього устаткування для водопровідно-каналізаційного господарства, є необхідною умовою реалізації подібних проєктів.

Постановка мети та задач досліджень. Метою роботи є дослідження впливу матеріалу трубопроводів на гідравлічні та економічні показники функціонування мереж транспортування води.

Об'єкт дослідження – мережа транспортування води одного із житлових районів м. Запоріжжя, яка складається із 18 контурів, 49 вузлів та 66 розрахункових ділянок, які входять до складу контурів та однієї тупикової ділянки. Предмет дослідження – гідравлічні та економічні показники функціонування мережі транспортування води.

Методика досліджень. Аналіз впливу матеріалу трубопроводів водопровідної мережі на її техніко-економічні показники виконано за наступною методикою: визначення розрахункових вузлових і шляхових витрат води; визначення початкового поточкорозподілу для режиму максимального водоспоживання та вибір діаметрів ділянок мережі; гідравлічний розрахунок мережі транспортування води МТВ1, матеріал трубопроводів – новий чавун; гідравлічний розрахунок мережі транспортування води МТВ2, матеріал трубопроводів – неновий чавун; гідравлічний розрахунок мережі транспортування води МТВ3, матеріал трубопроводів – поліетилен; гідравлічний розрахунок мережі транспортування води МТВ4, матеріал трубопроводів – залізобетон; гідравлічний розрахунок комбінованої мережі МТВ5, матеріали – неновий чавун, поліетилен); аналіз зміни гідравлічних показників мереж із різних матеріалів (мережі МТВ1 – МТВ 5); аналіз економічних показників мереж із різних матеріалів (для мереж МТВ1– МТВ5).

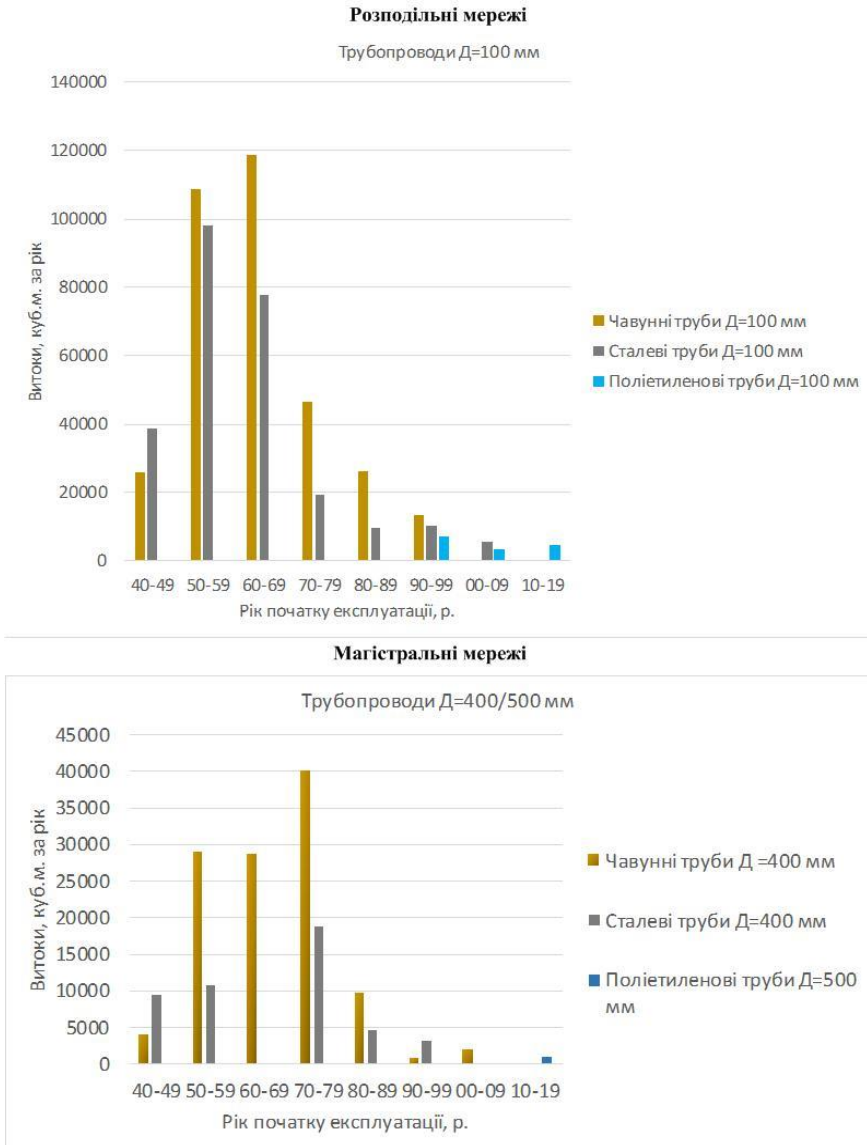


Рис. 1. Аналіз втрат води на трубопроводах із різних матеріалів

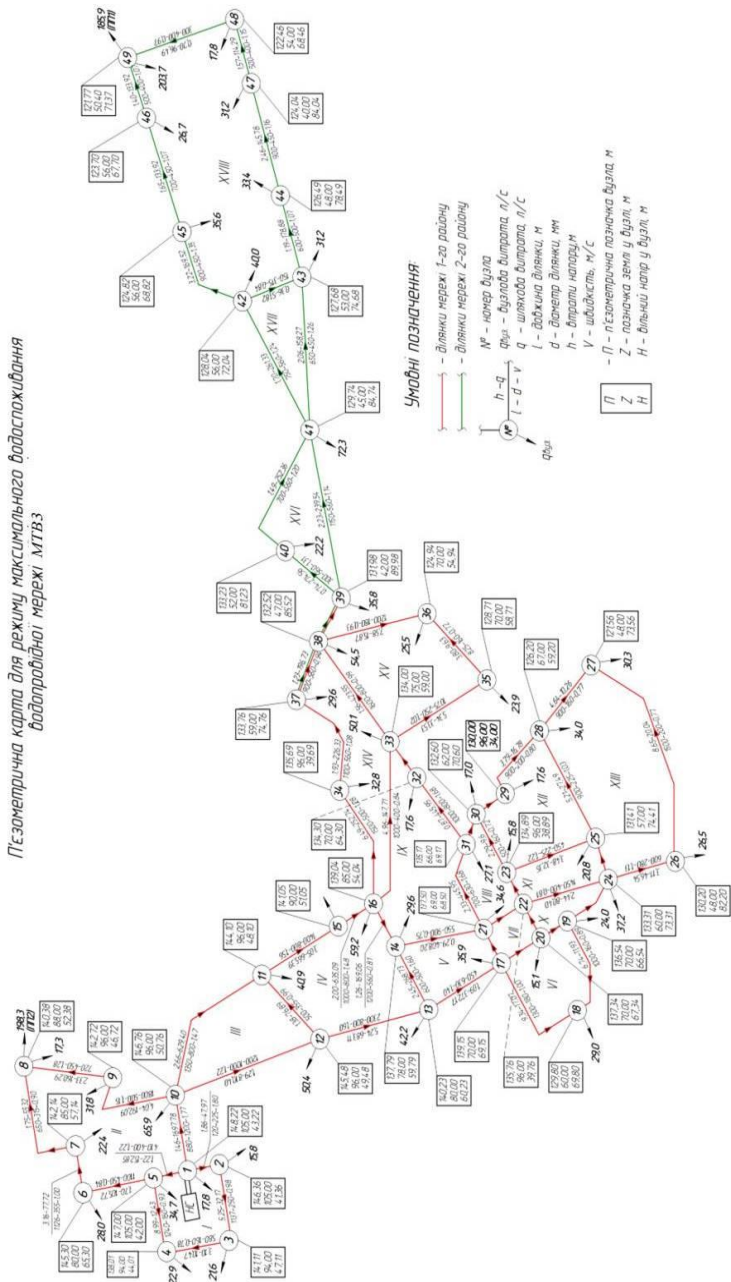


Рис. 2. П'єзометрична карта для мережі транспортування води МТВЗ із поліетиленових труб

Результати досліджень. За результатами гідравлічних розрахунків побудовані п'єзометричні карти для варіантів мереж транспортування води МТВ1–МТВ5, для схеми мережі транспортування води із поліетиленових труб п'єзометрична карта показана на рис. 2.

У таблиці 1 представлені результати розрахунків вільних тисків у вузлі приєднання водоводів насосної станції до мережі Н(1) та відхилення значень цих тисків ΔH для мереж із різних матеріалів МТВ2–МТВ3 від значення Н(1) для вихідної мережі МТВ 1 з нових чавунних трубопроводів.

Таблиця 1

Результати визначення вільних тисків у вузлі №1 для мереж із різних матеріалів

№ п/п	Мережа	Н(1), м	ΔH , %
1	МТВ1	47,7	0,00
2	МТВ2	51,4	7,20
3	МТВ3	43,2	-10,3
4	МТВ4	47,0	-1,3
5	МТВ5	47,2	-1,1

Результати розрахунку техніко-економічних показників для вихідної мережі з чавунних труб МТВ1, мережі із поліетиленових труб МТВ3 та мережі МТВ4 з ділянками із залізобетонних трубопроводів представлені у таблиці 2.

Таблиця 2

Техніко-економічні показники

Показник	Одиниці вимірювань	МТВ1	МТВ 3	МТВ 4
Річні витрати електроенергії	тис.грн	275,942	267,182	271,562
Капітальні витрати	тис.грн	468781,62	215046,43	259062
Експлуатаційні витрати	тис.грн	83009,8	38814,15	46495,7
Приведені витрати	тис.грн	153327	71071,1	85355

Як видно з таблиці 1, спостерігається збільшення вільного напору у вузлі №1 для мережі МТВ 2 із нових чавунних труб на 7,2% у

порівнянні з мережею МТВ1, наслідком чого є зниження вільних тисків у вузлах мережі, в тому числі у невідповідній точці, тобто не забезпечуються необхідні напори у споживачів. Збільшення вільного напору у вузлі №1 для мережі МТВ2 показує збільшення загального опору мережі в цілому (збільшення втрат напору на ділянках мережі), у зв'язку зі зростанням гідравлічного опору. Для мережі МТВ3 розрахунковий вільний напір у вузлі №1 нижчий за такий для мережі МТВ1 на 10,27%, наслідком чого є зменшення витрат електроенергії для насосної станції.

Для мережі МТВ3 з пластикових труб необхідний вільний напір є найнижчим з усіх розглянутих варіантів мереж, що показує найнижчий загальний опір мережі в цілому (найменші гідравлічні опори ділянок), при цьому забезпечуються швидкості руху води, рекомендовані будівельними нормами [10]. Заміна 50,7% ділянок від загальної довжини мережі поліетиленовими трубопроводами дозволяє зменшити розрахунковий напір у мережі із ненових чавунних труб до розрахункових значень, визначених на початку проектування мережі. Результати розрахунку техніко-економічних показників показали найнижчі капітальні та експлуатаційні витрати для мережі транспортування із поліетиленових трубопроводів.

Висновки

Встановлено, що при реконструкції окремих ділянок мережі змінюється динаміка вузлових тисків.

1. Оптимальні гідравлічні характеристики водопровідних мереж досягаються при застосуванні поліетиленових трубопроводів для їх будівництва та реконструкції.
2. За результатами техніко-економічних розрахунків найбільш ефективною є мережа із поліетиленових трубопроводів.
3. Запропоновано виконувати аналіз динаміки вузлових тисків із урахуванням матеріалу трубопроводів при проектуванні мереж транспортування води та при реконструкції окремих її ділянок для визначення зони недостатніх та надмірних тисків.
5. Для запобігання виникненню аварійних ситуацій запропоновано влаштовувати вузли контролю тиску у вузлах, враховуючи межі зон надмірних і недостатніх тисків.

References

1. Krylova I. I. Analiz suchasnoho stanu sfery vodopostachannia ta vodovidvedennia v Ukraini. *Investystsii: praktyka ta dosvid*. 2018. № 23. S. 118–125. DOI: 10.32702/2306-6814.2018.23.118. 2. Tsentralne vodopostachannia Ukrainy: skilky merezh perebuvaie v avariinomu stani. URL:<https://www.slovoidilo.ua/2021/06/11/infografika/suspilstvo/centralne-vodopostachannya-ukrayiny-skilky-merezh-perebuvaie-avarijnomu-stani>. 3. Han Liu¹, Ya Chzhan², Villem-Yan Knibbe³, Tsuitsze Fen⁴. Potentsiinyi vplyv zminy yakosti vodopostachannia na rozpodil pytnoi vody: ohliad. *Doslidzhennia vody*, 2017. T. 116. S. 135–148. 4. Zakon Ukrainy «Pro Zahalnodierzhavnu tsilovu sotsialnu prohramu "Pytna voda Ukrainy" na 2022 - 2026 roky». URL:<https://ips.ligazakon.net/document/JI05633A>. 5. [Ghorbanian V.](#), [Guo Y.](#), [Karney B.](#) Field Data–Based Methodology for Estimating the Expected Pipe Break Rates of Water Distribution Systems. *Journal of Water Resources Planning and Management*, 2016. V.142. DOI:[10.1061/\(ASCE\)WR.1943-5452.0000686](https://doi.org/10.1061/(ASCE)WR.1943-5452.0000686). 6. Fabbiano L., Vacca G., Dinardo G. Smart water grid: A smart methodology to detect leaks in water distribution networks. *Measurement*, 2020. V.151. URL: <https://doi.org/10.1016/j.measurement.2019.107260>. 7. [Kanakoudis V.](#) The role of leaks and breaks in water networks – technical and economical solutions. *Aqua*, 2001. V. 50(5). P. 301-311. URL: <https://doi.org/10.2166/aqua.2001.0025>. 8. [Mann E.](#), [Frey J.](#) Optimized Pipe Renewal Programs Ensure Cost-Effective Asset Management. *In Proceedings of Pipelines*, ASCE, 2011 Conference, Seattle, Washington, 23–27 July, pp. 44–54. URL:<https://ascelibrary.org/doi/10.1061/41187%28420%295>. 9. [Creaco E.](#), [Walski T.](#) Economic Analysis of Pressure Control for Leakage and Pipe Burst Reduction. *Journal of Water Resources Planning and Management*, 2017. V.143 (12). URL: [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)WR.1943-5452.0000846](https://doi.org/10.1061/(ASCE)WR.1943-5452.0000846) 10. DBN V.2.5 – 74:2013 Vodopostachannia. Zovnishni merezhi ta sporudy. Osnovni polozhennia proiektuvannia. [Chynnyi vid 2014-01-01]. Vyd. ofits. Kyiv : Ministerstvo rehionalnoho rozvytku budivnytstva ta zhytlovo-komunalnoho hospodarstva Ukrainy. 2013. 172 s. URL: https://polyplastic.ua/files/DSTU/dbn_v.2.5_74_2013.pdf.

Література

1. Крилова І. І. Аналіз сучасного стану сфери водопостачання та водовідведення в Україні. *Інвестиції: практика та досвід*. 2018. № 23. С. 118–125. DOI: [10.32702/2306-6814.2018.23.118](https://doi.org/10.32702/2306-6814.2018.23.118).
2. Центральне водопостачання України: скільки мереж перебуває в аварійному стані. URL: <https://www.slovoidilo.ua/2021/06/11/infografika/suspilstvo/centralne-vodopostachannya-ukrayiny-silkyy-merezh-perebuyaye-avariynomu-stani>. Liu G., Zhang Y., Knibbe W., Feng C., Liu W., Medemabd G. [Potential impacts of changing supply-water quality on drinking water distribution.](#) *Water Research*, 2017. V. 116. P. 135–148. URL: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0043135417302099?via%3Dihub>.
3. Закон України «Про Загальнодержавну цільову соціальну програму "Питна вода України" на 2022 - 2026 роки». URL: <https://ips.ligazakon.net/document/JI05633A>.
4. Ghorbanian V., Guo Y., Karney B. Field Data-Based Methodology for Estimating the Expected Pipe Break Rates of Water Distribution Systems. *Journal of Water Resources Planning and Management*, 2016. V.142. DOI: [10.1061/\(ASCE\)WR.1943-5452.0000686](https://doi.org/10.1061/(ASCE)WR.1943-5452.0000686).
5. Fabbiano L., Vacca G., Dinardo G. Smart water grid: A smart methodology to detect leaks in water distribution networks. *Measurement*, 2020. V.151. URL: <https://doi.org/10.1016/j.measurement.2019.107260>.
6. Kanakoudis V. The role of leaks and breaks in water networks – Technical and economical solutions. *Aqua*, 2001. V. 50(5). P. 301-311. URL: <https://doi.org/10.2166/aqua.2001.0025>.
7. Mann E., Frey J. Optimized Pipe Renewal Programs Ensure Cost-Effective Asset Management. *In Proceedings of Pipelines*, ASCE, 2011 Conference, Seattle, Washington, 23–27 July, pp. 44–54. URL: <https://ascelibrary.org/doi/10.1061/41187%28420%295>.
8. Creaco E., Walski T. Economic Analysis of Pressure Control for Leakage and Pipe Burst Reduction. *Journal of Water Resources Planning and Management*, 2017. V.143 (12). URL: [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)WR.1943-5452.0000846](https://doi.org/10.1061/(ASCE)WR.1943-5452.0000846).
9. ДБН В.2.5 – 74:2013 Водопостачання. Зовнішні мережі та споруди. Основні положення проектування. [Чинний від 2014-01-01]. Вид. офіц. Київ: Міністерство регіонального розвитку будівництва та житлово-комунального господарства України. 2013. 172 с. URL: https://polyplastic.ua/files/DSTU/dbn_v.2.5_74_2013.pdf.

**CECHY ROZWIĄZAŃ TECHNOLOGICZNYCH
ZAPEWNIAJĄCYCH WZROST EFEKTYWNOŚCI ENERGETYCZNEJ
BUDYNKÓW MIESZKANIOWYCH**

**ОСОБЛИВОСТІ ТЕХНОЛОГІЧНИХ РІШЕНЬ, ЩО
ЗАБЕЗПЕЧУЮТЬ ПІДВИЩЕННЯ ЕНЕРГОЕФЕКТИВНОСТІ
ЖИТЛОВИХ БУДИНКІВ**

**FEATURES OF TECHNOLOGICAL SOLUTIONS ENSURING
INCREASES IN ENERGY EFFICIENCY OF RESIDENTIAL
BUILDINGS**

**Drapaliuk M., dr hab. Profesor nadzwyczajny (Odeska Państwowa
Akademia Inżynierii Lądowej i Architektury, Odesa)**

**Драпалюк М.В., к.т.н., доц. (Одеська державна академія
будівництва і архітектури, Одеса)**

**Drapaliuk M., Ph.D. in Engineering (Odesa State Academy of Civil
Engineering and Architecture, Odesa)**

Obecnie istnieje szereg rozwiązań technologicznych zapewniających wzrost efektywności energetycznej budynków wielomieszaniowych: ocieplenie elewacji, beton lekki, konstrukcje okienne, systemy wentylacji z odzyskiem ciepła, konstrukcje szerokobudowlane, systemy pomiaru i regulacji ciepła itp. Najważniejszym zadaniem jest stworzenie podstaw norm budowlanych. Regulacja powinna być tworzona na długi czas, dawać uczestnikom rynku wytyczne na przyszłość i tworzyć pewne korytarze technologiczne. Ważnym obszarem oszczędzania energii jest organizacja rozliczania zużycia ciepła, energii elektrycznej i wody.

В даний час існує низка технологічних рішень, які забезпечують зростання енергоефективності багатоквартирних будинків: утеплення фасадів, легких бетонів, віконних конструкцій, систем вентиляції з рекуперацією тепла, систем вимірювання та регулювання тепла та ін. Найважливішим завданням є створення фундаменту стандартів будівництва. Регулювання має створюватися на довгострокову перспективу, давати учасникам ринку орієнтири на майбутнє та створювати технологічні коридори.

Важливим напрямком енергозбереження є організація обліку споживання тепла, електроенергії та води. Самі лічильники нічого не економлять, але стимулювати енергозбереження можуть. Окрім заходів примусу, необхідно створити систему економічних стимулів, що підтримують впровадження

енергоефективних технологій: податкові пільги, субсидії та створення зон енергоефективності. Значних зусиль від держави потребує також вирішення проблеми формування кваліфікованих споживачів енергоефективних рішень у житловому будівництві. Зниження витрат палива та енергії у виробництві будівельних матеріалів можна досягти шляхом впровадження нових технологій, нового обладнання, теплових агрегатів.

Currently, there are a number of technological solutions that ensure the increase in the energy efficiency of multi-apartment buildings: insulation of facades, lightweight concrete, window structures, ventilation systems with heat recovery, wide-building structures, heat measurement, and regulation systems, etc. The most important task is to create a foundation of construction standards. Regulation should be created for the long term, provide market participants with guidelines for the future and create some technological corridors. An important area of energy saving is the organization of heat, electricity, and water consumption accounting. The meters themselves do not save anything, but they can stimulate energy saving.

In addition to coercive measures, it is necessary to create a system of economic incentives that support the introduction of energy-efficient technologies: tax benefits, subsidies, and the creation of energy efficiency zones. The solution of the problem of formation of qualified consumers of energy-efficient solutions in residential construction also requires significant efforts from the state. Reducing fuel and energy consumption in the production of building materials can be achieved by introducing new technologies, new equipment, and thermal units.

Слова ключові: *oszczędność energii, zużycie energii, racjonalne użytkowanie, efektywność energetyczna, struktura, ochrona.*

Ключові слова: *енергозбереження, енергоспоживання, раціонального використання, енергоефективність, структура, захист.*

Keywords: *energy saving, energy consumption, rational use, energy efficiency, structure, protection.*

Oszczędzanie energii staje się z roku na rok coraz bardziej palące. Ograniczone zasoby energii, wysoki koszt energii, negatywny wpływ na środowisko związany z jej produkcją – wszystkie te czynniki wskazują, że bardziej zasadne jest ograniczanie zużycia energii niż ciągle zwiększanie jej produkcji, a co za tym idzie ilość problemów. Świat od dawna szuka sposobów na ograniczenie zużycia energii poprzez jej racjonalne wykorzystanie.

„Domy pasywne” zostały pierwotnie zaprojektowane przez deweloperów specjalnie z myślą o warunkach klimatycznych Europy Środkowej i zgodnie z podstawową ideą miały wykorzystywać wyłącznie wewnętrzne zasoby ciepłe do ogrzewania, mieć minimalną wymianę energii z otoczeniem (ze względu na wysoką wysokiej jakości izolacji termicznej) i maksymalizacji wykorzystania ciepła ze wszystkich emisji. Ale ich budowa wymaga znacznych dodatkowych kosztów w porównaniu z konwencjonalnymi budynkami.

Na początku budowy budynków energooszczędnych głównym zainteresowaniem było badanie sposobów oszczędzania energii i poprawy jakości mikroklimatu [1].

Zgodnie z metodologią stosowaną w krajach Unii Europejskiej, pod względem oszczędności energii budynki mieszkalne dzielą się na zwykły dom (zużycie energii - 400 kWh rocznie na 1 m²), dom o niskim zużyciu energii (mniej niż 70 kWh), „pasywne” (nie więcej niż 15 kWh) i „aktywne”. Określenie „dom pasywny” oznacza, że dom ten powinien emitować jak najmniej ciepła i zapewniać komfortową temperaturę w pomieszczeniach zarówno zimą, jak i latem. Cel ten osiąga się za pomocą izolacji termicznej, zapewniającej „efekt termosu”, zamkniętego systemu grzewczego oraz wentylacji rekuperacyjnej. W związku z tym takie domy zużywają prawie 80% mniej energii niż na przykład nowe budynki zaprojektowane zgodnie z niemieckim rozporządzeniem w sprawie izolacji cieplnej z 1995 r. (niemieckie rozporządzenie w sprawie izolacji termicznej - 1995).

Poważnym problemem, który nie został jeszcze rozwiązany przez projektantów „domów pasywnych” typu niemieckiego, pozostaje ich dość sztywne powiązanie z warunkami klimatycznymi Europy Środkowej: jak pokazują obliczenia techniczne, przy budowie takich domów na terenach położonych powyżej 60° szerokości geograficznej północnej szerokości geograficznej dodatkowe koszty bardzo znacząco rosną [1].

Aktywny dom może sam zapewnić sobie prąd i ciepłą wodę. Typowe wyposażenie aktywnego domu w ostatnich latach to kolektor słoneczny do podgrzewania wody, elektrownia słoneczna na jego dachu oraz pompa ciepła, która zamienia niskowartościowe ciepło z gruntu lub ścieków bytowych na ciepłą wodę [1].

Aby zachować zgodność z przepisami, budowniczowie muszą stosować nowe, skuteczne materiały i konstrukcje termoizolacyjne. W przeciwnym razie zarówno grubość zewnętrznych struktur otaczających, jak i ich koszt byłyby bardzo wysokie. Aby zapewnić wymagane parametry, ściany zewnętrzne budynków mieszkalnych są budowane wielowarstwowo, zawierające warstwy nośne i termoizolacyjne. Zastosowanie energooszczędnych ogrodzeń zewnętrznych, ze względu na oszczędność zasobów termicznych, zwraca się jednorazowo w nowo budowanych budynkach mieszkalnych i cywilnych w ciągu siedmiu do ośmiu lat, aw istniejących domach - w ciągu 12-14 lat.

Struktura materiałów termoizolacyjnych to produkty z wełny mineralnej (ponad 65%), materiały z wełny szklanej stanowią 8%, kolejne 20% - dla tworzyw piankowych udział betonu termoizolacyjnego nie przekracza 3%, perlit ekspandowany, wermikulit i produkty na ich bazie - 2-3, a inne rodzaje skutecznych materiałów termoizolacyjnych stanowią 1-2%. Przy zastosowaniu skutecznych materiałów termoizolacyjnych na obwodzie budynku około 0,25 m² w powierzchni użytkowej. Również wielowarstwowe systemy ociepleń

zewnątrznych mogą zmniejszyć obciążenie fundamentu, a co za tym idzie obniżyć koszt jego budowy[2].

Problem polega jednak na tym, że obecnie kwestia trwałości materiału termoizolacyjnego podczas eksploatacji w przegrodach budowlanych pozostaje słabo poznana. Przede wszystkim dotyczy to izolacji włóknistych i tworzyw piankowych. Dostępne wyniki wskazują, że żywotność materiału termoizolacyjnego na bazie włókna szklanego lub wełny mineralnej wynosi 25-30 lat. Po tym okresie współczynnik przewodności cieplnej zaczyna rosnąć.

Oprócz zastosowania grzejników, wzrost izolacyjności termicznej uzyskuje się za pomocą materiałów mineralnych: gazobetonu i pianobetonu, styropianu, a także pustaków wielkoformatowych z ceramiki porowatej. Lekki beton komórkowy pozwala zaoszczędzić ciepło i obniżyć koszty energii o około 20%. Jednocześnie zastosowanie lekkiego betonu konstrukcyjnego pozwala zaoszczędzić 30-50% masy przy budowie wieżowców. Służą do wykonywania jednowarstwowych ścian zewnętrznych, samonośnych w podadze. Takie lekkie betony można wytwarzać z porowatych kruszyw z odpadów technologicznych (żużel, szlam, popiół, osad ściekowy, odpady komunalne itp.)[3].

W budownictwie mieszkaniowym i cywilnym ściany zewnętrzne z systemami elewacyjnymi są również aktywnie wykorzystywane do zapewnienia ochrony termicznej. Zewnętrzna lokalizacja izolacji termicznej w ogólnym bilansie strat ciepła okazuje się znacznie bardziej efektywna niż wewnętrzna, przede wszystkim ze względu na znaczne przekroczenie całkowitej długości wtrąceń przewodzących ciepło na stykach ścian wewnętrznych i stropów wzdłuż elewacji o długości wtrąceń przewodzących ciepło w jej narożach. W przypadku ocieplenia od zewnątrz grubość warstwy ocieplenia może być o 25-35% mniejsza niż przy ociepleniu wewnętrznym. Kolejną zaletą zewnętrznej izolacji termicznej jest zwiększenie pojemności cieplnej masywnej części ściany. Na przykład przy zewnętrznej izolacji termicznej ścian ceglanych, przy wyłączonym źródle ciepła, stygną one sześć razy wolniej niż ściany z wewnętrzną izolacją termiczną o tej samej grubości warstwy ocieplenia.

Drugim najważniejszym obszarem oszczędności energii w budynkach mieszkalnych jest wymiana przestarzałych okien i drzwi w budynkach. Okna pozostają najbardziej wrażliwym punktem w przegrodach budowlanych, pomimo ciągłych ulepszeń. W zwykłych drewnianych oknach z podwójnymi szybami, poprzez brak gęstości otaczających konstrukcji, powietrze z zewnątrz dostaje się do salonu w ilości, przy której połowa objętości pomieszczenia jest wymieniana w ciągu 1 godziny (współczynnik wymiany powietrza 0,5). Jednak z biegiem czasu w takich oknach mogą tworzyć się różne luki, powodując nadmierną infiltrację. Prowadzi to do wzrostu rocznych strat ciepła od 5,2 GJ przy wymianie powietrza 0,5 do 20,8 GJ przy podwójnej wymianie powietrza (dla mieszkania dwupokojowego). W efekcie do 40% ciepła ucieka z pomieszczeń przez okna w naszym kraju[4].

Obecnie nowoczesne konstrukcje okienne z trójwarstwowym przeszkleniem oferuje wiele firm krajowych i zagranicznych.

Ale takie okna zwiększają koszt budowy o około 8%, przeszklenia balkonów i loggii - o 3-5%. Należy również pamiętać, że montaż hermetycznych okien plastikowych w większości przypadków skutkuje naruszeniem wymiany powietrza w pomieszczeniach budynków, w których tradycyjnie projektuje się system wentylacji grawitacyjnej. Ze względu na zmniejszoną przepuszczalność powietrza ganków okien w oprawie plastikowej (oraz najnowszych typów okien w oprawie drewnianej) oraz wysoką szczelność przylegających okien do ścian dochodzi do niedostatecznej wymiany powietrza, a w efekcie do zwiększonej wilgotności powietrza w lokalu. Wzrost wilgotności powietrza w pomieszczeniu wymusza częste otwieranie nawiewników, co zmniejsza nieodłączny efekt podwyższenia właściwości termoizolacyjnych okien o 50-70%. Jednocześnie nowoczesne konstrukcje okienne wyposażone są już w regulowane urządzenia wentylacyjne (tłumiki, specjalnie rozmieszczone otwory w profilu okiennym, urządzenia uchylno-obrotowe, zatraski), które na życzenie klienta mogą zapewnić dowolną wentylację pomieszczenia. Użytkownik [5].

Tym samym wprowadzenie okien energooszczędnych bez konstruktywnego rozwiązania całego otworu okiennego, uwzględniającego konwekcję i organizację wymiany powietrza, często prowadzi do odwrotnego efektu, tj. i pogorszenie warunków życia. Rozwiązanie problemu odpowiedniej wymiany powietrza będzie wymagało zastosowania systemów wentylacji mechanicznej.

Większość budynków mieszkalnych posiada systemy wentylacyjne z naturalną cyrkulacją powietrza. Oznacza to, że jego ruch następuje w wyniku naturalnego ciągu wynikającego z różnicy ciśnień i temperatur. Jednocześnie powietrze zewnętrzne dostaje się przez otwarte okna pomieszczeń mieszkalnych i jest usuwane przez kratki wywiewne zainstalowane w kuchniach, łazienkach i toaletach. Zaletą systemów z ciągiem naturalnym jest to, że są tanie, nie generują hałasu i nie wymagają ponoszenia kosztów eksploatacji.

Do wad wentylacji grawitacyjnej należy zaliczyć fakt, że jest ona słabo zgodna z nowoczesnymi wymaganiami dotyczącymi oszczędności energii. Wiadomo, że od 30 do 75% ciepła opuszcza pomieszczenie wraz z powietrzem wentylacyjnym. Oszczędność energii byłaby najbardziej efektywna, gdyby wentylacja mogła pracować ze zmiennym przepływem powietrza, zgodnie z trybem pracy systemu grzewczego. Zorganizowanie takiej regulacji przy wentylacji grawitacyjnej jest prawie niemożliwe. W tym celu w mieszkaniach budynków mieszkalnych należy zastosować systemy wentylacji mechanicznej wywiewnej z dopływem powietrza naturalnego lub systemy wentylacji mechanicznej nawiewno-wywiewnej.

Układy wyciągowe mogą być centralne, ze wspólnym wentylatorem wyciągowym lub z indywidualnymi wentylatorami dla każdej kratki wentylacyjnej. Wyposażenie budynków mieszkalnych w systemy wentylacji nawiewnej występuje znacznie rzadziej niż w mechaniczne systemy wywiewne, ponieważ znacznie zwiększa to koszt projektu ze względu na koszt samego systemu. Zaletą mechanicznych systemów nawiewnych jest gwarantowana dostawa obliczonego strumienia powietrza nawiewanego do każdego mieszkania, możliwość odpylenia powietrza nawiewanego i ograniczenia chorób alergicznych, możliwość rozdziału powietrza wykluczającego podmuch niezależnie od panujących na zewnątrz warunków atmosferycznych. Obecnie ponad 80% europejskiego rynku w sektorze wentylacyjnym jest mocno utrzymywane przez monoblokowe centrale wentylacyjne.

Oprócz oszczędności kosztów energii dzięki wentylacji mechanicznej, można zaoszczędzić, ogrzewając powietrze nawiewane poprzez wymianę ciepła poprzez wymianę ciepła (rekuperacja). Rekuperatory składają się z rekuperacyjnych płytowych wymienników ciepła, w których ciepło jest przekazywane pomiędzy strumieniami powietrza o różnych temperaturach oddzielonymi metalowymi płytami. Powietrze wywiewane przechodzi przez co drugi kanał wymiennika ciepła i ogrzewa tworzące go płyty. Powietrze nawiewane przechodzi przez pozostałe kanały i nagrzewa się w kontakcie ze ściankami kanałów nagrzanymi powietrzem wywiewanym. Stopień sprawności rekuperatorów, w zależności od zasady ich działania, waha się w dość szerokim zakresie - od 40 do 80-85% [5].

Inne rozwiązanie wentylacji zastosowano przy budowie domów pasywnych energetycznie w Niemczech, gdzie oprócz konwencjonalnego wymiennika ciepła zainstalowano pod ziemią plastikowe rury doprowadzające powietrze. Umożliwiło to wstępne podgrzanie powietrza nawiewanego ciepłem ziemi w okresie zimowym. W ten sposób praktycznie hermetyczny „dom pasywny” ma stale duży dopływ świeżego powietrza przy prawie zerowym zużyciu energii.

Istnieje możliwość opracowania kierunku regulacji reżimu cieplnego dla poszczególnych pomieszczeń. Obecnie w nowym budownictwie obowiązkowe jest instalowanie termostatów przed każdym urządzeniem grzewczym. Choć rozwiązanie to wiąże się ze znacznymi kosztami (jeden termostat to koszt współmierny do konwektora, przed którym jest umieszczony), pozwala na zwiększenie komfortu i zmniejszenie zużycia ciepła do ogrzewania poprzez uwzględnienie zysków ciepła od promieniowania słonecznego oraz od domowe emisje ciepła.

Równoległe z termostatem na grzejniku montowany jest licznik ciepła, najczęściej wyparny, co pozwala najemcy płacić mniej za ogrzewanie w przypadku spadku zużycia ciepła.

W wielu budynkach mieszkalnych chłodziwo jest rozprowadzane nierównomiernie w całym budynku. Bardzo często jest gorąco na wyższych piętrach i w środku domu, a bardzo zimno w narożnych pokojach i na niższych piętrach. Aby rozwiązać ten problem, istnieją zawory równoważące, które pozwalają regulować ogrzewanie domu, czyniąc je zrównoważonym i jednolitym. Do wykonania przeciętnego typowego budynku mieszkalnego (około 80-100 mieszkań) wystarczy rozmieścić około 10 czujników wielkości pudełka zapalniczek w różnych miejscach, częściowo w mieszkaniach, częściowo w klapach wentylacyjnych, aby w pełni kontrolować parametry cieplne komfort w całym budynku.

Jednocześnie przy eksploatacji obudowy z takimi urządzeniami sterującymi należy pamiętać, że w jednorurowych instalacjach grzewczych z termostatami, gdy termostaty są zamknięte, temperatura wody powrotnej wzrasta (z powodu odpływu ciepłej wody poza urządzenie), w wyniku czego wzrasta temperatura wody w rurze zasilającej i odpowiednio wzrasta nieuregulowany transfer ciepła przez rurociągi pionów systemu grzewczego, co zmniejsza skuteczność automatycznej kontroli za pomocą termostatów.

W instalacjach dwururowych zamknięcie termostatów prowadzi do zmniejszenia przepływu wody krążącej w instalacji, ale przepływ wody sieciowej pozostaje niezmienny, co również prowadzi do wzrostu temperatury wody w rurze zasilającej system grzewczy i odpowiednio do nieuregulowanego przenoszenia ciepła z pionów.

Oczywiście, jeśli ten kierunek będzie rozwijany, pojawi się pytanie o możliwość wprowadzenia indywidualnej taryfikacji dostaw ciepła w budynkach mieszkalnych.

Ważnym obszarem oszczędzania energii jest organizacja rozliczania zużycia ciepła, energii elektrycznej i wody. Liczniki same w sobie niczego nie oszczędzają, ale mogą zachęcać do oszczędzania energii. Przy takim systemie rozliczeń producenci i dostawcy surowców odpisują konsumentom wszystko, co wyprodukowali, wraz z wyciekami i stratami ciepła podczas transportu. Przewrotność systemu polega na tym, że producenci zasobów nie są zainteresowani identyfikacją i eliminacją swoich strat i oczywiście będą przeciwni jakiegokolwiek systemowi pomiaru bezpośrednio u konsumenta [6].

Perspektywy wykorzystania technologii energooszczędnych Energochłonność w budownictwie. Stosowane obecnie konstrukcje prefabrykowane i budynki murowane o wysokości powyżej 5 kondygnacji są materiałochłonne i zużywają znaczną ilość zasobów energetycznych. Przechodząc do budowy budynków mieszkalnych nowej generacji, których projekty zostały opracowane przez naukowców, możliwe jest zmniejszenie ich specyficznego zużycia materiałów, a tym samym kosztów energii.

Obniżenie kosztów energii do produkcji materiałów budowlanych można osiągnąć poprzez następujące działania.

Obniżenie kosztów paliwa i energii w produkcji materiałów budowlanych można osiągnąć poprzez wprowadzenie nowych technologii, nowych urządzeń, jednostek termicznych.

Wiąże się to z dużymi inwestycjami kapitałowymi i powinno być rozwiązane z pomocą rządu.

Tak więc obecnie istnieje wiele rozwiązań technologicznych, które zapewniają wzrost efektywności energetycznej budynków mieszkalnych: ocieplenie elewacji, beton lekki, konstrukcje okienne, systemy wentylacji z odzyskiem ciepła, konstrukcje domów szerokokadłubowych, opomiarowanie i sterowanie ciepłem systemu itp.

Najważniejszym zadaniem jest stworzenie bazy norm budowlanych. Regulacje powinny być kształtowane długookresowo, dając uczestnikom rynku wytyczne na przyszłość, tworząc swego rodzaju korytarze technologiczne. Obok środków przymusu konieczne jest stworzenie systemu bodźców ekonomicznych zachęcających do wprowadzania energooszczędnych technologii: ulg podatkowych, dotacji, tworzenia stref efektywności energetycznej. Poważnych wysiłków ze strony państwa wymaga także rozwiązanie problemu kształtowania kwalifikowanych odbiorców energooszczędnych rozwiązań w budownictwie mieszkaniowym.

Referenses

1. Viazemskaja A.I. Energosberigauacie technologii w stroitelstwie [Budiwnuctwo ta neruchomost. № 48. 2015] (in Ukrainian).
2. Drapaluk M. V. Vpluv sposobu formuwannia betonnych konstrukcij na harakterustuku micnosti / Drapaluk M.V., Pulupenko. Kniv. № 36 2019 SS.- 42-45. (in Ukrainian).
3. Kirnev A.D., (2005). *Technologia vozvedenia zdanii i specialnuh sooruzheniy*. [Technology of erection of buildings and special constructions]. – Charkow: Fenics. 2018,– S. 247. (in Ukrainian).
4. Krarti, M., Dubey, K., & Howarth, N. (2019). Energy productivity analysis framework for buildings: a case study of GCC region. *Energy*, 167, 1251-1265. doi:10.1016/j., 2018.
5. Majcen, D., Itard, L., & Visscher, H. (2016). Actual heating energy savings in thermally renovated Dutch dwellings. *Energy Policy*, 97, 82-92. doi:10.1016/j.,2016.

Література

1. Вяземська А. Енергозберігаючі технології в будівництві // Будівництво та нерухомість, № 48. 2015- 218 с.
2. Драпалюк М.В. / Вплив способу формування бетонних конструкцій на характеристики міцності / М.В. Драпалюк, В.М. Пилипенко. Нові технології в будівництві, Київ. №36, 2019-42-45 с.
3. Кирнев А.Д. / *Технология возведения зданий и специальных сооружений*/ А.Д. Кирнеев, Харьков, Феникс, 2018-247 с.
4. Krarti, M. Energy productivity analysis framework for buildings: a case study of GCC region. *Energy*, 4. Krarti, M., Dubey, K., & Howarth, N. 167, 1251-1265. doi:10.1016/j., 2018.
5. Majcen, D., Itard, L., & Visscher, H. (2016). Actual heating energy savings in thermally renovated Dutch dwellings. *Energy Policy*, 97, 82-92. doi:10.1016/j., 2016.

**ОСОБЛИВОСТІ ЗАСТОСУВАННЯ ЧИСЕЛЬНИХ
МЕТОДІВ ДЛЯ АНАЛІЗУ НАПРУЖЕНОГО СТАНУ
ПОРИСТИХ БУДІВЕЛЬНИХ МАТЕРІАЛІВ**

**FEATURES OF NUMERICAL METHODS APPLICATION
FOR THE ANALYSIS OF THE STRESS STATE OF
POROUS BUILDING MATERIALS**

Заякін Д.К., аспірант, Мікуліч О.А., д.т.н., проф. (Луцький національний технічний університет)

Zaiakin D.K, Ph.D. student, Mikulich O.A., Doctor of Engineering, Professor (Lutsk National Technical University),

Робота присвячена аналізу меж придатності основних числових методів прикладної математики до аналізу механічної поведінки структурно-неоднорідних будівельних матеріалів, а також визначенню основних переваг та обмежень при їх застосуванні. У роботі здійснено порівняльний аналіз наступних методів: метод скінченних елементів, метод граничних елементів, метод сіток, метод кінцевих різниць. У роботі також розглянуто можливі комбінації вказаних методів для зменшення похибки числових розрахунків.

The work is devoted to analyzing the possibilities of applicability of some numerical methods of applied mathematics to the analysis of the mechanical behavior of structurally heterogeneous construction materials. The main advantages and disadvantages of the application of these methods are determined. In the work, a comparative analysis of the following methods as the finite element method, boundary element method, mesh method, and finite difference method was carried out. The paper examines the advantages and limitations of each of the numerical analysis methods described above.

The discrete element method is most suitable for modeling the behavior of materials in terms of microstructure and interaction of individual elements. It allows you to describe in detail the mechanical behavior of the material, in particular, deformation, stress, and places of localization of damage. However, this method requires significant computing resources and long calculation time, especially when modeling large systems.

The finite element method is a widely used method for analyzing the behavior of porous material. It allows modeling of various physical processes and provides flexibility in modeling complex geometries. MSE is effective for medium-scale problems. However, when modeling heterogeneous materials or rapidly changing processes, this method may require complex approximations and refinements.

The boundary element method is an effective method for modeling the influence of boundaries on the behavior of porous materials. It allows you to study heat transfer,

mass transfer, and other processes that occur at the boundaries of the material. BEM provides high accuracy and efficient use of computing resources but is limited in its ability to model internal material processes.

The mesh method is used to approximate the levels in the entire study area. This method provides flexibility in choosing the type of mesh and separation, which allows for achieving the desired accuracy of the simulation. However, the mesh method can be computationally expensive with a large number of grid nodes, especially for 3D models.

For the case of the application finite differences method, the studied area is divided into a grid of points, and at each point, the difference equations are performed. This method provides numerical solutions of differential equations and modeling of physical processes in porous materials.

The work also considers the possibility of combinations of these methods to reduce the error of numerical calculations.

Ключові слова: числові методи, будівельні матеріали.

Keywords: numerical methods, building materials.

Вступ. Використання пористих будівельних матеріалів, таких як пінобетон, кераміка та ін. щороку істотно зростає у будівництві та дозволяє реалізувати різні інженерні рішення та проекти. Крім того, використання таких матеріалів у будівництві дозволяє збільшити експлуатаційні періоди та запобігти процесам руйнування від дії агресивних факторів навколишнього середовища.

Такі матеріали мають складну структуру за рахунок наявності повітряних пор та каналів. Тому аналіз механічної поведінки цих матеріалів істотно ускладнюється. Це пов'язано з неможливістю або істотним ускладненням застосування методів класичної теорії пружності.

При дослідженні швидкості руйнування та визначенні основних першопричин таких процесів слід враховувати низку змінних факторів, що частково залежать від властивостей самого матеріалу, а частково від різних впливів навколишнього середовища, які діють окремо або в різних комбінаціях. Тому швидкість та причини руйнування пористих будівельних матеріалів можуть варіюватися в широкому діапазоні, а прямі причинно-наслідкові зв'язки визначити нелегко.

Тому для вивчення впливу механічних властивостей цих матеріалів на зміну напружено-деформованого стану відповідних елементів конструкцій за дії різних типів навантажень досить часто застосовуються методи числового аналізу. Використання числового моделювання дозволяє здійснювати попередню інтерпретацію процесів руйнування на основі аналізу напружено-деформованого стану відповідних елементів конструкцій. Використання таких підходів числового моделювання дозволяє інженерам та конструкторам виявити певні недоліки, а також здійснити поступове уточнення отриманих моделей.

Постановка мети та задач досліджень. Робота присвячена аналізу особливостей застосування низки числових методів, які дозволяють проводити аналіз механічної поведінки елементів конструкцій, виготовлених з пористих матеріалів. Крім того, у статті здійснено аналіз переваг та обмежень при реалізації відповідних числових методів.

Основна частина. Механічну поведінку пористих будівельних матеріалів можна дослідити на основі моделювання процесів деформування у крихких структурно-неоднорідних матеріалах. Поряд з числовим моделюванням обов'язковим є проведення експериментальних досліджень шляхом випробувань на розтяг та стиск відповідних дослідних зразків. Такі експериментальні дослідження дозволяють не тільки наочно оцінити тип руйнування матеріалів, а і визначити залежність між навантаженнями та деформаціями. Це у свою чергу дозволяє здійснити адекватний вибір моделей, що будуть використані при числовому експерименті.

Серед великої кількості числових методів у цій статті буде проведено аналіз меж придатності кожного з розглянутих підходів, а також визначено переваги їх застосування.

Метод дискретних елементів (МДЕ) є одним з найпоширеніших методів числового аналізу сипучих та гранульованих будівельних матеріалів. Він базується на поділі досліджуваного об'єкта на окремі дискретні елементи. Кожен елемент представляється відповідно до його геометрії та властивостей. Застосування цього методу дозволяє провести аналіз руху великої кількості частинок. Крім того, МДЕ дозволяє детально вивчити поведінку матеріалу в залежності від його структури та внутрішніх напружень.

Перевагами цього методу є, зокрема, здатність моделювати складну геометрію та структуру матеріалів та можливість враховувати вплив внутрішніх пор та каналів на механічні властивості матеріалів.

Серед програмних комплексів, що працюють на основі методу дискретних елементів, можна виділити наступні [1]:

- Kratos Multiphysics розроблено CIMNE (Міжнародним центром чисельних методів у інженерії) у Барселоні та охоплює всі види чисельного моделювання, включаючи DEM/PEM та DEM/PEFM-FEM.
- YadeDEM — пакет DEM, спеціально розроблений для геомеханіки.
- Woo — це розгалуження YadeDEM із сильним фокусом на паралельних обчисленнях і портативності.
- LIGGGHTS — програмне забезпечення DEM загального призначення, яке включає моделювання теплопередачі та базується на LAMMPS.
- ESyS Particle розроблено в Університеті Квінсленда, Австралія, зосереджено на геонаукових/геотехнічних застосуваннях.

Крім вказаних програмних продуктів, що мають свою обчислювальну специфіку, націлену на вирішення конкретних задач, також широкі можливості мають DEM-пакети загального призначення: GranOO, LAMMPS, MercuryDPM.

OpenFOAM [2], розроблений на основі методу дискретних елементів, дозволяє здійснювати моделювання на основі частинок Ейлера-Лагранжа. Кожен процес у OpenFOAM шукає частинку в локальній сітці, якщо її знайдено, гідродинамічна сила опору та крутний момент обчислюються за допомогою швидкості рідини в положенні частинки (доступні два методи інтерполяції) та швидкості частинки (рис. 1).

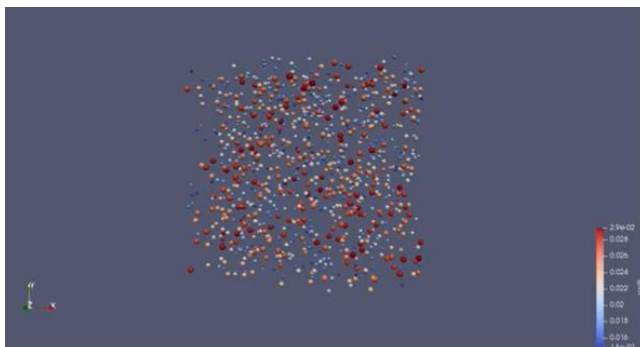


Рис. 1. Результати числового моделювання у OpenFOAM [2]

Проте, використання методу дискретних елементів пов'язане зі значною обчислювальною складністю при моделюванні систем з великою кількістю елементів та обмеженою можливістю моделювання динамічних процесів.

Метод скінченних елементів — один з основних методів числового аналізу різних типів неоднорідних, зокрема пористих, матеріалів. Він базується на поділі досліджуваного об'єкта на скінченні елементи, які взаємодіють між собою через вузли. Матеріальні властивості та граничні умови встановлюються для кожного елемента, а потім розв'язується система рівнянь для отримання поведінки матеріалу [3].

Перевагами такого числового підходу є здатність моделювати різні види навантажень та граничні умови, врахувати особливість геометрії та матеріальних властивостей об'єкта, а також з здійснювати розрахунок для різних типів аналізу, включаючи механічний, тепловий та електромагнітний.

Перелік програмних комплексів, що працюють на основі методу скінченних елементів значно більший [4], оскільки на сьогоднішній день

МСЕ є основним методом у будівельній інженерії для автоматизованого розрахунку балкових і поверхневих конструкцій [5].

При числовому моделюванні температурних чи силових впливів на елементи конструкцій, що мають структурну неоднорідність, слід враховувати дискретність будови матеріалу та додавати їх як додаткові умови при числових розрахунках (рис.2), як, наприклад, це зроблено у [6].

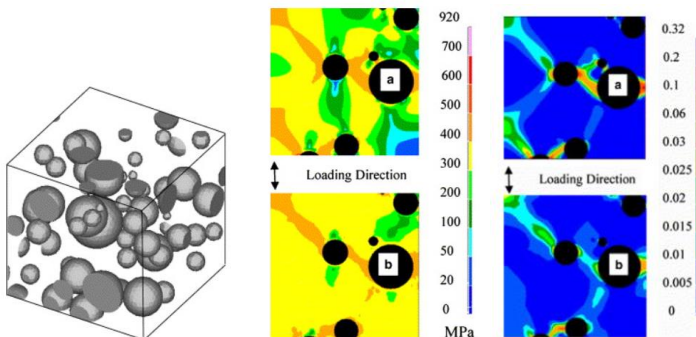


Рис. 2. Числовий аналіз МСЕ у випадку пористих матеріалів [6]

Недоліки реалізації МСЕ до розрахунку пористих будівельних матеріалів пов'язані з обчислювальною складністю при моделюванні великих дискретних систем складної геометрії, складністю у визначенні точних граничних умов та додаткових фізичних характеристик матеріалів.

Метод граничних елементів (МГЕ) також при його модернізації може бути використаний для числового аналізу розподілу напружень та деформацій у елементах конструкцій, що виготовлені з пористих матеріалів. Цей метод базується на поділі досліджуваного об'єкта на область тіла та граничну область. Визначальні співвідношення більш детально описуються у граничній області, в той час як область тіла моделюється за допомогою обмежень та припущень. Задовольняючи граничні умови на межі області, задача зводиться до інтегральних чи інтегро-диференціальних рівнянь. На основі отриманих результатів проводиться оцінка поведінки матеріалу за дії різних типів силових та температурних впливів [7].

Переваги методу граничних елементів при розрахунку елементів конструкцій, виготовлених зі структурно-неоднорідних пористих матеріалів, полягають у можливості дослідження механічних та теплових процесів на границях областей. Крім того, МГЕ не вимагає значних обчислювальних потужностей при моделюванні великих систем.

Проте, метод граничних елементів вимагає додаткових модернізацій при дослідженні внутрішніх процесів в матеріалах. Крім того, для МГЕ

існує залежність отриманих числових результатів від точності визначення граничних умов та припущень, що використовуються для моделювання областей тіла.

Метод сіток є іншим поширеним методом числового аналізу, що може бути застосований до аналізу механічної поведінки пористих будівельних матеріалів. Він базується на розбитті досліджуваного об'єкта на сітку точок, яка покриває всю область. Застосування методу сіток дозволяє апроксимувати рівняння, які описують поведінку пористих будівельних матеріалів, на вузлах сітки. Цей метод дозволяє розв'язувати диференціальні рівняння та моделювати різноманітні фізичні процеси в структурно-неоднорідних, зокрема, у пористих матеріалах.

Алгоритми та програмне забезпечення, розроблене на основі методу сіток, дозволяє моделювати різноманітні фізичні процеси, включаючи теплопередачу, масоперенос та механічну взаємодію, володіє високою гнучкістю при моделюванні складних геометричних структур. Крім того, основною перевагою методу сіток при розрахунку пористих матеріалів є можливість використовувати різні типи сіток (структуровані та неструктуровані) для досягнення оптимальної точності моделювання [8].

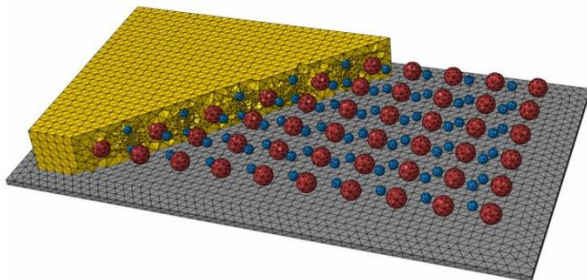


Рис. 3. Використання методу сіток при числовому аналізі [8]

Проте, якість та точність числових розрахунків істотно залежність від якості сітки та її розділення. Крім того, обчислювальна складність може зростати зі збільшенням розміру сітки та складності геометрії тіла.

Метод скінченних різниць — метод числового аналізу, що дозволяє при деяких модифікаціях проводити аналіз розподілу напружень та деформацій у пористих матеріалах. Він базується на апроксимації похідних в диференціальних рівняннях. Досліджувана область розбивається на сітку точок, і на кожній точці отримуються різницеві рівняння, які дозволяють апроксимувати поведінку матеріалу. Метод кінцевих різниць забезпечує чисельне розв'язування диференціальних рівнянь та моделювання фізичних процесів в пористих матеріалах [9].

Перевагою методу скінченних різниць є можливість його застосування до дослідження динамічних процесів, таких як теплопередача, дифузія речовин та механічна взаємодія. Крім того, він не потребує великих обчислювальних ресурсів для своєї реалізації при моделюванні великих систем.

Проте, числові результати, отримані при застосуванні цього методу, істотно залежать від розділення сітки та її кроку, що може вплинути на точність та стабільність розв'язку. Моделювання складних геометричних структур вимагає значних уточнень при застосуванні методу скінченних різниць.

Кожен з методів числового аналізу, описаних вище, має свої переваги та обмеження. Вибір методу залежить від конкретних потреб дослідження та характеристик матеріалів, а також від обсягу розрахунків та доступних ресурсів.

Для досягнення більш точних та достовірних результатів часто застосовують комбінацію різних методів. Наприклад, можна використовувати МДЕ для детального моделювання мікроструктури матеріалу та МСЕ для моделювання поведінки елементів конструкцій, що виготовлені зі структурно-неоднорідних матеріалів та мають складну геометрію. Це дозволяє поєднати переваги обох методів та отримати комплексний аналіз.

В конкретних дослідженнях можна проводити порівняльний аналіз різних методів та їх комбінацій, порівнюючи отримані результати з експериментальними даними або аналітичними розв'язками, що можна отримати для деяких класів задач. Це дозволяє оцінювати ефективність і достовірність кожного методу та визначити оптимальну стратегію для конкретного дослідження у випадку пористих будівельних матеріалів.

Крім того, важливо враховувати обмеження кожного методу та його застосовність для конкретного типу дослідження. Наприклад, МДЕ може бути складним у використанні для великих систем через обчислювальну складність, тоді як МКР може мати обмеження у моделюванні складних геометрій.

Висновки. Вибір методу числового аналізу пористих будівельних матеріалів залежить від конкретних вимог дослідження, доступних ресурсів та обмежень. Комбінація різних методів та аналіз їх переваг та обмежень дозволить отримати більш точні та достовірні результати. Важливо проводити порівняльні дослідження та перевіряти отримані результати з експериментальними даними для оцінки якості та надійності моделей числового аналізу пористих будівельних матеріалів.

References

1. <https://www.simonwenkel.com/lists/software/list-of-opensource-DEM-software.html>
2. <https://yade-dem.org/doc/FoamCoupling.html>
3. Motamedy, D., Mohammadi S.: Dynamic analysis of fixed cracks in composites by extended finite element method. *Engineering Fracture Mechanics*. 77, 2010, PP. 3373–3393.
4. https://en.wikipedia.org/wiki/List_of_finite_element_software_packages
5. <https://www.dlupal.com/en/solutions/application-areas/finite-element-analysis-fea-software>
6. Shen H., Brinson L.C.: Finite element modeling of porous titanium. *International Journal of Solids and Structures*, Vol. 44(1), 2007, PP. 320-335.
7. Banerjee P.: *Boundary Element Method in Engineering Science*. McGraw Hill, New York, London, 1994.
8. Würkner M., Eisenträger S., Berger H., Gabbert U.: A software platform for the analysis of porous die-cast parts using the finite cell method.: *Analysis and Modelling of Advanced Structures and Smart Systems*, 2018, PP. 295-296.
9. Chen, Y. M.: Numerical computation of dynamic stress intensity factors by a Lagrangian finite-difference method (the hemp code). *Eng. Fract. Mech.*, 7(4), 653–660 (1975).

Література

1. <https://www.simonwenkel.com/lists/software/list-of-opensource-DEM-software.html>
2. <https://yade-dem.org/doc/FoamCoupling.html>
3. Motamedy, D., Mohammadi S.: Dynamic analysis of fixed cracks in composites by extended finite element method. *Engineering Fracture Mechanics*. 77, 2010, PP. 3373–3393.
4. https://en.wikipedia.org/wiki/List_of_finite_element_software_packages
5. <https://www.dlupal.com/en/solutions/application-areas/finite-element-analysis-fea-software>
6. Shen H., Brinson L.C.: Finite element modeling of porous titanium. *International Journal of Solids and Structures*, Vol. 44(1), 2007, PP. 320-335.
7. Banerjee P.: *Boundary Element Method in Engineering Science*. McGraw Hill, New York, London, 1994.
8. Würkner M., Eisenträger S., Berger H., Gabbert U.: A software platform for the analysis of porous die-cast parts using the finite cell method.: *Analysis and Modelling of Advanced Structures and Smart Systems*, 2018, PP. 295-296.
9. Chen, Y. M.: Numerical computation of dynamic stress intensity factors by a Lagrangian finite-difference method (the hemp code). *Eng. Fract. Mech.*, 7(4), 653–660 (1975).

**ТЕПЛОВА НАДІЙНІСТЬ СТІН ЖИТЛОВИХ БУДІВЕЛЬ
У РЕГІОНАХ УКРАЇНИ**

**RESIDENTIAL BUILDINGS WALLS THERMAL RELIABILITY
IN THE REGIONS OF UKRAINE**

**Карюк А.М., к.т.н., доцент (Національний університет
«Полтавська політехніка імені Юрія Кондратюка»)**

**Kariuk A., Ph.D., Associate Professor (National University
«Yuri Kondratyuk Poltava Polytechnic»)**

За раніше розробленою методикою для 26 регіонів України отримані імовірні тривалості стану теплової відмови стін житлових будівель за критерієм перевищення допустимого температурного перепаду між внутрішнім повітрям і внутрішньою поверхнею огороження. Встановлено, що в межах території України тривалості теплових відмов змінюються в межах 14...28 хвилин/рік. Аналіз їх територіальної мінливості вказує на можливість розділення першої температурної зони України на дві зони з децю різними значеннями мінімально необхідного опору теплопередачі стін. АР Крим та Південний берег Криму також можна виділити в окремі зони, встановивши для них понижені значення мінімально необхідного опору теплопередачі стін.

An adequate indicator of thermal reliability level is the probable duration of thermal failure condition according to the criterion of exceeding permissible temperature difference between the indoor air and enclosure inner surface. The purpose of this work is to estimate probable durations of thermal failures of residential building walls in different regions of Ukraine and based on the results of their comparative analysis to make conclusions about the need to specify the minimum required values of heat transfer resistance.

The research was carried out according to methodology published in the author's previous works, which enables determining the probable duration of thermal failure conditions, taking into account statistical characteristics of the atmospheric air temperature in each of the administrative regions of Ukraine. As estimated, within the territory of Ukraine duration of thermal failures varies between 14...28 minutes/year. Based on the calculations results a schematic map was built, which enabled analyzing the nature of territorial variability of thermal failures duration. Within the limits of the first temperature zone of Ukraine according to DBN B.2.6-31:2021 (State Building Regulations), «Thermal insulation and energy efficiency of buildings» probable duration of the walls thermal failures operated in the north-eastern oblasts (Chernihiv, Sumy, Kharkiv, Luhansk, Poltava) is close to thermal failures duration, which is typical for the

second temperature zone. The probable duration of wall thermal failures under conditions of central and western Ukraine is somewhat shorter.

For a more accurate alignment of walls' thermal reliability indicators on the territory of Ukraine, it is advisable to allocate a separate temperature zone consisting of 14 oblasts from central and western Ukraine, defining for it the minimum permissible value of heat transfer resistance of residential and public buildings walls $R_0 = 3.7 \text{ m}^2 \times \text{K/W}$. Reduced requirements for wall heat transfer resistance can also be established for the Autonomous Republic of Crimea and the Southern coast of Crimea, for which significantly shorter durations of thermal failures have been obtained as a result of a warmer climate.

Ключові слова: стіни житлових будівель, імовірні тривалості теплових відмов, територіальна мінливість рівня теплової надійності

Keywords: residential buildings walls, thermal failures probable duration, territorial variability of thermal reliability level

Вступ. Для забезпечення достатнього рівня теплової надійності огорожень норм [1] встановлюють мінімально необхідні значення опору теплопередачі для двох температурних зон України. Окрім того, обмежується значення температурного перепаду між внутрішнім повітрям і внутрішньою поверхнею огороження, а також перевіряється можливість утворення конденсату в зонах підвищеної теплопередачі. Точність регулювання рівня теплової надійності можна оцінити шляхом аналізу значень імовірної тривалості стану теплової відмови за критерієм перевищення допустимого температурного перепаду між внутрішнім повітрям і внутрішньою поверхнею огороження в різних регіонах України.

Аналіз останніх досліджень. Методика визначення імовірної тривалості стану теплових відмов за критеріями перевищення допустимого температурного перепаду (критерій комфортності) та утворення конденсату в зонах підвищеної теплопередачі розроблена в [2]. Там же показано, що при адекватному виборі опору теплопередачі огорожувальної конструкції утворення конденсату на її внутрішній поверхні поза зонами підвищеної теплопередачі є практично неможливою подією.

Для визначення імовірної тривалості теплових відмов за методикою [2] необхідно представити температуру внутрішнього повітря та опір теплопередачі огороження у формі випадкових величин з нормальним законом розподілу, а температуру атмосферного повітря – у формі

послідовності з 12-ти нормально розподілених величин для кожного з місяців року.

Статистичні характеристики температури внутрішнього повітря в житлових приміщеннях отримані за результатами вимірювань, які проводилися в декількох квартирах протягом опалювального сезону, та наведені в [2]. Встановлено, що при ручному регулюванні температури теплоносія в автономній системі опалення математичне сподівання температури внутрішнього повітря становить 20...24°C, а стандарт можна вважати рівним 0,6°C. Отримані з урахуванням результатів експериментальних випробувань залежності для орієнтовного визначення статистичних характеристик опору теплопередачі стін типових конструкцій через його розрахункове значення наведені в [2]. Встановлено, що математичне сподівання опору теплопередачі приблизно на 5% більше від його розрахункового значення, а коефіцієнт варіації можна вважати близьким до 0,06.

Імовірнісне подання температури повітря у формі випадкових процесів або місячних послідовностей випадкових величин виконане в [3, 4], де також наведені статистичні характеристики температури атмосферного повітря для кількох сотень пунктів спостереження України. Ці дані використані в роботі [5] для проведення адміністративно-територіального районування України за статистичними характеристиками температури атмосферного повітря. Для 26 регіонів України (24 області, АР Крим та Південний берег Криму) встановлені значення математичного сподівання й стандарту температури повітря для кожного місяця року.

Описані результати досліджень [3, 4, 5] дозволяють здійснити оцінювання імовірної тривалості теплових відмов за критерієм комфортності в різних регіонах України, проаналізувати їх територіальну мінливість і зробити висновки щодо правильності нормування мінімально необхідного опору теплопередачі в [1].

Мета дослідження: оцінити імовірні тривалості теплових відмов стін житлових будівель в різних регіонах України та на базі їх порівняльного аналізу зробити висновки щодо необхідності уточнення мінімально необхідних значень опору теплопередачі.

Методика дослідження та початкові дані. В основу виконаних нижче розрахунків покладена методика оцінювання імовірної тривалості теплових відмов, розроблена в [2]. Аналізуються стіни житлових будівель комплексної конструкції: несуча частина з цегли чи ніздрюватого бетону,

фасадне утеплення з мінеральної вати чи іншого подібного матеріалу, захисні шари та оздоблення. Розрахункові значення опору теплопередачі стін приймаються рівними мінімально необхідному значенню, встановленому ДБН [1]: $R_0 = 4,0 \text{ м}^2 \times \text{К/Вт}$ – для першої температурної зони та $R_0 = 3,5 \text{ м}^2 \times \text{К/Вт}$ – для другої.

Для кожного з місяців опалювального сезону з середньою температурою зовнішнього повітря, меншою за $+8^\circ\text{C}$, обчислюються математичне сподівання й стандарт температури внутрішньої поверхні стіни за формулами [2]:

$$M_w = \frac{1}{M_R \cdot \alpha_{in}} [M_{in} (M_R \cdot \alpha_{in} - 1) + M_{out}], \quad (1)$$

$$S_w = \frac{1}{M_R \cdot \alpha_{in}} \sqrt{S_{out}^2 + (M_{in} \cdot \alpha_{in} - 1)^2 S_{in}^2 + \frac{(1 - M_R \cdot \alpha_{in})^2}{M_R^2} \cdot S_R^2}, \quad (2)$$

де M_{out} , S_{out} – математичне сподівання й стандарт температури зовнішнього повітря для обраного регіону за даними [4];

$M_{in} = +20^\circ\text{C}$ – математичне сподівання температури повітря в приміщенні, рівне розрахунковому значенню за [1];

$S_{in} = 0,6^\circ\text{C}$ – стандарт температури внутрішнього повітря за [2];

$\alpha_{in} = 8,7 \text{ Вт}/(\text{м}^2 \text{ К})$ – коефіцієнт тепловіддачі внутрішньої поверхні стіни;

M_R , S_R – математичне сподівання й стандарт опору теплопередачі стіни. Згідно з описаними вище наближеними залежностями з [2], $M_R = 3,465 \text{ м}^2 \times \text{К/Вт}$, $S_R = 0,208 \text{ м}^2 \times \text{К/Вт}$ для першої температурної зони України та $M_R = 2,940 \text{ м}^2 \times \text{К/Вт}$, $S_R = 0,176 \text{ м}^2 \times \text{К/Вт}$ для другої температурної зони. Наближене визначення цих характеристики цілком допустиме для здійснення порівняльного аналізу показників теплової надійності конструктивно близьких стін у різних регіонах України.

Математичне сподівання й стандарт різниці температур внутрішнього повітря та внутрішньої поверхні стіни дорівнюють :

$$M_\Delta = M_{in} - M_w, \quad S_\Delta = \sqrt{S_{in}^2 + S_w^2}, \quad (3)$$

де M_w , S_w – статистичні характеристики температури внутрішньої поверхні стіни (1), (2).

Характеристики (3) дозволяють за формулами з [2] обчислити тривалості стану теплової відмови Q_j у хвилинах для кожного j -того місяця опалювального періоду, сумарну протягом року тривалість стану теплової відмови Q , а також відносну тривалість стану теплової відмови Q_{rel} :

$$Q_j = 43920 [1 - F(\Delta_{\max})], \quad Q = \sum_j Q_j, \quad Q_{\text{rel}} = Q/525600 \quad (4)$$

де $F(\Delta_{\max})$ – функція нормального розподілу температурного перепаду Δ з числовими характеристиками (3);

$\Delta_{\max} = 4^\circ\text{C}$ – гранично допустима різниця температур внутрішнього повітря та внутрішньої поверхні стіни житлової будівлі за [1];

43920 і 525600 – тривалості місяця та року в хвиликах.

Результати обчислень та їх аналіз. За формулами (1)...(4) з урахуванням вказаних вище початкових даних та статистичних характеристик температури атмосферного повітря з виконанні обчислення для 26 регіонів України. Результати обчислень наведені в таблиці 1, яка містить імовірні тривалості теплових відмов Q (хвилин на рік) та відносні тривалості теплових відмов Q_{rel} , близькі до імовірності виникнення теплової відмови на протязі одного року. За наявними даними визначені також найменші, найбільші та середні значення тривалості теплових відмов для першої та другої температурної зони України. Візуалізація даних таблиці 1 здійснена на рисунку 1, який дозволяє проаналізувати тенденції територіальних змін рівня теплової надійності в різних регіонах України.

Порівняння наведених в таблиці 1 меж зміни тривалості теплових відмов в областях, що відносяться до першої та до другої температурної зони за [1] показало їх близькість. Дещо більше (на 20%) відрізняються середні значення тривалості теплових відмов, хоча таку різницю також не слід вважати критичною. Різко виділяється Південний берег Криму з його набагато теплішим кліматом, тому цей регіон не враховувався при визначення узагальнених характеристик для другої кліматичної зони в таблиці 1.

Аналіз карти з рисунка 1 дозволив виявити виражені закономірності територіальних змін тривалості теплових відмов у межах першої температурної зони. Тривалості теплових відмов для північно-східних областей (Чернігівська, Сумська, Харківська, Луганська, Полтавська) змінюються в межах 21,6...25,5 хвилин/рік, що досить близько до областей з другої кліматичної зони (за винятком Криму). Для центральної та західної частини України тривалості теплових відмов є помітно меншими, змінюючись в межах 14,1...19,9 хвилин/рік.

Така закономірність може вказувати на необхідність виділення третьої температурної зони у складі 14 областей, виділених в таблиці 1 жирним курсивом.

Таблиця 1

Імовірні тривалості теплових відмов стін житлових будівель

Регіони України	Q хв/рік	Q _{rel}
Перша температурна зона R ₀ = 4,0 м ² ×К/Вт		
<i>Вінницька</i>	18,2	3,47E-05
<i>Волинська</i>	15,0	2,86E-05
<i>Дніпропетровська</i>	17,2	3,28E-05
<i>Донецька</i>	19,4	3,69E-05
<i>Житомирська</i>	19,1	3,64E-05
<i>Івано-Франківська</i>	16,2	3,09E-05
<i>Київська</i>	19,9	3,79E-05
<i>Кіровоградська</i>	17,2	3,28E-05
Луганська	22,8	4,35E-05
<i>Львівська</i>	14,1	2,68E-05
Полтавська	21,6	4,12E-05
<i>Рівненська</i>	16,1	3,06E-05
Сумська	25,5	4,85E-05
<i>Тернопільська</i>	16,5	3,15E-05
Харківська	24,2	4,60E-05
<i>Хмельницька</i>	17,5	3,32E-05
<i>Черкаська</i>	19,2	3,66E-05
<i>Чернівецька</i>	14,2	2,71E-05
Чернігівська	23,6	4,48E-05
Мінімум	14,1	2,68E-05
Максимум	25,5	4,85E-05
Середнє	18,8	3,58E-05
Друга температурна зона R ₀ = 3,5 м ² ×К/Вт		
Закарпатська	24,0	4,57E-05
Запорізька	28,0	5,33E-05
Миколаївська	24,7	4,70E-05
Одеська	21,4	4,08E-05
Херсонська	21,8	4,14E-05
Крим	14,9	2,84E-05
ПБ Криму	7,4	1,41E-05
Мінімум	14,9	2,84E-05
Максимум	28,0	5,33E-05
Середнє	22,5	4,28E-05

Для цієї зони слід встановити окреме мінімально необхідне значення опору теплопередачі стін. Розрахунки показали, що при R₀ = 3,7 м²×К/Вт тривалості теплових відмов стін у перелічених областях

теплопередачі стін можна також встановити для АР Крим та Південного берега Криму, для яких отримані значно менші тривалості теплових відмов унаслідок теплішого клімату.

References

1. DBN В.2.6-31:2021 «Теплова ізоляція та енергоефективність будівель». – К., 2021. – 27 с.
2. Kariuk A., Pashynskiy V., Pashynskiy M., Mammadova F. (2022) Methods of Probabilistic Assessment of Building Enclosing Structures Thermal Reliability // Lecture Notes in Civil Engineering, 2022, 181, pp. 179-189. https://doi.org/10.1007/978-3-030-85043-2_18
3. Kariuk A.M. Statystychni kharakterystyky serednodobovoi temperatury povitria na terytorii Ukrainy / A.M. Kariuk, V.V. Pashynskiy // Visnyk Odeskoi derzhavnoi akademii budivnytstva ta arkhitektury. – Odesa: Zovnishreklamservis, 2012 – Vypusk № 47, chastyna 2. – S. 157-163.
4. Temperaturni vplyvy na ohorodzhualni konstruktsii budivel (monohrafiia) / V.A. Pashynskiy, N.V. Pushkar, A.M. Kariuk / Odeska derzhavna akademiia budivnytstva ta arkhitektury. – Odesa, 2012. – 180 s.
5. Kariuk A.M. (2022). Raionuvannya kharakterystyk temperatury povitria dlia otsiniuvannya teplovoi nadiinosti ohorodzhualnykh konstruktsii. Suchasni tekhnolohii ta metody rozrakhunkiv u budivnytstvi: zbirnyk naukovykh prats, 17, 53-60.

Література

1. ДБН В.2.6-31:2021 «Теплова ізоляція та енергоефективність будівель». – К., 2021. – 27 с.
2. Kariuk A., Pashynskiy V., Pashynskiy M., Mammadova F. (2022) Methods of Probabilistic Assessment of Building Enclosing Structures Thermal Reliability // Lecture Notes in Civil Engineering, 2022, 181, pp. 179-189. https://doi.org/10.1007/978-3-030-85043-2_18
3. Карюк А.М. Статистичні характеристики середньодобової температури повітря на території України / А.М. Карюк, В.В. Пашинський // Вісник Одеської державної академії будівництва та архітектури. – Оdesa: Зовнішрекламсервіс, 2012 – Випуск № 47, частина 2. – С. 157-163.
4. Температурні впливи на огорожувальні конструкції будівель (монографія) / В.А. Пашинський, Н.В. Пушкар, А.М. Карюк / Одеська державна академія будівництва та архітектури. – Оdesa, 2012. – 180 с.
5. Карюк А.М. (2022). Районування характеристик температур повітря для оцінювання теплової надійності огорожувальних конструкцій. Сучасні технології та методи розрахунків у будівництві: збірник наукових праць, 17, 53-60.

**ДОСЛІДЖЕННЯ ВПЛИВУ МАТЕРІАЛІВ ПРОНИКНОЇ ДІЇ ДЛЯ
ВІДНОВЛЕННЯ І РЕМОНТУ БУДІВЕЛЬ І СПОРУД ТМ NAVYCON**

**STUDY OF THE EFFECT OF PENETRATING MATERIALS FOR
RESTORATION AND REPAIR OF NAVYCON TM BUILDINGS AND
STRUCTURES**

Костюк Т.А., д.т.н., професор, Кас'яненко К.В., студентка (Харківській національний університет міського господарства імені О.М. Бекетова), Кислюк Д.Я., к.т.н., доцент (Луцький національний технічний університет, м. Луцьк)

Kostyuk T.A., Doctor of Engineering, Professor, Kasianenko K.V., student (Kharkiv National University of Urban Economy named after O.M. Beketov), Kysliuk D.Y., Ph.D. in Engineering, Associate Professor (Lutsk National Technical University)

Встановлено закономірності формування структури цементних композитів з метою покращення їх гідрофізичних та фізико-механічних характеристик. Проаналізовано введення добавок електролітів для синтезу додаткових кристалогідратів у структурі цементних композитів задля підвищення їх щільності і водонепроникності.

Establishment and use of regularities in the formation of the structure of cement composites to improve their hydrophysical and physico-mechanical characteristics.

It was established that the increase in water resistance is ensured by the synthesis of additional crystal hydrates and their formation on the surfaces of pores and capillaries taking into account their electro-surface properties, in particular, it was established that crystal hydrates form electroheterogeneous contacts with the structural elements of cement stone. This makes it possible to reduce the thickness of the contact zone, which strengthens and seals the structure of the material as a whole.

It was established that the penetration of the components of the waterproofing composition (water-soluble salts of nitrates, chlorides, sulfates) into the porous material is ensured due to the diffusion of their ions through water-saturated pores and capillaries, and the depth of penetration is the length of the diffusion path over time, which corresponds to the setting time of the waterproofing composition.

"NAVYCON" protective materials are used as a coating during the construction and repair of building structures that are under the influence of water, aggressive environments, temperature changes and high loads.

Materials based on inorganic binders, produced in the form of dry mixtures of penetrating action, are used on bases and substrates with developed capillary porosity (concrete, reinforced concrete, brickwork, etc.).

Composite material based on TM "NAVYCON" cement with compressive strength up to 61.0 MPa and flexural strength up to 9.1 MPa, adhesion to the concrete base up to 3.3 MPa, water resistance not less than W12, frost resistance more than F400, shrinkage deformation after 3 months at 0.04%, which is several times higher than the requirements of regulatory documents of Ukraine for similar warehouses. The composite material is effective under both direct and reverse water pressure. Effective in joint work with polymer coating. Effective for passivation and transformation of metal surfaces damaged by corrosion.

The use of the additive will significantly increase the profitability of concrete mixes, because when the complex chemical additive developed jointly with the company Navikon -Ukraine is introduced, the physical characteristics of concrete will improve, the cost will significantly decrease and the quality will increase by an order of magnitude.

Ключові слова: композиційні матеріали, водонепроникність, композити, модифікуюча добавка, гідроізоляція, корозія, цементний камінь, сухі суміші, синтез, адгезія, поровий простір.

Keywords: composite materials, waterproofing, composites, modifying additive, waterproofing, corrosion, cement stone, dry mixes, synthesis, adhesion, pore space.

Все ширше застосування для ремонту, гідроізоляції та захисту бетонних і кам'яних конструкцій набувають цементні композити, що виготовляються із сухих сумішей: MasterEmako, Кальмофлекс, Акватрон, Гідротекс, Siltek, Ксайпекс, Basf, Мареі та ін.

Такі композити після твердіння набувають високі фізико-механічні характеристики, мають структуру, ідентичну структурі основи, на яку вони наносяться, проте часто їх гідрофізичні характеристики недостатньо високі.

Засобами підвищення цих характеристик насамперед – водонепроникності, є введення мінеральних та мікрОВОЛОКНИСТИХ наповнювачів, які знижують усадку та утворення тріщин та полімерних добавок, що збільшують щільність композитів. Однак, полімерні добавки, підвищуючи адгезію композиту до основи, запобігають проникненню продуктів гідратації в її поровий простір, крім того, їх застосування обмежено досить вузьким температурним інтервалом (не нижче +5⁰С).

Досить ефективно підвищують водонепроникність хімічні добавки солей електролітів, які забезпечують синтез у цементному камені додаткових кристалогідратів, які кольматують поровий простір, як композитів, так і поверхневих шарів основи. Аналіз наявних рішень підвищення гідрофізичних характеристик цементних композитів показав, які найбільше перспективними є склад, який включає тонкодисперсні наповнювачі, хімічні добавки та мікрОВОЛОКНА, що забезпечують кольматацію кристалогідратами простору пор, як покриття, так і основи.

поверхні цементу покращує технологічні властивості простованої сухої суміші при її перемішуванні із водою.

Матеріали на основі неорганічних в'язучих, що виробляються у вигляді сухих сумішей проникаючої дії, використовуються на основах з розвиненою капілярною пористістю (бетон, залізобетон, цегляна кладка та ін.). Принцип роботи композиційного матеріалу наведено на рис. 2.

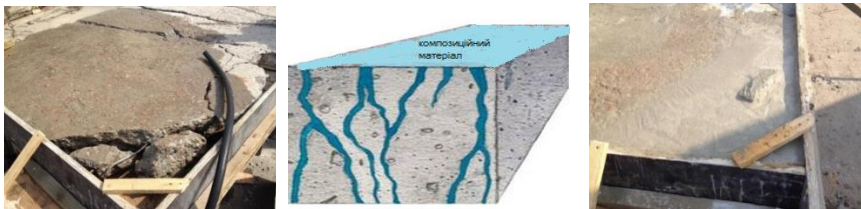


Рис. 2. Знімки мікроструктури цементного каменю

Захисні матеріали «NAVYCON» застосовуються в якості покриття при будівництві та ремонті будівельних конструкцій, що перебувають під впливом води, агресивних середовищ, перепадів температур і високих навантажень. На рис.3 показано зразок із арматурою після витримки у сольовому розчині (морській воді) упродовж 65 діб.

Із рис. 3, в видно, що арматура, яка знаходиться у розчині NAVYCON, не має слідів корозії і надійно захищена від дії агресивного середовища (морської води).

Матеріали «NAVYCON» застосовуються для ремонту і влаштування гідроізоляції конструкцій I і II категорії тріщиностійкості, такі як:

- гідротехнічні споруди: резервуари (відкриті, обваловані, не обваловані тощо); басейни (відкритого і закритого типу); конструкції очисних споруд (аеротенки, відстійники, колектори, насосні тощо); бетонні дамби, греблі, доки тощо, споруди системи водопостачання; колодязі;

- об'єкти цивільного будівництва: бетонні, кам'яні, цегляні фундаменти; акведуки; підвальні приміщення, підземні споруди (паркінги, гаражі, переходи тощо); балкони; експлуатовані і неексплуатовані покрівлі; ліфтові шахти;

- споруди промислового та агропромислового призначення: виробничі приміщення, підземні виробничі приміщення; басейни градирень; димові труби; бетонні конструкції шахт; сховища, бункери, ємності для зберігання харчових продуктів, овочеві ями тощо; бетонні споруди, що зазнають впливу агресивного середовища; підземні насосні станції; причали;

- об'єкти цивільної оборони і надзвичайних ситуацій: підземні укриття; пожежні резервуари тощо;
- об'єкти енергетичного комплексу: насосні станції; сховища нафтопродуктів, естакади подачі палива; кабельні тунелі; бетонні споруди, що зазнають радіаційного впливу тощо;
- об'єкти транспортної інфраструктури: тунелі (автомобільні, залізничні, пішохідні тощо); метрополітени; шляхопроводи, залізобетонні естакади, елементи мостів, бетонні огорожі, бордюри; підземні пішохідні переходи.



Рис. 3. Зразок з арматурою після витримки у сольовому розчині
а – зразок з арматурою, що піддався дії сольового розчину (морська вода)
на протязі 65 діб; б – той же зразок на пресі, для видалення з нього
арматури; в – арматура, що видалена із зразка після витримки у сольовому
розчині після 65 діб

Композиційний матеріал на цементній основі ТМ «NAVYCON» з показниками міцності на стиск до 61,0 МПа і згин до 9,1 МПа, має адгезію до бетонної основи до 3,3 МПа, водонепроникність не менше W12, морозостійкість більше F400, деформацію усадки через 3 місяців в 0,04%, що в декілька разів перевищує вимоги нормативних документів України для подібних складів [6]. Композиційний матеріал ефективний як при прямому, так і при зворотньому тиску води; при спільній роботі з полімерним покриттям, а також для пасивації і перетворення пошкоджених корозією металевих поверхонь.

Корозії бетону, залізобетону і цегляної кладки можна позбутись за допомогою складів тм «NAVYCON» (рис.4).

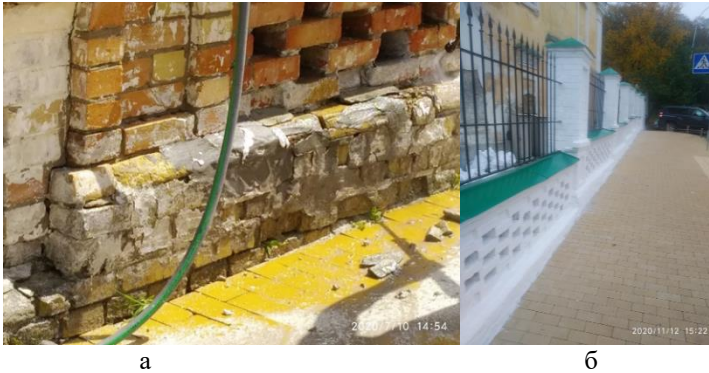


Рис. 4. Цегляна кладка паркану Покровської церкви у м. Києві відремонтована та захищена складами тм «NAVYCON» на білому цементі:
а – було; б - стало

Властивості композиційного матеріалу наведено в табл. 1.

Таблиця 1

Основні властивості композиційного матеріалу

Найменування показника	Значення
Границя міцності при згині, МПа	8,7 - 9,1
Границя міцності при стиску, МПа,	50,0 - 61,0
Адгезія до бетонної основи, МПа,	2,2 - 3,3
Усадка після 90 діб, %	0,04
Морозостійкість, цикли, не менше	400
Трещиностійкість	стійкий до тріщиноутворення
Водопоглинення, %, не більше	2,45
Марка за водонепроникністю, W, МПа, не менше:	1,2
Ударна міцність, Дж/см ³	38,8
Стиранність, г/см ²	0,26

Підвищення водонепроникності забезпечується синтезом додаткових кристалогідратів та їх формуванням на поверхнях пор, капілярів із урахуванням їх електроповерхневих властивостей, зокрема, встановлено, що кристалогідрати утворюють зі структурними елементами цементного каменю електрогетерогенні контакти. Це дає можливість зменшити товщину контактної зони, що зміцнює і ущільнює структуру матеріалу в цілому.

Встановлено, що проникнення компонентів гідроізоляційного складу (водорозчинних солей нітратів, хлоридів, сульфатів) в пористий матеріал, забезпечується за рахунок дифузії їх іонів через водонасичені пори і капіляри, а глибина проникнення – довжиною шляху дифузії за час, що відповідає термінам схоплювання гідроізоляційного складу.

Отримано патент на склад добавок-електролітів [9]. Розроблено склади сухих сумішей проникної дії різного функціонального призначення з підвищеними гідрофізичними показниками, складено та затверджено технологічний регламент на спосіб їх застосування.

Закінчені дослідження та випробування комплексної хімічної добавки [10] для бетонів і розчинів, які використовують для підземних частин будівель і споруд (паркінги, підвали, сховища) в обводнених ґрунтах з метою запобігання фільтрації води крізь бетон або цегляну кладку. Адаже нові технології в монолітному будівництві дозволяють змінювати і покращувати властивості бетону залежно від вимог, висунутих до об'єктів.

Монолітне будівництво розвивається і з кожним днем бетони набувають все більш специфічних характеристик: швидше або повільніше, залежно від потреби, набирають міцність; стають стійкі до низьких температур; набувають водонепроникність; різних кольорів і відтінків; захищають елементи сталевих конструкцій від корозії; набувають стійкості до агресивних середовищ і довговічність, не втрачаючи при цьому своїх фізичних властивостей. Ключем до всього є комплексна хімічна добавка, яка додається в бетон у процесі його виробництва або в готову бетонну суміш. Застосування добавки значно підвищить рентабельність бетонних сумішей, тому що при внесенні розробленої спільно з компанією NAVYCON-Україна комплексної хімічної добавки поліпшаться фізичні характеристики бетону, суттєво знизиться собівартість та на порядок підвищиться якість.

References

1. Spriamovane formuvannya struktury tsementnykh kompozytiv dlia hidroizoliatsii [Tekst] : dys. . d-ra tekhn. nauk: 05.23.05 / Kostiuk Tetiana Oleksandrivna; Ukr. derzh. un-t zalizn. transp. - Kharkiv, 2015. - 290 s.
2. Plugin A.A., Kostyuk T.A., Saliya M.G., Bondarenko D.A Primeneniye karbonatnykh dobavok v tsementnykh sostavakh dlya gidroizolyatsionnykh i restavratsionnykh rabot zdaniy i sooruzheniy. /. // «Sbornik nauchnykh trudov» MGSU posvyashchenny 90-letiyu f-a PGS, – 2011. – s.224-227.
3. Plugin A.A., Saliya M.G., Kostyuk T.A., Bondarenko D.A., Starkova O.V. Obosnovaniye vybora napolniteley dlya gidroizolyatsionnykh sukhikh smesey na osnove portlandtsementa // Materialy VIII Mezhdunarodnoy nauchno-prakticheskoy konferentsii «Nauchnoye prostranstvo Yevropy – 2012». – Sofiya: ByalGRAD–BG, 2012. – Tom 29. Stroitel'stvo i arkhitektura. – S. 62–67.
4. Interaction of Portland cement hydration products with complex chemical additives containing fiberglass in moisture-proof cement compositions; O.I. Demina, T.A. Kostuk, E.B. Dedenyova, D.O. Bondarenko, Bondarenko; Functional Materials, 24, No.3 (2017), p. 415-419. Scopus DOI:10.15407/fm24.03.415 <http://functmaterials.org.ua/contents/24-3/415>
5. Hydration Products that Provide Water-Repellency for Portland Cement-Based Waterproofing Compositions and Their Identification by Physical and Chemical Methods. [Plugin, A.A., Borziak, O.S., Pluhin, O.A., Kostuk, T.A., Plugin, D.A. Lecture Notes in Civil Engineeringthis link is disabled, 2021, 100 LNCE, pp. 328–335.](#)
6. DSTU B V.2.7-126:2011 «Budivelni materialy. Sumishi budivelni sukhi modifykovani. Zahalni tekhnichni umovy».
7. DSTU B V.2.7-23-95 «Rozchyny budivelni. Zahalni tekhnichni umovy».
8. DSTU B V.2.7-214:2009 «Budivelni materialy. Betony. Metody vyznachennia mitsnosti za kontrolnymy zrazkamy».
9. Utility model patent No. 151437. The method of increasing the hydrotechnical and physico-mechanical properties of concrete and construction solutions. Babenko V.V., Vashchenko V.M., Gubina T.V., Kostyuk T.O. Date of publication of information on state registration and Bulletin number 07/20/2022, Bull. No. 29.
10. Zaiavka na patent na vynakhid №a202202146 vid 30.06.22r.

Література

1. Спрямоване формування структури цементних композитів для гідроізоляції [Текст] : дис. д-ра техн. наук: 05.23.05 / Костюк Тетяна Олександрівна; Укр. держ. ун-т залізн. трансп. - Харків, 2015. - 290 с.
2. Plugin A.A., Kostyuk T.A., Saliya M.G., Bondarenko D.A Primeneniye karbonatnykh dobavok v tsementnykh sostavakh dlya gidroizolyatsionnykh i restavratsionnykh rabot zdaniy i sooruzheniy. /. // «Sbornik nauchnykh trudov» MGSU posvyashchenny 90-letiyu f-a PGS, – 2011. – s.224-227.

3. Plugin A.A., Saliya M.G., Kostyuk T.A., Bondarenko D.A., Starkova O.V. Obosnovaniye vybora napolniteley dlya gidroizolyatsionnykh sukhikh smesey na osnove portlandtsementa // Materialy VIII Mezhdunarodnoy nauchno-prakticheskoy konferentsii «Nauchnoye prostranstvo Yevropy – 2012». – Sofiya: ByalGRAD–BG, 2012. – Tom 29. Stroitel'stvo i arkhitektura. – S. 62–67.

4. Interaction of Portland cement hydration products with complex chemical additives containing fiberglass in moisture-proof cement compositions; O.I. Demina, T.A. Kostuk, E.B. Dedenyova, D.O. Bondarenko, Bondarenko; Functional Materials, 24, No.3 (2017), p. 415-419. Scopus DOI:10.15407/fm24.03.415

<http://functmaterials.org.ua/contents/24-3/415>

5. Hydration Products that Provide Water-Repellency for Portland Cement-Based Waterproofing Compositions and Their Identification by Physical and Chemical Methods. [Plugin, A.A., Borziak, O.S., Pluhin, O.A., Kostuk, T.A., Plugin, D.A., Lecture Notes in Civil Engineeringthis link is disabled](#), 2021, 100 LNCE, pp. 328–335.

6. ДСТУ Б В.2.7-126:2011 «Будівельні матеріали. Суміші будівельні сухі модифіковані. Загальні технічні умови».

7. ДСТУ Б В.2.7-23-95 «Розчини будівельні. Загальні технічні умови».

8. ДСТУ Б В.2.7-214:2009 «Будівельні матеріали. Бетони. Методи визначення міцності за контрольними зразками».

9. Патент на Корисну модель №151437. Спосіб підвищення гідротехнічних і фізико-механічних властивостей бетонів та будівельних розчинів. Бабенко В. В., Ващенко В. М., Губіна Т. В., Костюк Т.О. Дата публікації відомостей про державну реєстрацію та номер Бюлетеня 20.07.2022, Бюл. № 29.

10. Заявка на патент на винахід №a202202146 від 30.06.22р.

УДК 691:662.6 [https://doi.org/10.36910/6775-2410-6208-2023-9\(19\)-12](https://doi.org/10.36910/6775-2410-6208-2023-9(19)-12)

**ДОСЛІДЖЕННЯ МІЦНОСТІ БАГАТОКОМПОНЕНТНОГО
ЛИТОГО БЕТОНУ ДЛЯ РЕКОНСТРУКЦІЇ ТА МОДЕРНІЗАЦІЇ
ОБ'ЄКТІВ ТЕПЛОПОСТАЧАННЯ МІСТА**

**RESEARCH OF THE STRENGTH OF MULTICOMPONENT CAST
CONCRETE FOR THE RECONSTRUCTION AND MODERNIZATION
OF HEAT SUPPLY FACILITIES OF THE CITY**

Ксьоншкевич Л.М., к.т.н., доц., Барабаш І.В., д.т.н., професор (Одеська державна академія будівництва та архітектури, Одеса), Синій С.В., к.т.н., доц. (Луцький національний технічний університет, Луцьк), Крантовська О.М., к.т.н., доц., Мостовий С.М., інженер (Одеська державна академія будівництва та архітектури, Одеса)

Ksonshkevych L.M., Ph.D. in Engineering, Associate Professor, Barabash I.V., Doctor of Engineering, Professor (Odesa State Academy of Civil Engineering and Architecture, Odesa), Synii S.V., Ph.D. in Engineering, Associate Professor (Lutsk National Technical University, Lutsk), Krantovska O.M., Ph.D. in Engineering, Associate Professor, Mostovyi S. M., engineer (Odesa State Academy of Civil Engineering and Architecture, Odesa)

Розглянуто застосування багатокомпонентного литого бетону із використанням золи-винесення (матеріалу відходів теплових станцій) при проведенні робіт з реконструкції та модернізації об'єктів генерації та постачання теплової енергії, які у складі інженерних мереж належать до критичної інфраструктури. Застосування дослідженого литого бетону (з підвищенням вмісту золи-винесення у в'язучому на 15-20 % без зниження при цьому міцності бетонних зразків) дозволяє збільшити ефективність його використання для монолітних перекриттів будівель та споруд генерації тепла та мереж теплопостачання при впровадженні сценаріїв теплопостачання у схемах теплопостачання міст враховуючи формування інтегрованих теплових мереж.

The application of multi-component cast concrete with the use of fly ash (waste material of thermal stations) in the reconstruction and modernization of facilities of generation and supply of thermal energy, which are part of engineering networks a belong to critical infrastructure, is considered.

Deals with the impact of mechanical activation on the change in strength characteristics of cast concrete on a cement-sol binder with the addition of fiber and plasticizing additives. The share of fly ash in the binder was taken from 0 to 80 %. C-3 superplasticizer was used to increase the performance of the concrete mixture. Vauson-basalt basalt fiber with a length of 6-12 mm and a diameter of 13-18 μm was a filler (it was dosed in a dry mixture). The preparation of the concrete mixture was carried out in

a forced action laboratory mixer. Portland cement, fly ash and basalt fiber were dosed by weight. Two parallel series of experiments were performed (according to traditional technology; using mechanoactivation of the suspension). After mixing for 120 seconds, water with a dosed amount of the additive was introduced into the mixture. Concrete strength was determined for 7 and 28 days. A joint study of influencing factors - mechanical activation, fly ash, with a determined concentration of C-3 and basalt fiber, allows to increase the strength at the 28th day of age by 25-30 %.

The use of the studied cast concrete (with an increase in the content of fly ash in the binder by 15-20% without reducing the strength of concrete samples) allows to increase the efficiency of its use for monolithic ceilings of buildings and structures of heat generation and heat supply networks when implementing heat supply scenarios in schemes heat supply of cities, taking into account the formation of integrated heat networks.

Ключові слова: зола-винесення, литий бетон, механоактивація, базальтова фібра, суперпластифікатор, реконструкція, модернізація, теплопостачання.

Keywords: fly ash, cast concrete, mechanical activation, basalt fiber, superplasticizer, reconstruction, modernization, heat supply.

Постановка проблеми. Бетон залишається одним із найбільш широко застосовуваних будівельних матеріалів у світі [1-4 та ін.]. Актуальність використання його в сучасних умовах, що склалися на території України, беззаперечна. Адже наслідком цілеспрямованих воєнних дій є часткове чи повне руйнування на усій території країни значної кількості об'єктів критичної інфраструктури (особливо характерне для місць активних бойових дій та прифронтових територій), які потребують термінового відновлення. Причому, велика частка серед них припадає на об'єкти енергозабезпечення міста, враховуючи об'єкти теплопостачання – будівлі та споруди генерації та транспортування тепла (ТЕС, котельні, насосні станції і т.п.) у складі централізованих мереж теплопостачання промислової, громадської, житлової забудови та інших зон міської інфраструктури. У зв'язку з цим, актуальним для впровадження заходів удосконалення або створення нових сценаріїв теплопостачання у схемах теплопостачання міст враховуючи потребу розширення виробничих площ будівель та споруд для розвитку інтегрованих теплових мереж [5-7] є збільшення використання ресурсоекономних технологій виробництва та влаштування бетонних сумішей.

Сучасне виробництво цементу є енергомістким та екологічно шкідливим, тому застосування промислових відходів залишається одним з актуальних напрямків його розвитку у світі [1-4, 8-16]. До актуальних сировинних компонентів для виготовлення бетону належить такий матеріал відходів теплових станцій як зола-винесення [1, 3, 8-11, 14, 15].

Аналіз відомих досліджень і публікацій. Розвиток будівельної галузі під впливом високих екологічних та економічних вимог спричинив ріст світового виробництва бетонів зі зниженою витратою цементу, у тому

числі – за рахунок заміни частини цементу у в'язучому на зола-винесення [1, 3, 8-11, 14, 15]. Високу конкурентоспроможність таких бетонів в умовах існуючих в Україні потреб швидкої та масштабної відбудови та реконструкції об'єктів критичної інфраструктури забезпечує їх міцність, довговічність, економічність, краща екологічна безпека, стійкість до руйнувань будівельних конструкцій на їх основі, а також – широка доступність сировинних компонентів (поширена в усіх регіонах України багатолітня практика теплопостачання міст від ТЕС зумовила значні запаси золи-винесення, відповідно її склад може дещо різнитись [1 та ін.]). Ріст обсягів золи-винесення для виготовлення бетону сприяє її утилізації, а отже – покращенню екологічної ситуації територій розташування ТЕС. Зола-винесення має ряд властивостей, що позитивно впливають на цементний камінь та композити на його основі, її добавка підвищує пластифікуючу здатність портландцементу, знижує усадочні деформації, не потребує помелу [1 та ін.].

Однією з переваг застосування литого бетону є зручність технології його укладання при монолітному бетонуванні (передусім – за допомогою бетононасосів), а це спрощує та прискорює будівельні роботи, що особливо важливо для забезпечення їх високої продуктивності в існуючих чи перспективних для розвитку інтегрованих теплових мереж умовах відновлення, реконструкції, модернізації таких критично важливих об'єктів міської інфраструктури як об'єкти генерації та постачання теплової енергії (ТЕС, котельні, насосні та теплонасосні станції тощо). Застосуванням у литих сумішах пластифікаторів досягається суттєве скорочення їх водопотреби та зменшення навантаження на бетононасоси (також і за рахунок зменшення робочого тиску та його втрат), значне скорочення чи взагалі виключення використання вібраційних установок, тобто – зменшення енерговитрат, що особливо важливо для технології бетонування за умов використання електрогенераторів (мобільних електростанцій) через відсутність чи перерви електропостачання споживачів. Широкого поширення набуло застосування бетонів для влаштування промислових підлог, монолітних перекриттів [8-11]. Причому економічно ефективно та доцільно виконувати шари промислової підлоги, захищені зверху шаром покриття, з бетону нижчої міцності та довговічності ніж бетон покриття [9].

Збільшення цін на портландцемент, подорожчання енергоносіїв, палива актуалізує дослідження, направлені на вирішення задач зниження матеріало-, енергоємності: виробництва будівельних матеріалів та виробів, будівельних технологій. Введення в портландцемент золи-винесення спільно з високоефективним хімічним модифікатором та базальтовою фіброю забезпечує спрямоване структуроутворення тверднучого цементного каменю, підвищення його міцності, а відповідно і бетонів на їх основі. Значно посилює ефект від спільного введення в портландцемент

золи-винесення, органічного модифікатора, фібри механоактивація в'язучого [15, 16]. Використання добавок дозволяє досягти заданих фізико-механічних характеристик бетонів поряд із значною економією портландцементу [1-4, 8-15]. До негативного впливу вмісту золи у в'язучому належить зниження міцності композитів, яке однак можна підвищити за рахунок механоактивації в'язучого, використання пластифікаторів, а також введення у склад цементозольної суспензії фібри, а саме базальтової [9, 15].

Мета статті – застосування механоактивації для приготування багатокомпонентного литого бетону на рядовому портландцементі, що може застосовуватись для реконструкції та модернізації об'єктів теплопостачання міста.

Основні завдання: виявити та проаналізувати сумісний вплив механоактивації, добавки золи-винесення, базальтової фібри, С-3 у портландцементі на характеристику міцності литого бетону, що може застосовуватись для реконструкції та модернізації об'єктів теплопостачання міста.

Виклад основного матеріалу. Витрату портландцементу ПЦ І-500 у базовому складі бетону задано у обсязі 400 кг/м³. Механоактивація цементозольного в'язучого здійснювалась 120 с з застосуванням частоти обертання швидкісного трибозмішувача 2800 об/хв, з наступною подачею активованої суспензії до тихохідного бетонозмішувача з дозованими компонентами бетонної суміші (задане співвідношення 1:1 фракцій по масі) – заповнювачами дрібним (кварцевий пісок, Мк = 2,5) та крупним (гранітний щебінь двох фракцій з розмірами, мм: 5-10; 10-20). Частка золи-винесення у в'язучому варіювалась від 0 до 80 %. Водоредукуючою добавкою (концентрація від 0 до 1% маси в'язучого), служить суперпластифікатор С-3, а наповнювачем – базальтова фібра Vauson-basalt розмірами: довжина 6-12 мм; діаметр 13-18 мкм. Водопотреба бетонної суміші визначилася за осадкою конуса Абрамса і складала 20 см.

Методикою експериментів передбачено порівняння результатів традиційної та прийнятої технології шляхом проведення двох паралельних серій експериментів: контрольної «к» та механоактивації «м» суспензії цемент + зола-винесення + суперпластифікатор С-3 + вода. Приготовлена суспензія змішувалася з дрібним та крупним заповнювачами в ординарному бетонозмішувачі. Визначення межі міцності при стиску бетону виконано за [16]. Міцність бетону при стиску визначалась шляхом випробування зразків-кубів з ребром 10 см у 7- та 28-добовому віці [16].

Згідно запланованої методики проведено 3-факторний експеримент для аналізу впливу на механічні характеристики литого бетону вмісту, у % від маси композитного в'язучого: золи-винесення в портландцементі (40 ± 40 %, фактор X1), базальтової фібри Vauson-basalt ($0,5 \pm 0,5$ %, фактор X2) і суперпластифікатора С-3 ($0,5 \pm 0,5$ %, фактор X3).

Відповідно до запланованих для варійованих факторів композитного в'язучого контрольної «к» та механоактивації «м» серій 3-факторного експерименту отримані чотири експериментально-статистичні (ЕС) моделі міцності бетону при стиску, відповідно по дві для 7- і 28-добового віку.

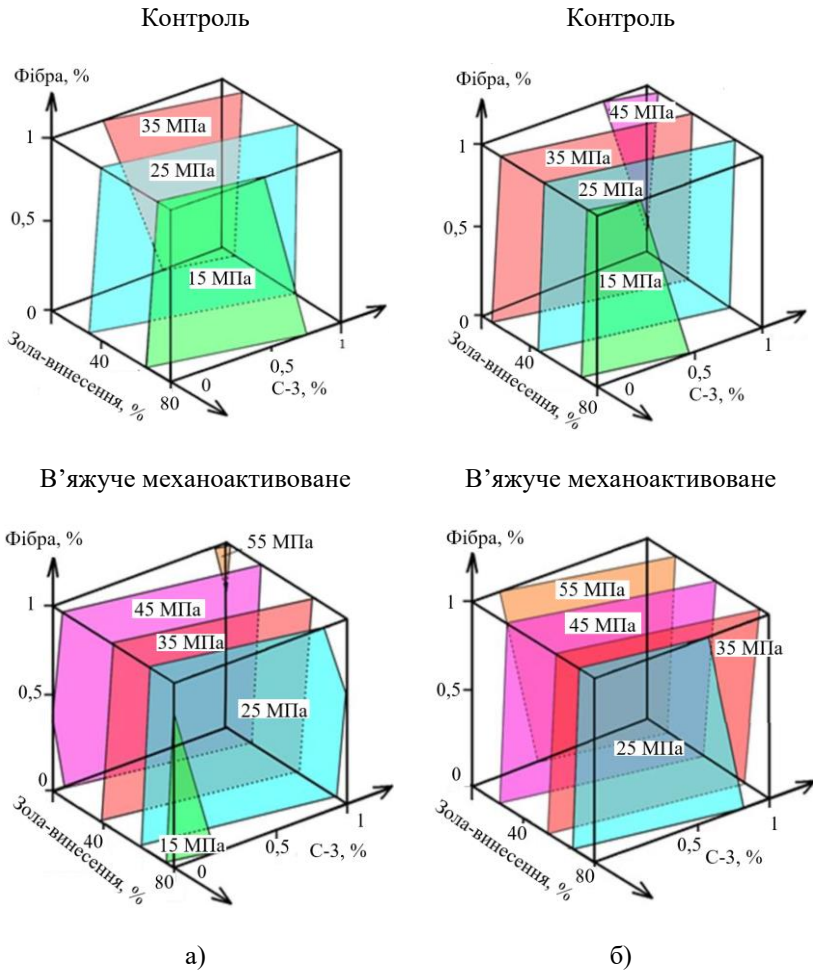


Рисунок 1. Вплив механоактивації на міцність бетону f_{cube} :
 а – 7-а доба твердіння; б – 28-а доба твердіння

Аналіз побудованих полів властивостей за цими ЕС-моделями (рис. 1) показав, що введення пластифікатора С-3 суттєво вплинуло на міцність через зниження водопотреби бетонних сумішей з однаковою рухливістю.

Через збільшення частини золи-винесення у в'язучому від 0 до 80 % міцність бетону знижується. Загалом, склади на механоактивованому в'язучому у віці 7 діб (рис. 1,а) показували в середньому на 25 % більшу міцність, ніж контрольні. Це можна пояснити як поверхневою активацією в'язучого та наповнювача так і зниженням водопотреби сумішей.

Аналіз графічних залежностей за ЕС-моделями для віку 28 діб (рис. 1,б) свідчить про зниження міцності бетону при стиску із введенням у портландцемент золи-винесення (кожним додатковим 10 % вмісту золи-винесення відповідало зменшення міцності бетону в середньому на $3,5 \pm 1,0$ МПа) та незначне підвищення цієї міцності (до 5-10 %) з добавкою базальтової фібри до 1 %.

Зростання вмісту С-3 (0-1%) разом з механоактивацією цементозольного в'язучого дає приріст міцності (в порівнянні з контролем). Цей приріст більш відчутно в ранньому 7-добовому віці – 30-35 %, та менш відчутно в 28-добовому віці – 25-30 %.

Висновки. Досліджене сумісне застосування факторів впливу – механоактивації, золи-винесення, при визначеній концентрації С-3 і Vauson-basalt, завдяки якому досягнуто збільшення показника міцності цементного каменю в 28-добовому віці на 25-30 %. Це створює можливості виготовляти литі бетони з підвищенням вмісту золи-винесення у в'язучому на 15-20 %, не знижуючи при цьому міцності бетонних зразків (порівняно з контролем), із підтриманням марки в діапазоні 20-46 МПа. Застосування дослідженого багатокомпонентного литого бетону дозволяє збільшити ефективність його використання для потреб реконструкції та модернізації об'єктів теплопостачання міста (зокрема – монолітних перекриттів будівель та споруд генерації тепла та мереж теплопостачання) з метою ефективного впровадження сценаріїв теплопостачання у схемах теплопостачання міст враховуючи формування інтегрованих теплових мереж, передусім – за рахунок особливо актуальних в сучасних умовах, що склалися на території України, переваг технології виробництва та влаштування будівельних конструкцій з литих бетонів з підвищенням вмісту золи-винесення у в'язучому: ресурсоекономії (електроенергії, тепла, цементу), зменшенні забруднення навколишнього середовища, підвищенні темпів та продуктивності будівельних робіт, скороченні транспортно-логістичних зв'язків та утилізації відходів теплових станцій – золи-винесення.

References

1. Blikharskyi Z., Sobol K., Markiv T., Selejdak J. Properties of Concretes Incorporating Recycling Waste and Corrosion Susceptibility of Reinforcing Steel Bars. *Materials*. 2021. N 14(10). 2638. <https://doi.org/10.3390/ma14102638>
2. Andriichuk O.V. *Stalefibrobetonni lotky vodovidvedennia*. Lutsk, RVV Lutskoho NTU. 2018. 150 s.

3. Borziak O., Vandolovskyi S., Chajka V., Perestiuk V., Romanenko O. Effect of microfillers on the concrete structure formation. *MATEC Web of Conferences*. 2017. Vol. 116. 01001. <https://doi.org/10.1051/mateconf/201711601001>
4. Ksonshkevych L.M., Krantovska O.M., Synii S.V., Sunak P.O., Orešković M., Ksonshkevych A.S. High strength modified concrete for reconstruction of engineering structures and networks, roads. *Modern technologies and methods of calculations in construction*. Lutsk. LNTU. 2022. Vol. 18. P.52-60. [https://doi.org/10.36910/6775-2410-6208-2022-8\(18\)-07](https://doi.org/10.36910/6775-2410-6208-2022-8(18)-07)
5. Metodyka rozroblennia skhem teplopостachannia naselenykh punktiv Ukrainy. Nakaz Minrehionu Ukrainy №235 vid 02.10.2020.
6. Схеми теплопостачання. Асоціація енергоаудиторів України (Доступ 01.05.2023). URL: <https://aea.org.ua/energy-audit/district-heating-schemes/>
7. Rozvytok tsentralizovanoho teplopостachannia – kluch do rozumnoi enerhosystemy v Ukraini. *Danfoss*. 01.11.2021. URL: <https://www.danfoss.com/uk-ua/about-danfoss/articles/dhs/modern-district-heating-enables-transition-to-smart-energy-system-in-ukraine/>
8. Dvorkin L.I., Dvorkin O.L., Ryzhenko I.M. Modyfikovani lyti betony dlia samonivelovanykh pidloh. *Budivelni materialy ta vyroby*. 2014. N 1. S. 10-12.
9. Sydor N.I. *High strength concretes with high impact resistance for industrial floors*. PhD thesis in Eng. sc by spec. 192 Construction and civil engineering. Lviv, 2021.
10. Bondar A.V., Kovalskiy V.P., Ocheretniy V.P., Moroz D.V., Voznyuk I.M. Influence of mechanical activation of mineral components on the properties of lightweight compositions of cement dry mixtures for floors. *Visnyk ODABA*. 2019, Vol.74, P.82-94.
11. Marushchak U.D., Sydor N.I., Braichenko S.P., Margal I.V., Soltysik R.A. Modified fiber reinforced concrete for industrial floors. *IOP Conf. Ser.: Mater. Sci. Eng*. 2019. Vol. 708. N 1. 012094. <https://doi.org/10.1088/1757-899X/708/1/012094>
12. Ksonshkevych L.M., Barabash I.V., Krantovska O.M., Synii S.V., Sunak P.O. Disperse reinforced concrete with polycarboxylate addition on a mechanically activated binder. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*. 2019. Vol. 708. N 1. 012092. <https://doi.org/10.1088/1757-899X/708/1/012092>
13. Ksonshkevych L., Krantovska O., Petrov M., Synii S., Uhl A. Investigation of the structure of cement stone, obtaining and optimization of high-strength concrete on mechanically activated binder. *MATEC Web of Conferences*. 2018. Vol. 230. 03010. <https://doi.org/10.1051/mateconf/201823003010>
14. El Fami N., Ez-zaki H., Boukhari A., Khachani N., Diouri Abdeljebbar. Influence of mechanical activation of fly ash on the properties of Portland cement mortars. *Materials Today: Proceedings*. Vol. 58, Part 4, 2022, P. 1419-1422. <https://doi.org/10.1016/j.matpr.2022.02.340>
15. Stechyshyn M.S., Sanytskiy M.A., Pozniak O.R., Bihun H.H. Fibroarmovani samouschilniuvalni betony z vysokym vmistom zoly vynesennia. *Visnyk NU "Lvivska politehnika"*. Serii: Teoriia i praktyka budivnytstva. 2015. 823. S.308-314.
16. DSTU B V.2.7-214:2009 Budivelni materialy. Betony. Metody vyznachennia mitsnosti za kontrolnymy zrazkamy. K, Minrehionbud Ukrainy, 2010.

Література

1. Blikharskyy Z., Sobol K., Markiv T., Selejdak J. Properties of Concretes Incorporating Recycling Waste and Corrosion Susceptibility of Reinforcing Steel Bars. *Materials*. 2021. N 14(10). 2638. <https://doi.org/10.3390/ma14102638>

2. Андрійчук О.В. *Сталефібробетонні лотки водовідведення*. Луцьк, РВВ Луцького НТУ. 2018. 150 с.
3. Borziak O., Vandolovskyi S., Chajka V., Perestiuk V., Romanenko O. Effect of microfillers on the concrete structure formation. *MATEC Web of Conferences*. 2017. Vol. 116. 01001. <https://doi.org/10.1051/mateconf/201711601001>
4. Ксьоншкевич Л.М., Крантовська О.М., Синій С.В., Сунак П.О., Орешкович М., Ксьоншкевич А.С. Модифіковані високоміцні бетони для реконструкції інженерних споруд та мереж, доріг. *Сучасні технології та методи розрахунків у будівництві*. Луцьк. ЛНТУ, 2022. Вип. 18. С. 52-60. [https://doi.org/10.36910/6775-2410-6208-2022-8\(18\)-07](https://doi.org/10.36910/6775-2410-6208-2022-8(18)-07)
5. Методика розроблення схем теплопостачання населених пунктів України. Наказ Мінрегіону України №235 від 02.10.2020.
6. Схеми теплопостачання. *Асоціація енергоаудиторів України* (Доступ 01.05.2023). URL: <https://aea.org.ua/energy-audit/district-heating-schemes/>
7. Розвиток централізованого теплопостачання – ключ до розумної енергосистеми в Україні. *Danfoss*. 01.11.2021. URL: <https://www.danfoss.com/uk-ua/about-danfoss/articles/dhs/modern-district-heating-enables-transition-to-smart-energy-system-in-ukraine/>
8. Дворкін Л.Й., Дворкін О.Л., Риженко І.М. Модифіковані літні бетони для самонівельованих підлог. *Будівельні матеріали та вироб.* 2014. №1. С. 10-12.
9. Сидор Н.І. *Високоміцні бетони з підвищеною ударною в'язкістю для промислових підлог*. Дис. докт. філософії, спец. 192 Будівництво та цивільна інженерія. НУ «Львівська політехніка», Львів, 2021.
10. Бондар А.В., Ковальський В.П., Очеретний В.П., Мороз Д.В., Вознюк І.М. Вплив механічної активації мінеральних складових на властивості полегшених складів цементних сухих сумішей для підлог. *Вісник ОДАБА*. 2019, Вип.74,С.82-94.
11. Marushchak U.D., Sydor N.I., Braichenko S.P., Margal I.V., Soltysik R.A. Modified fiber reinforced concrete for industrial floors. *IOP Conf. Ser.: Mater. Sci. Eng.* 2019. Vol. 708. N 1. 012094. <https://doi.org/10.1088/1757-899X/708/1/012094>
12. Ksonshkevych L.M., Varabash I.V., Krantovska O.M., Synii S.V., Sunak P.O. Disperse reinforced concrete with polycarboxylate addition on a mechanically activated binder. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*. 2019. Vol. 708. N 1. 012092. <https://doi.org/10.1088/1757-899X/708/1/012092>
13. Ksonshkevych L., Krantovska O., Petrov M., Synii S., Uhl A. Investigation of the structure of cement stone, obtaining and optimization of high-strength concrete on mechanically activated binder. *MATEC Web of Conferences*. 2018. Vol. 230. 03010. <https://doi.org/10.1051/mateconf/201823003010>
14. El Fami N., Ez-zaki H., Boukhari A., Khachani N., Diouri Abdeljebbar. Influence of mechanical activation of fly ash on the properties of Portland cement mortars. *Materials Today: Proceedings*. Vol. 58, Part 4, 2022, P. 1419-1422. <https://doi.org/10.1016/j.matpr.2022.02.340>
15. Стечишин М.С., Саницький М.А., Позняк О.Р., Бігун Г.Г. Фіброармовані самоущільнювальні бетони з високим вмістом золи винесення. *Вісник НУ "Львівська політехніка". Серія: Теорія і практика будівництва*. 2015. 823. С.308-314.
16. ДСТУ Б В.2.7-214:2009 Будівельні матеріали. Бетони. Методи визначення міцності за контрольними зразками. К, Мінрегіонбуд України, 2010.

**ОЦІНКА ЕФЕКТИВНОСТІ ВІБРОПОГЛИНАЛЬНИХ
ВЛАСТИВОСТЕЙ ПІНИСТИХ МАТЕРІАЛІВ НА
ОСНОВІ СИМУЛЯЦІЙНОГО АНАЛІЗУ**

**EVALUATION OF THE EFFICIENCY OF VIBRATION
ABSORPTION PROPERTIES OF FOAM MATERIALS BASED ON
SIMULATION ANALYSIS**

**Мікуліч О.А., д.т.н., проф., Коменда Н.В., к.т.н., доц., Войтюк І.М.,
аспірант (Луцький національний технічний університет)**

**Mikulich O.A., Doctor of Engineering, Professor, Komenda N.V.,
Ph.D., Associate Professor, Voitiuk I.M., Ph.D. student (Lutsk National
Technical University)**

У роботі описано метод оцінки оптимальності механічних характеристик спінених матеріалів на основі симуляційного аналізу. Запропонований метод базується на числовому інтерполюванні залежності механічних характеристик піноматеріалів від масштабних факторів, які визначені на основі експериментальних досліджень для певних типів піни. Розроблений підхід дав змогу оцінити вплив густини матеріалу та розмірів пор на зміну зсувно-оберткових хвиль у середовищі.

The paper describes a simulation approach to assessing the optimality of the mechanical characteristics of foam materials. The proposed method is based on the numerical interpolation of the dependence of the mechanical characteristics of foam materials on scale factors, which are obtained based on experimental studies for certain types of foams.

According to the developed methodology, at the first stage, it is necessary to determine the scale effects and mechanical characteristics of the investigated structurally heterogeneous materials based on the experiment. In the second stage, by the change in the dependence of the input data (density and cell size), it is necessary to choose a mathematical model that would allow the most accurate description of the mechanical characteristics' dependence on the material's microstructure. In the third stage, wave propagation speeds in a foam medium under low-frequency loads are calculated based on the obtained analytical formulas. In the fourth and fifth stages, the change in wave propagation speeds in foam media is analyzed.

Based on the constructed model, the values of the mechanical characteristics of foamed materials were calculated when the cell size and material density changed. Based on the formulas for calculating the speed of propagation of a shear-rotation wave, the effect of changing the characteristics of density and cell size on the change in the speed of propagation of a shear-rotation wave in a structurally heterogeneous material was studied.

The approach proposed in the work, which is based on the method of analytical and numerical modeling in combination with the use of experimental studies, can be used not only for foam but also porous and other types of structurally heterogeneous materials. The advantage of this approach is the possibility to evaluate the change in the mechanical characteristics of foam materials, which are widely used in production, in particular, and in construction, without special laboratory studies. This approach significantly expands the scope of application of foamed polymers and allows them to optimize their use.

Ключові слова: симуляційний аналіз, пінисті матеріали, теорія пружності Коссера.

Keywords: simulation analysis, foam materials, Cosserat elasticity.

Вступ. Істотне зростання застосування у будівництві пінистих, пористих та інших структурно-неоднорідних матеріалів пояснюється їх низькою густиною та високими вібропоглинаючими та теплозберігаючими характеристиками. Використання піноматеріалів, що мають різну структуру, густину та тип пористості, має низку переваг у порівнянні з аналогічними неспіненими пластиковими елементами, серед яких слід відмітити зменшення споживання матеріалу, кращі механічні, теплові та фізичні властивості.

Тому для оцінки оптимальності ефективних характеристик таких матеріалів необхідно розробляти методики аналізу впливу зміни мікроструктури матеріалів на їх ефективні (вібропоглинальні та теплозберігаючі) властивості. Такі методики мають поєднувати аналітичні підходи, результати експериментальних досліджень та методи математичного моделювання.

Велика кількість досліджень, результати яких представлені у літературі, стосуються експериментальних оцінок механічної поведінки певних типів пінистих матеріалів: оцінки механічної поведінки, визначення механічних та (чи) міцнісних характеристик. У [1] представлено результати дослідження впливу додавання екструдера до мікропористої піни на зміну механічних властивостей матеріалу. В [2] запропоновано новий адитивний метод отримання полімерних піни на основі прямого бульбашкового запису. Такий підхід дозволяє отримати полімерні піни з практично однаковими розмірами пор, об'ємною часткою та зв'язністю. У [3] показано можливість проведення оптимізації термічних і механічних властивостей композиту поліпропілен-воластоніт на основі експериментів, відібраних за підходом Бокса-Бенкена. У [4] досліджено переваги використання ізоціанату, який має ненасичені зв'язки та високу активність, при виготовленні поліуретанової піни.

Проте, такі результати не дозволяють узагальнити отримані дані на випадок досліджень для інших типів пін чи провести оптимізацію режимів експлуатації цих матеріалів. Тому науковий інтерес становить можливість підбору оптимальних характеристик структурно-неоднорідних матеріалів для оптимізації вібропоглинальних, теплоізоляційних та інших їх характеристик. Для розробки методики оцінки оптимальності мікроструктури піноматеріалів необхідно використовувати аналітичні підходи у рамках уточнених моделей механіки суцільного середовища, що дозволяють враховувати дискретність та неоднорідність структури таких матеріалів. Крім того, розробка таких методів вимагає побудови моделей опису залежності фізичних характеристик матеріалів від їх масштабних факторів, які б враховували нелінійну залежність вхідних параметрів.

У роботах R.S. Lakes [7] на основі розробленої експериментальної методики визначено механічні характеристики пінистих матеріалів у рамках моментного континууму Коссера. При цьому враховано вплив оберально-зсувних деформацій мікрочастинок середовища та визначено розмірні фактори для спінених пінополіуретанів при згині та крученні.

У [8] розроблено методику аналітичного визначення швидкостей поширення хвиль зсуву-обертання у рамках моментного континууму Коссера, що дає можливість враховувати вплив мікроструктури матеріалу.

Постановка мети та задач досліджень. Метою роботи є розробка методу симуляційного аналізу, що ґрунтується на використанні аналітичних підходів до визначення швидкості поширення хвиль у рамках континууму Коссера [8] сумісно з методами моделювання зміни механічних характеристики піноматеріалів при зміні їх мікроструктури та густини на основі використання результатів експериментальних досліджень для деяких типів пін [5-7]. Розроблений метод аналітико-числового моделювання, заснований на запропонованих у роботі підходах, зручний і практичний для спінених, пористих та інших типів структурно неоднорідних матеріалів.

Основна частина. У літературі в роботах R.S. Lakes та його учнів отримані експериментальним шляхом значення розмірних факторів для декількох видів пін: WF300, WF110, WF51 [5]. На основі цих даних можна визначити значення пружних характеристик досліджуваних пін у рамках континууму Коссера [5, 6]. Ці пружні характеристики матеріалів дають можливість врахувати структурну неоднорідність пін.

У роботі [8] отримано аналітичні залежності для визначення швидкостей поширення хвиль зсуву-обертання у мікропористому середовищі у рамках моментного континууму Коссера. Числові розрахунки зміни швидкості поширення хвиль обертання від частоти прикладеного навантаження проведено для випадку пінополіуретанових пін.

Використовуючи методи математичного моделювання, у роботі розроблено модель, яка характеризує зміну механічних характеристик матеріалу при зміні пористості та густини піни. У побудову моделі в якості вихідних даних закладено величини розмірних ефектів, визначених експериментально [5].

Запропонована методика оцінки оптимальності ефективних характеристик структурно-неоднорідних матеріалів ґрунтується на поєднанні побудованих математичних моделей з аналітичними підходами до визначення швидкостей поширення хвиль у моментому континуумі Коссера. Структура розробленої методики представлена на рис. 1.

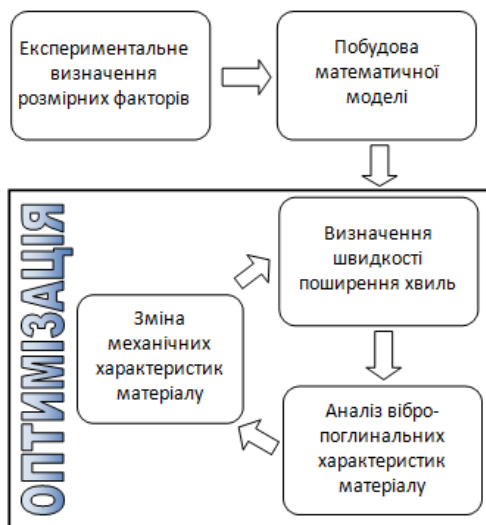


Рис. 1. Методика оцінки оптимальності ефективних характеристик структурно-неоднорідних матеріалів

Відповідно до розробленої методики, на першому етапі необхідно визначити розмірні фактори та механічні характеристики досліджуваних структурно-неоднорідних матеріалів на основі розроблених у [5] методик. У таблиці 1 наведено експериментальні дані для таких типів піни: WF300, WF110 та WF55, що отримані R.S.Lakes [5-7].

Таблиця 1

Значення характеристик поліуретанових піп [Помилка! Джерело посилання не знайдено.]

Тип піни	WF300	WF110	WF51
Модуль зсуву G , МПа	285	104	65
Розмірний ефект при згині ℓ_b , мм	0.77	0.33	0.55
Стала моментної теорії пружності, N^2	0.04	0.04	0.01
Розмір комірок h , мм	0.65	0.5	0.4
Густина матеріалу ρ , кг/м ³	380	340	60

Аналіз числових даних показав, що у випадку пінополіуретанів на другому етапі для побудови моделі зміни механічних характеристик піни (модуля зсуву) при зміні густини та пористості матеріалу найбільш ефективною є модель Кобба-Дугласа [9]:

$$G = a_G \cdot h^{b_G} \cdot \rho^{c_G}. \quad (1)$$

Значення сталих a_G , b_G , c_G визначено методами регресійного аналізу:

$$a_G = 4.259 \cdot 10^{21}, b_G = 3.9425, c_G = -0.236. \quad (2)$$

Для розрахунку швидкості поширення хвиль у пінистому середовищі при низькочастотних навантаженнях використано формулу [8]:

$$V_l^2 = \frac{c_2^2 + c_3^2}{\frac{c_2^2}{2\ell_c^2\omega^2} - \aleph - 1 + \sqrt{\left(\frac{c_2^2}{2\ell_c^2\omega^2} - \aleph - 1\right)^2 + \left(\frac{1}{\omega^2} - \frac{1}{\omega_*^2}\right)\frac{\aleph}{\ell_c^2}}}, \quad (3)$$

де

$$c_2^2 = \frac{G}{\rho}; c_3^2 = \frac{\kappa}{2\rho}; \ell_c^2 = \frac{\gamma}{2\kappa}; \aleph = \frac{c_2^2 + c_3^2}{c_2^2}; \omega_*^2 = \frac{2\kappa}{J}, \quad (4)$$

c_2 — швидкість хвиль зсуву, c_3 — швидкість хвиль обертання у моментному континуумі Коссера, ℓ_c — розмірний фактор [10], \aleph — моментна стала [8], ω_* — характерна частота, γ , κ — механічні

характеристики матеріалу у моментному континуумі Коссера [8, 10], J — момент інерції обертання одиничного об'єму [10].

На четвертому та п'ятому етапах відбувається аналіз зміни швидкостей поширення хвиль у пінистих середовищах. На основі розробленої моделі на другому етапі розраховується значення механічних характеристик піноматеріалів при зміні розміру пор та густини матеріалу. На основі формул (4) та (3) можна дослідити, як впливатиме зміна цих характеристик на зміну швидкостей поширення хвиль зсуву та хвиль обертання, швидкості зсуву-обертання у структурно-неоднорідному матеріалі.

На рис. 2 представлено результати числових досліджень впливу зміни швидкості поширення хвиль у пінистих матеріалах при зміні їх густини та пористості, отримані на основі розробленої методики. Вихідними параметрами для симуляційного аналізу були вибрані механічні характеристики пінополіуретану WF300. Числові дослідження проведені для випадку зменшення значень густини та розмірів пор матеріалу. Відповідність кривих на рис.2 вказана у таблиці 2.

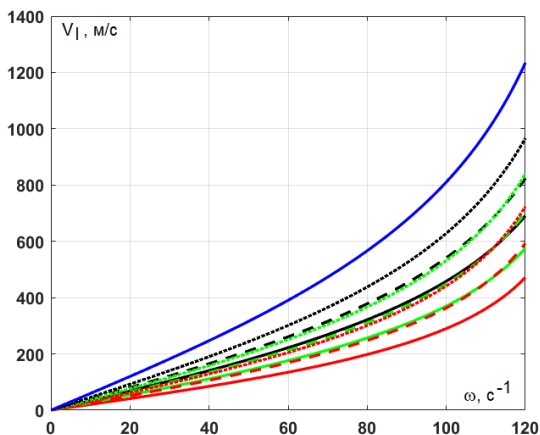


Рис. 2. Зміна швидкості поширення хвиль у пінистих матеріалах

Аналіз числових результатів рис. 2 показує, що зменшення пористості та густини матеріалу призводить до зниження швидкості поширення хвиль зсуву-обертання у пінистому середовищі.

Такий симуляційний аналіз дозволяє не тільки оптимізувати експлуатаційні характеристики матеріалу, а й визначити оптимальні

значення величин густини та пористості піни для отримання максимально потрібних результатів.

Таблиця 2

Зміна густини та пористості досліджуваних матеріалів

	$h, \text{мм}$	$\rho, \text{кг/м}^3$	Колір кривої	Тип кривої
WF300	0.77	380	Синій	_____
	0.65(-10%)	342(-10%)	Чорний
	0.585(-20%)	342(-10%)	Зелений
	0.52(-30%)	342(-10%)	Червоний
	0.585(-20%)	304(-20%)	Чорний	-----
	0.52(-30%)	304(-20%)	Зелений	-----
	0.455(-40%)	304(-20%)	Червоний	-----
	0.52(-30%)	266(-30%)	Чорний	_____
	0.455(-40%)	266(-30%)	Зелений	_____
	0.39 (-50%)	266(-30%)	Червоний	_____

Висновки. Запропонований у роботі підхід, що ґрунтується на методі аналітико-числового моделювання у поєднанні з використанням експериментальних досліджень, може бути використаний не лише для спінених, а й пористих та інших типів структурно-неоднорідних матеріалів. Перевагою такого підходу є можливість без спеціальних лабораторних досліджень оцінити зміну механічних характеристик спінених матеріалів, які широко використовуються у виробництві, зокрема, й у будівництві. Такий підхід значно розширює сферу застосування спінених полімерів та дозволяє оптимізувати їх використання.

References

1. Azimi, H., JAHANI, D., Mohebifar, A., Yazdan, M.: Optimization of mechanical properties of PP-polymer foam fabricated via extruder. Journal of Applied Research of Chemical -Polymer Engineering, 5(1): 105-120 (2021).
2. Visser, C., Amato, D., Mueller, J., Lewis, J.: Architected Polymer Foams via Direct Bubble Writing. Advanced Materials 31(46), 1904668 (2019).
3. Leontiadis, K., Tsiopstias C., Messaritakis, S., Terzaki, A., Xidas, P., Mystikos, K., Tzimpilis, E., Tsvintzelis, I.: Optimization of Thermal and Mechanical Properties of Polypropylene-Wollastonite Composite Drawn Fibers Based on Surface Response Analysis. Polymers 14(5), 924 (2022).
4. Chen, Sh., Lei, Sh., Zhu Ju., Zhang T.: The Influence of Microstructure on Sound Absorption of Polyurethane Foams through Numerical Simulation. Macromolecular Theory and Simulation, 30(5), 2000075 (2021).

5. Lakes, R.: Experimental evaluation of micromorphic elastic constants in foams and lattices. *Zeitschrift für angewandte Mathematik und Physik* 74, 31 (2023).
6. Lakes, R.: Softening of Cosserat sensitivity in a foam: Warp effects. *International Journal of Mechanical Sciences* 192, 106125, (2021).
7. Lakes, R.: Cosserat shape effects in the bending of foams. *Mechanics of Advanced Materials and Structures*, 2086328 (2022).
8. Mikulich, O.: Wave Propagation Speed Analysis in Polyurethane Foams. *Lecture Notes in Mechanical Engineering*, 465–472 (2023).
9. Mahaboob, B., Ajmath, K., Venkateswarlu, B., Narayana C., Praveen J.: On Cobb-Douglas production function model. *AIP Conference Proceedings*, 2177, 020040 (2019).
10. Erofeev, V.I.: *Wave Processes in Solids with Microstructure*. World Scientific, Singapore (2003).

Література

1. Azimi, H., JAHANI, D., Mohebifar, A., Yazdan, M.: Optimization of mechanical properties of PP-polymer foam fabricated via extruder. *Journal of Applied Research of Chemical -Polymer Engineering*, 5(1): 105-120 (2021).
2. Visser, C., Amato, D., Mueller, J., Lewis, J.: Architected Polymer Foams via Direct Bubble Writing. *Advanced Materials* 31(46), 1904668 (2019).
3. Leontiadis, K., Tsiptsias C., Messaritakis, S., Terzaki, A., Xidas, P., Mystikos, K., Tzimpilis, E., Tsvintzelis, I.: Optimization of Thermal and Mechanical Properties of Polypropylene-Wollastonite Composite Drawn Fibers Based on Surface Response Analysis. *Polymers* 14(5), 924 (2022).
4. Chen, Sh., Lei, Sh., Zhu Ju., Zhang T.: The Influence of Microstructure on Sound Absorption of Polyurethane Foams through Numerical Simulation. *Macromoleculural Theory and Simulation*, 30(5), 2000075 (2021).
5. Lakes, R.: Experimental evaluation of micromorphic elastic constants in foams and lattices. *Zeitschrift für angewandte Mathematik und Physik* 74, 31 (2023).
6. Lakes, R.: Softening of Cosserat sensitivity in a foam: Warp effects. *International Journal of Mechanical Sciences* 192, 106125, (2021).
7. Lakes, R.: Cosserat shape effects in the bending of foams. *Mechanics of Advanced Materials and Structures*, 2086328 (2022).
8. Mikulich, O.: Wave Propagation Speed Analysis in Polyurethane Foams. *Lecture Notes in Mechanical Engineering*, 465–472 (2023).
9. Mahaboob, B., Ajmath, K., Venkateswarlu, B., Narayana C., Praveen J.: On Cobb-Douglas production function model. *AIP Conference Proceedings*, 2177, 020040 (2019).
10. Erofeev, V.I.: *Wave Processes in Solids with Microstructure*. World Scientific, Singapore (2003).

ЗНИЖЕННЯ ВИТРАТ ПРИ ПЛАНУВАННІ БУДІВЕЛЬНИХ МАЙДАНЧИКІВ

COST REDUCTION IN CONSTRUCTION SITE PLANNING

Мудрий І.Б. к.т.н., доцент (Національний університет "Львівська політехніка", м. Львів)

Mudryj I.B., Ph.D., Associate Professor (National University of Lviv Polytechnic, Lviv)

Запропоновано вимоги до оптимізації планування будівельного майданчика за рахунок: зменшення необхідних площ ресурсів які розміщуються на будівництві, мінімізації шляху чи усунення непотрібного переміщення ресурсів та використання належних методів обробки матеріалів. Виконано аналіз існуючих інформаційних технологій, які використовуються для оптимізації площ елементів будівельного господарства при будівництві.

Construction site planning involves determining the composition of temporary objects on the site and has a significant impact on the safety and efficiency of construction works. Rational planning of the construction site allows: to reduce production costs; minimize the movement time of labor, materials, and equipment on the site; improve construction productivity; improve safety and quality of work performance. Optimizing the planning of the construction site can be achieved by: reducing the necessary areas of resources placed on the construction site and minimizing the path, or eliminating unnecessary movement of resources using proper methods of material processing. However, optimal planning of the construction site, taking into account the integrated management of health, safety, and environmental issues, especially with the help of intelligent technologies, has received little attention in construction practice.

Scientific research aimed at reducing construction costs by optimizing decisions made during the design of construction master plans exists in two main directions: minimization of the required areas of construction site elements by reducing the use of certain resources and rational planning of the construction site (operational efficiency) by reducing the distances of moving resources. Variant design when planning a construction site requires the creation of different planning models and increases design costs. CSLP (construction site layout planning) technology is used abroad to solve construction site planning problems.

In general, CSLP models provide zones for the placement of construction management elements on the site under the conditions of minimizing the total construction costs, but in practice, the location of these elements may also depend on other factors that are given in the article. The further development of such technologies should be based on the possibility of not only taking into account the long-distance

movement of resources and the number of workers involved in production but also methods of reducing the necessary areas of sanitary and administrative premises.

Ключові слова: будівельний генеральний план; будівельний майданчик; операційна ефективність; віддаль переміщення ресурсів; складські майданчики; площі побутових приміщень; необхідна площа будівельного майданчика.

Keywords: construction master plan; construction site; operational efficiency; the distance of moving resources; storage areas; areas of household premises; the necessary area of the construction site.

Огляд досліджень. Планування будівельних майданчиків передбачає визначення складу тимчасових об'єктів на майданчику та має суттєвий вплив на безпеку та ефективність будівельних робіт. Раціональне планування будівельного майданчика дозволяє [1]:

- знизити витрати на виробництво;
- мінімізувати час руху робочої сили, матеріалів та обладнання на майданчику;
- покращити продуктивність будівництва;
- підвищити безпеку та якість виконання робіт.

Основними організаційно-технологічними документами, що регламентують вимоги до планування будівельного майданчика (будівельного генерального плану) при будівництві житлово-цивільних, сільських та промислових об'єктів, є проект організації будівництва (ПОБ) та проект виконання робіт (ПВР) [2]. Ці документи проектуються відповідно до [3] та [4], і повинні містити заходи щодо ефективної організації будівництва з використанням сучасних засобів механізації та прогресивних технологій будівельного виробництва, що сприяють покращенню якості, скорочення термінів та собівартості робіт з дотримання вимог техніки безпеки.

Відповідно до [3] будівельний генеральний план - це план (макет) запроектованого об'єкта, на якому показано розміщення тимчасових та постійних будівель (споруд), визначено раціональне розміщення та склад об'єктів будівельного господарства, з метою максимально ефективно їх використати, враховуючи вимоги охорони праці, вибухо- та пожежобезпеки [4]. В практиці планування (зонування) будівельного майданчика (на етапі розробки проекту організації будівництва) виконується проектувальником на основі власного досвіду, відповідно до [3], умов стисливості [5] та заходів з охорони праці [6]. У свою чергу на будівельному майданчику керівники робіт (ПВР) часто уточнюють схему планування відповідно до умов виробництва та наявних ресурсів.

Оптимізація планування будівельного майданчика може бути досягнута за рахунок: зменшення необхідних площ ресурсів, які розміщуються на будівництві, та мінімізації шляху чи усунення

непотрібного, переміщення ресурсів із використанням належних методів обробки матеріалів [7].

Відомо, що оптимізація планування різних видів діяльності на території будівельного майданчика сприятиме підвищенню операційної ефективності, скорочує кількість відходів на 20-40%, і частково дозволяє знизити витрати до 80% [8]. Поділ (сортування) матеріалів, що переробляються і повторно використовуються на місці, зменшить експлуатаційні витрати.

Однак оптимальному плануванню будівельного майданчика з урахуванням комплексного управління питаннями охорони здоров'я, безпеки та навколишнього середовища, особливо за допомогою інтелектуальних технологій, в практиці зведення приділено мало уваги [9].

Задачі планування будівельного майданчика, як правило, стосуються розміщення набору тимчасових об'єктів інженерного господарства у певних місцях ділянки будівництва, одночасно оптимізуючи цілі планування та задовольняючи існуючим обмеженням з охорони праці та безпеки навколишнього середовища. Оптимальне планування будівельного майданчика має значення для управління проектом у цілому, оскільки воно зменшує час транспортування в межах ділянки, підвищує продуктивність і безпеку умов праці [10]. Завдання з планування будівельного майданчика зазвичай складається з визначення переліку тимчасових об'єктів, необхідних для підтримки будівельних робіт, визначення їх розмірів, форми та оптимального розміщення на незайнятих ділянках у межах будівництва. Порядок проектування будівельних генеральних планів в загальному показаний на рис. 1.

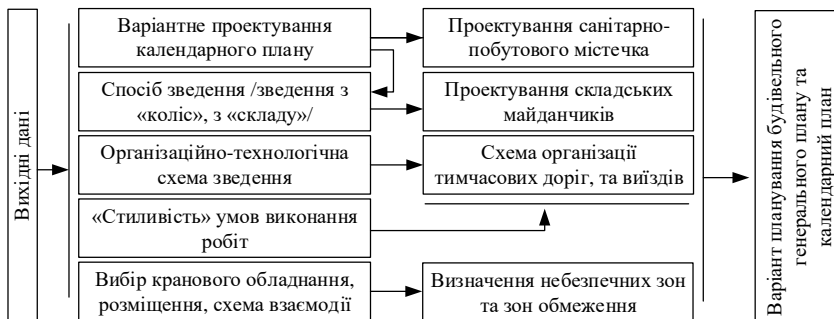


Рис. 1. Блок-схема проектування будівельного генерального плану

Мета роботи – виконати аналіз сучасного стану планування будівельних майданчиків, в умовах використання для пошуку оптимальних рішень інтелектуальних технологій моделювання.

Вклад основного матеріалу. Аналіз наукових досліджень [8, 9, 10, 11, 12], направлених на зменшення витрат зведення за рахунок оптимізації рішень, прийнятих при проектуванні будівельних генеральних планів, показує існування двох основних напрямків.

I. Мінімізації необхідних площ елементів будівельного майданчика за рахунок оптимізації використання певних ресурсів, зокрема:

а) зниження максимальної кількості робітників, залучених для виконання робіт, і відповідно зменшення необхідних площ санітарно-побутових та адміністративних приміщень. Зниження пікових навантажень у календарному плануванні за рахунок оптимізації нерівномірності використання ресурсів дозволяє мінімізувати необхідні площі і призводить до зменшення витрат. Необхідна площа санітарно-побутових та адміністративних приміщень ($S_{п.м.}$) визначається із залежності:

$$S_{п.м.} = N_{max} S_{од} k_n \quad (1)$$

де N_{max} – кількість робітників у зміні (максимальне значення), чол.; $S_{од}$ – площа на одного працюючого (нормативне значення), m^2 ; k_n – коефіцієнт, який враховує одночасне використання працюючими даного приміщення.

Слід зазначити, що фактичне зниження кількості пікових перебувань персоналу на майданчику буде мати результат за умови зменшення кількісного складу санітарно-побутових та адміністративних приміщень. Так, відповідно до табл. 6.1 [6] та [13] розрахункова площа гардеробних - 0,7 m^2 /люд, контори - 4,0 m^2 /люд, при усереднених габаритах санітарно-побутових приміщень 10...15 m^2 , зменшення пікової кількості робітників повинно складати 17...21 чол, адміністративного персоналу - 2...4 чол.;

б) зміна необхідної площі складських майданчиків - за рахунок зменшення періоду використання (вкладання) матеріалів через уточнення прийнятого методу зведення (наприклад, перехід від методу монтажу з при об'єктного складу до монтажу з «коліс»).

$$S_{скл} = \frac{Q \alpha n k}{T q \beta} \quad (2)$$

де Q – загальна кількість матеріалів, необхідних будівництва; α – коефіцієнт нерівномірного надходження матеріалів на склади; T – тривалість розрахункового періоду, дн.; n – запас матеріалів у днях (нормативний показник); k – коефіцієнт нерівномірності споживання матеріалів; q – кількість матеріалу, що розміщується на 1 m^2 площі пректованого складу; β – коефіцієнт який характеризує використання складу за площею.

Як видно з формули (2), запас матеріалів, що зберігаються на складі (його площа), залежить від: загальної кількості матеріалів, необхідних для будівництва; тривалість розрахункового періоду; норми запасів матеріалів у днях; коефіцієнтів, що враховують нерівномірність споживання та надходження. Відповідно, оптимізацію площ складу можна виконувати за рахунок варіювання тривалості розрахункового періоду зведення і норм запасів матеріалів.

II. Рациональне планування будівельного генерального плану (операційна ефективність) за рахунок мінімізації відстаней переміщення ресурсів в межах будівельного майданчика [8, 9, 10, 11, 12, 13]. Зокрема, в дослідженні [13] показано, що використання такої методики дозволило знизити операційні витрати на 23% на прикладі конкретного будівельного майданчика.

Необхідна площа будівельного майданчика визначиться, виходячи з залежності:

$$S_H = S_{\text{скл}} + S_{\text{п.м.}} + S_M + S_{\text{м.н.}} + S_D \quad (3)$$

де $S_{\text{скл}}$ – площа необхідна для складування матеріалів і конструкцій, м.кв.; $S_{\text{п.м.}}$ – площа необхідна для розміщення побутового містечка, м.кв.; S_M – площа необхідна для розміщення будівельних машин, м.кв.; $S_{\text{м.н.}}$ – площі, які враховують небезпечні зони при роботі машин, м.кв.; S_D – площа, необхідна для розміщення допоміжних технологічних майданчиків, м.кв.

Варіантне проектування при плануванні будівельного майданчика, вимагає створення різних планувальних моделей і збільшує витрати на проектування. Знизити трудомісткість на цих процесах можна за рахунок створення інформаційних моделей будівельних майданчиків у загальній моделі проекту (Project Information Model - PIM). Питанню формування будівельних майданчиків (construction site layout planning - CSLP) із застосуванням інформаційних технологій приділяється увага у практиці закордонного будівництва [8,9], оскільки це сприяє підвищенню ефективності та якості управління на місці у режимі реального часу. Зазвичай проблема планування – це складна комбінаторна задача оптимізації, що включає кілька цілей, і вона ускладнюється зі збільшенням кількості об'єктів і обмежень на умови виконання робіт. Крім того, процес інформаційного планування будівельного майданчика складний практично, і його моделювання з допомогою методів оптимізації не гарантує створення оптимального варіанту. Методи оптимізації не враховують низки робочих факторів, таких, як взаємозв'язки між окремими елементами будмайданчика, розподіл ресурсів, швидкість виробництва та простої будівельної техніки.

Алгоритми, що застосовуються в технології оптимізації CSLP, можна загалом класифікувати як штучний інтелект (artificial intelligence - AI), еволюційний алгоритм (evolutionary algorithm - EA) і методи ройового

інтелекту (swarm intelligence - SI). Всі ці алгоритми зосереджуються на пошуку рішень поставленої задачі, але не на розробці реальних даних для практичного використання, оскільки часто не враховують всі умови фактичного виробництва (часто спрощуючи їх) та зосереджуються на пошуку компромісних результатів між витратами на організацію майданчика та вимогами безпеки.

Загалом моделі CSLP передбачають зони розміщення елементів будівельного господарства на майданчику з умови мінімізації загальних витрат на зведення, але в практиці розташування цих елементів може залежати й від інших чинників. Наприклад, розташування приміщень для проведення нарад максимально близько до входу на будівельний майданчик з умови мінімального шляху переміщення по території та швидкої евакуації у випадку надзвичайної ситуації. Крім того, такі моделі часто не враховують часовий параметр, пов'язаний зі зміною організаційно-технологічних схем та умов виконання робіт, наприклад, зміна зон заїзду на майданчик і пов'язані з цим подальші заходи (перенесення воріт, доріг, зміна ОДР та ін.).

Висновки. Розвиток інтегрованих інформаційних комплексів повинен ґрунтуватися на можливості враховувати не лише віддалі переміщення ресурсів та кількість робітників, задіяних на виробництві, але й методи зниження необхідних площ санітарно-побутових та адміністративних приміщень. Самі методи оптимізації будівельного генерального плану повинні враховувати взаємозв'язки між окремими елементами будмайданчика, розподіл ресурсів, швидкість виробництва та простої будівельної техніки.

References

1. Anumba, C., and Bishop, G. _1997_. "Importance of safety considerations in site layout and organization." *Can. J. Civ. Eng.*, 24_2_, 229–236.
2. Ushatskyi S.A. *Orhanizatsiia budivnytstva* / S.A. Ushatskyi, Yu.P. Sheiko, H.M. Tryher ta in.. - K.: Kondor, 2007. - 521 s.
3. DBN A.3.1-5-2016 *Orhanizatsiia budivelnoho vyrobnytstva*. Minrehionbud. Kyiv. (2016). 51 s.
4. *Posibnyk z rozrobky proektiv orhanizatsii budivnytstva i proektiv vykonання robit* (do DBN A.Z.1-5-96 "Orhanizatsiia budivelnoho vyrobnytstva". Chastyna 1. *Tekhnolohichna ta vykonavcha dokumentatsiia*. Minrehionbud. Kyiv. (1997). 63 s.
5. DBN V.1.2-12-2008 *Budivnytstvo v umovakh ushchilненої zabudovy*. *Vymohy bezpeky*. (2008).
6. DBN A.3.2-2-2009 *Systema standartiv bezpeky pratsi. Okhorona pratsi i promyslova bezpeka u budivnytstvi. Osnovni polozhennia* (NPAOP 45.2-7.02-12). (2012).
7. Shawki K. A Dynamic automated system for site layout planning in Egypt. // *International Conference on Construction Applications of Virtual Reality*, University of Sharjah, 2014, p. 61.
8. Burns P., Merz S. Waste minimization in the construction industry // *International Journal of Emerging Technology and Advanced Engineering*.

9. Xu M., Nie X., Li H., Cheng J., Mei Z. (2022) Smart construction sites: A promising approach to improving on-site HSE management performance. *Journal of Building Engineering*. Vol. 49.
10. Ioanna N. Papadaki, Athanasios P. Chassiakos. Multi-objective construction site layout planning using genetic algorithms. *Procedia Engineering* 164 (2016) 20 – 27.
11. Zavari M., Shahhosseini V., Ardeshir A., Seb M. (2022) Multi-objective optimization of dynamic construction site layout using BIM and GIS. *Journal of Building Engineering*. Vol. 52. <https://doi.org/10.1016/j.jobe.2022.104518>.
12. Yi W., Chi H-L., Wang S. (2018) Mathematical programming models for construction site layout problems. *Automation in Construction*, Vol. 85, Pp 241-248
13. ДБН В.2.2-28:2010 Будинки і споруди. Будинки адміністративного та побутового призначення.
14. ivdon.ru/ru/magazine/archive/n8y2021/7135

Література

1. Anumba, C., and Bishop, G. _1997_. "Importance of safety considerations in site layout and organization." *Can. J. Civ. Eng.*, 24_2_, 229–236.
2. Ушацький С.А. Організація будівництва / С.А. Ушацький, Ю.П. Шейко, Г.М. Тригер та ін.. - К.: Кондор, 2007. - 521 с.
3. ДБН А.3.1-5-2016 Організація будівельного виробництва. Мінрегіонбуд. Київ. (2016). 51 с.
4. Посібник з розробки проектів організації будівництва і проектів виконання робіт (до ДБН А.3.1-5-96 "Організація будівельного виробництва". Частина 1. Технологічна та виконавча документація. Мінрегіонбуд. Київ. (1997). 63 с.
5. ДБН В.1.2-12-2008 Будівництво в умовах ущільненої забудови. Вимоги безпеки. (2008).
6. ДБН А.3.2-2-2009 Система стандартів безпеки праці. Охорона праці і промислової безпеки у будівництві. Основні положення (НПАОП 45.2-7.02-12). (2012).
7. Shawki K. A Dynamic automated system for site layout planning in Egypt. // *International Conference on Construction Applications of Virtual Reality*, University of Sharjah, 2014, p. 61.
8. Burns P., Merz S. Waste minimization in the construction industry // *International Journal of Emerging Technology and Advanced Engineering*.
9. Xu M., Nie X., Li H., Cheng J., Mei Z. (2022) Smart construction sites: A promising approach to improving on-site HSE management performance. *Journal of Building Engineering*. Vol. 49.
10. Ioanna N. Papadaki, Athanasios P. Chassiakos. Multi-objective construction site layout planning using genetic algorithms. *Procedia Engineering* 164 (2016) 20 – 27.
11. Zavari M., Shahhosseini V., Ardeshir A., Seb M. (2022) Multi-objective optimization of dynamic construction site layout using BIM and GIS. *Journal of Building Engineering*. Vol. 52. <https://doi.org/10.1016/j.jobe.2022.104518>.
12. Yi W., Chi H-L., Wang S. (2018) Mathematical programming models for construction site layout problems. *Automation in Construction*, Vol. 85, Pp 241-248
13. ДБН В.2.2-28:2010 Будинки і споруди. Будинки адміністративного та побутового призначення.
14. ivdon.ru/ru/magazine/archive/n8y2021/7135

ГРАНИЧНА ДЕФОРМАТИВНІСТЬ БЕТОНУ В ЗГИНАЛЬНИХ ПЕРЕАРМОВАНИХ ЕЛЕМЕНТАХ

ULTIMATE DEFORMABILITY OF CONCRETE IN FLEXURAL OVER REINFORCED MEMBERS

Павліков А.М., д.т.н., професор, Гарькава О.В., к.т.н., доцент (Національний університет «Полтавська політехніка імені Юрія Кондратюка», м. Полтава)

Pavlikov A.M., Dr.Tech in Engineering, Professor, Harkava O.V., Ph.D., Associate Professor (National University "Yuri Kondratyuk Poltava Polytechnic", Poltava)

Застосування нелінійної деформаційної моделі в розрахунках міцності залізобетонного елемента базується на використанні граничних значень деформацій стиску бетону в момент руйнування. Розрахункові граничні значення деформацій бетону можна визначити аналітично шляхом дослідження на екстремум функції несучої здатності залізобетонного елемента від шуканої деформації. При цьому зазвичай припускають, що розтягнута арматура досягає межі текучості і в подальшому напруження в ній постійні. У переармованих згинальних елементах в момент руйнування напруження в арматурі не досягають межі текучості і вони не є сталою величиною. Для такого випадку розрахункові граничні значення деформацій стиску бетону запропоновано визначити аналітично, але за іншим критерієм.

The analysis of reinforced concrete members in section analysis relies on the application of deformation theory, which involves using the ultimate values of concrete compressive strains at the moment of failure. These strains can be determined by analysing the bearing capacity function at its highest point. Typically, this analysis assumes that the tensile reinforcement reaches its yield point and maintains a constant stress. However, in the case of overreinforced elements, the stresses in the reinforcement at the moment of failure do not reach the yield point and are not constant. Given that the failure of overreinforced members initiates from a compressed region, it is evident that the criterion for failure in such cases will be reaching the maximum strength of the compressed concrete area within the member. In such situations, an analytical criterion is proposed to determine the ultimate compressive strain of concrete in reinforced concrete members. This criterion, along with the commonly used criterion for extreme concrete strength in regular reinforced concrete members, forms the basis for calculating the strength of reinforced concrete structures. The ultimate compressive strains of concrete are determined by applying the derived criterion to a range of concrete classes, represented by a coefficient "k" ranging from 1 to 5. The resulting diagram can be used to standardize the ultimate values of concrete strains for different concrete classes. Additionally, the ultimate values of fiber strain can be utilized to determine the bearing capacity of members subjected to axial load and bending moment, where the tensile reinforcement operates within the elastic stage. Based on the

deformation model, formulas for calculating the strength of flexural reinforced concrete members are derived using the calculated ultimate strains of concrete. These calculations are based on the equations of solid body mechanics and a complete stress-strain diagram of concrete and reinforcement. To facilitate practical calculations, a table of ultimate strains of concrete values and necessary coefficients for various concrete classes has been developed. The application of this method is illustrated through an example.

Ключові слова: залізобетонний елемент, граничні деформації бетону, розрахунок міцності.

Keywords: reinforced concrete member, ultimate concrete strain, section analysis.

Вступ. Розрахунок міцності згинальних залізобетонних елементів на основі застосування деформаційної моделі базується на застосуванні розрахункових (їх часто називають граничними) значень деформацій ϵ_{cu} найбільш стиснутої фібри бетону в залізобетонному елементі. Для визначення цих значень деформацій застосовують різні підходи.

Аналіз останніх досліджень. Найпростіший підхід характеризується використанням фіксованих значень деформацій ϵ_{cu} бетону, отриманих на основі експериментальних досліджень [1 – 4]. Згідно з іншим підходом розрахункові значення деформацій бетону визначають аналітично шляхом дослідження функції $M_{Rd} = f(\epsilon_{cm})$ на екстремум (де ϵ_{cm} – деформації бетону в найбільш стиснутій фібри нормального перерізу залізобетонного елемента) завдяки введеному поняттю екстремального критерію міцності $\partial M_{Rd} / \partial \epsilon_{cm} = 0$ залізобетонного елемента в нормальному перерізі [5 – 8]. Відомі також аналітичні підходи з визначення граничних значень деформацій, які ґрунтуються на методі енергетичного балансу [9 – 10], та інші [11 – 12].

Постановка мети і задач досліджень. Застосування екстремального критерію реалізовано [7] для нормально армованих залізобетонних елементів, а саме таких, у яких в момент руйнування напруження в арматурі розтягнутої зони досягають межі текучості, тобто $\sigma_s = f_{yd}$. Для переармованих елементів, у котрих в момент їх руйнування розтягнута арматура не досягає межі текучості, граничні значення деформацій бетону можуть набувати більших значень порівняно з розрахованими при встановленому сталому значенні напружень в арматурі. Застосування для таких елементів екстремального критерію $\partial M_{Rd} / \partial \epsilon_{cm} = 0$ при $\sigma_s = f_{yd}$ є неприйнятним, а тому граничні значення деформацій бетону для цих випадків слід визначати методами ітерацій. На сьогодні немає пропозицій щодо визначення аналітичним розрахунком таких граничних значень деформацій бетону в переармованих залізобетонних елементах. Їх визначення аналітично є також актуальним для розрахунку позациентрово

стиснутих елементів з малими ексцентриситетами. Отже, за мету роботи ставиться аналітичне виведення залежності для визначення граничних деформацій бетону у складі залізобетонного елемента прямокутного перерізу за умови роботи розтягнутої арматури в пружній стадії та застосування цих деформацій в розрахунку міцності.

Методика досліджень. Розрахунок граничного значення деформацій бетону для переармованих залізобетонних елементів ґрунтується на нелінійній деформаційній моделі [1]. Сутність розрахунку полягає в тому, що у поперечному перерізі враховується приріст не зусиль, а деформацій. У цій роботі розрахунок приросту деформацій (рис. 1) розглядається у найбільш стиснутій фібрі бетону (у точці з максимальним рівнем відносних деформацій $\eta_m = \epsilon_{cm} / \epsilon_{c1,cd}$).

Розв'язання задачі визначення граничних деформацій бетону здійснено за розрахунковою схемою, зображеною на рисунку 1. На схемі розподіл напружень у бетоні стиснутої зони представлено за допомогою функції-апроксимації діаграми стану бетону «напруження- деформації» у вигляді залежності (3.4) за [1]. Тут, в якості прикладу, задача розглядається для балки прямокутного поперечного перерізу, армованого одиночною арматурою. При цьому вважається, що арматура в поперечному перерізі працює з неповним розрахунковим опором, тобто $\sigma_s < f_{yd}$.

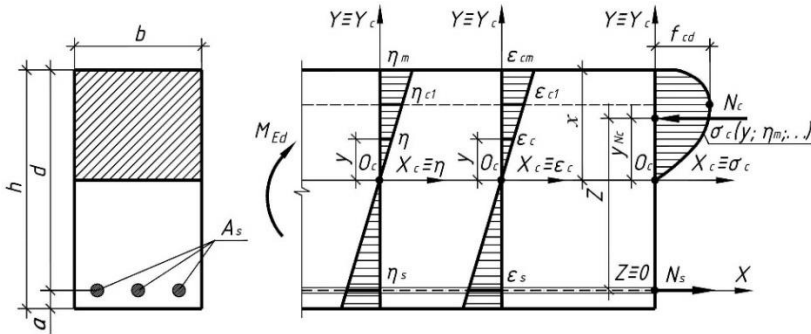


Рис. 1. Розрахункова схема зусиль, напружень та деформацій в перерізі переармованого залізобетонного елемента

У поставленій задачі відомими величинами є: площа поперечного перерізу поздовжньої арматури A_s , розміри поперечного перерізу балки $b \times h$, фізико-механічні характеристики бетону f_{cd} , $E_{cd,ec1}$, $\epsilon_{c1,cd}$ й арматури f_{yd} , E_s . Також відомо, що балка переармована. Невідомими величинами вважаються значення моменту M_{Rd} , який може сприйнятись балкою, та відповідне йому значення відносних деформацій в найбільш стиснутій

фібри бетону $\varepsilon_{cm} = \varepsilon_{cu}$ (їх рівень $\eta_m = \eta_u$).

Для виведення шуканих залежностей, з метою обчислення за ними значень M_{Rd} та ε_{cu} , для прийнятої розрахункової схеми (рис. 1) використані:

– рівняння рівноваги:

$$\Sigma X = 0; \quad N_s - N_c = 0, \quad (1)$$

$$\Sigma M_Z = 0; \quad M_{Ed} - N_c (d - x + y_{Nc}) = 0, \quad (2)$$

– діаграма «напруження-деформації» фізичного стану бетону на стиск за [1] у вигляді

$$\sigma_c = \frac{f_{cd}(k\eta - \eta^2)}{(1 + (k - 2)\eta)}, \quad (3)$$

де $k = 1,05(E_{cd} \varepsilon_{c1,cd} / f_{cd})$, $\eta = (\varepsilon_c / \varepsilon_{c1,cd})$;

– умова сумісності деформування бетону й арматури у вигляді:

$$\varepsilon_c = \varepsilon_s; \quad (4)$$

– гіпотеза плоских перерізів за умовою:

$$\frac{\varepsilon_{cm}}{x} = \frac{\varepsilon_s}{d - x}; \quad (5)$$

– діаграма «напруження-деформації» роботи арматури з фізичною ділянкою текучості за залежностями:

$$\sigma_s = E_s \varepsilon_s \quad \text{при } 0 \leq \varepsilon_s \leq f_{yd} / E_s; \quad (6)$$

$$\sigma_s = f_{yd} \quad \text{при } \varepsilon_s > f_{yd} / E_s. \quad (7)$$

Оскільки, як відомо, втрата несучої здатності переармованих елементів починається із руйнування бетону стиснутої зони, то є очевидним, що критерієм руйнування таких елементів буде досягнення бетоном їх стиснутої зони максимального опору. Сформульоване твердження можна представити у вигляді умов:

$$N_{cu}(\varepsilon_{cu}) = \max N_c(\varepsilon_{cm}), \quad (8)$$

або

$$N_{cu}(\eta_u) = \max N_c(\eta_m), \quad (9)$$

в яких граничне значення відносної деформації бетону на стиск ε_{cu} (або її рівень $\varepsilon_{cu} / \varepsilon_{c1,cd} = \eta_u$), в найбільш деформованій фібри поперечного перерізу, перевищує деформації, що відповідають екстремальному критерію міцності цього перерізу в балці при сталому значенні напружень текучості в арматурі [7].

Із сформульованих критеріїв (8) – (9) випливає, що, залежність для визначення невідомої величини ε_{cu} , можна отримати шляхом дослідження

на екстремум функції $N_c = f(\sigma_c, x, \eta_m, \dots)$. Тобто, в основу шуканої залежності покладено критерій, який являє собою явище виникнення максимального внутрішнього силового опору бетону стиснутої зони перерізу при одночасному зростанні напружень у поздовжній арматурі.

Для отримання шуканої залежності з визначення невідомої величини ε_{cu} (або η_u) шляхом диференціювання функції N_c від змінної η_m у вигляді $N_c = f(\sigma_c, x, \eta_m, \dots)$, спочатку N_c у рівнянні (1) функціонально було виражено через x, η_m .

Поставлена мета реалізована на основі отриманого закону розподілення напружень в бетоні стиснутої зони у вигляді $\sigma_c = f(y, \eta_m, \dots)$ в системі координат $Y_c O_c X_c$ з її початком O_c на нейтральній лінії (рис. 1) у наступному вигляді:

$$\sigma_c = \frac{f_{cd} \eta_m y (kx - \eta_m y)}{x(x + (k - 2)\eta_m y)}. \quad (10)$$

Особливість закону (10) полягає в тому, що він описує процес розподілення напружень в бетоні стиснутої зони по поперечному перерізові елемента за будь-якого рівня відносних деформацій бетону в найбільш стиснутій фібрі, і, таким чином, для будь-якого рівня завантаження балкового елемента. За залежністю (10) складові рівнянь (1) та (2), після виконання необхідних математичних дій, перетворені у такі вирази:

$$N_c = b \int_0^x \frac{f_{cd} \eta_m y (kx - \eta_m y)}{x(x + (k - 2)\eta_m y)} dy = f_{cd} b x \omega; \quad (11)$$

$$y_{N_c} = \frac{S_c}{N_c} = x \frac{\varphi}{\omega}; \quad (12)$$

$$S_c = b \int_0^x \frac{f_{cd} \eta_m y (kx - \eta_m y) y}{x(x + (k - 2)\eta_m y)} dy = f_{cd} b x^2 \varphi, \quad (13)$$

У виразах (11) та (13)

$$\left. \begin{aligned} \omega &= \frac{(k-1)^2 (c - \ln c - 1)}{(k-2)^3 \eta_m} - \frac{\eta_m}{2(k-2)} \text{ at } k \neq 2, \\ \omega &= \eta_m \left(1 - \frac{\eta_m}{3}\right) \text{ at } k = 2, \end{aligned} \right\}; \quad (14)$$

$$\left. \begin{aligned} \varphi &= \frac{(k-1)^2 \left((c-2)^2 + 2 \ln c - 1 \right)}{2(k-2)^4 \eta_m^2} - \frac{\eta_m}{3(k-2)} \quad \text{at } k \neq 2, \\ \varphi &= \eta_m \left(\frac{2}{3} - \frac{\eta_m}{4} \right) \quad \text{at } k = 2, \end{aligned} \right\}, \quad (15)$$

де ω – як видно з формули (11), це коефіцієнт повноти епюри напружень у бетоні стиснутої зони;

$$c = 1 + (k-2)\eta_m.$$

Опираючись на критерій (9) для визначення значень ε_{cu} (η_u) відповідне рівняння (11) досліджено на екстремум за умовою

$$\frac{\partial N_c}{\partial \eta_m} = 0. \quad (16)$$

Зокрема, наприклад, для значення $k = 2$ похідна функції (11) за (16) має вигляд

$$\frac{\partial N_c}{\partial \eta_m} = f_{cd} b x \left(1 - \frac{2\eta_m}{3} \right). \quad (17)$$

На основі розв'язання (17) за умовою (16) отримано, що для $k = 2$ відповідно $\eta_u = 1,5$.

Графічно результати дослідження функції (11) на екстремум за умовою (16) представлено діаграмою граничних (характерних) значень рівнів фібрових деформацій (конструкційних деформацій) стиску бетону в момент втрати переармованим залізобетонним елементом несучої здатності (рис. 2).

Після підстановки функціонально виражених через η_u величин N_c та u_{Nc} в рівняннях рівноваги (1) та (2) з урахуванням роботи арматури за умовою (6) на похилій ділянці дволінійної діаграми деформування отримано, що

$$\sigma_s A_s = f_{cd} b x \omega, \quad (18)$$

$$M_{Ed} - \sigma_s A_s \left(d - \chi \frac{\sigma_s A_s}{f_{cd} b} \right) = 0, \quad (19)$$

де коефіцієнт χ показує, яку частину висоти стиснутої зони x складає уздовж цієї висоти відстань від найбільш стиснутої фібри поперечного перерізу до точки прикладання рівнодійної N_c :

$$\chi = (\omega - \varphi) / \omega^2. \quad (19)$$

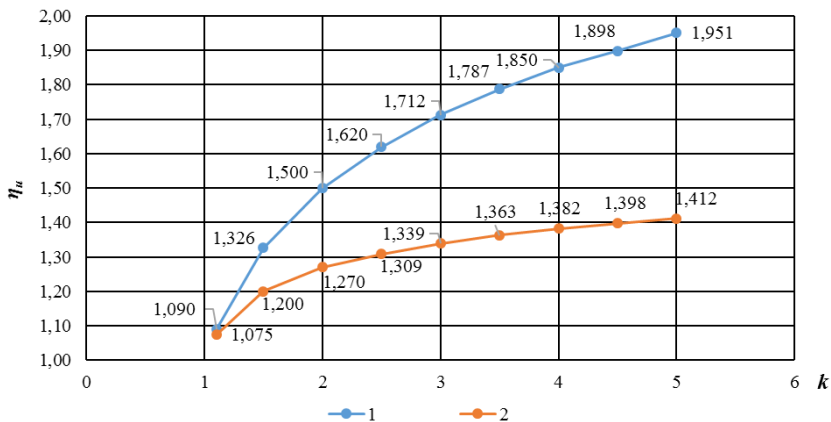


Рис. 2. Діаграми граничних значень рівнів фібрових деформацій бетону η_u у стиснутій зоні поперечного перерізу згинального 1 – перearмованого за (9) та 2 – нормально армованого за [7] залізобетонних елементів залежно від параметра k

Для зручності застосування параметрів ω та χ в розрахунках міцності перearмованих залізобетонних елементів їх значення, обчислені за залежностями (14) та (15) з урахуванням даних графіка 1 на рисунку 2, зведені у таблицю 1 залежно від класу бетону С.

Таблиця 1

Значення параметрів η_u , ω та χ для перearмованих елементів

Клас бетону	С 12/15	С 16/20	С 20/25	С 25/30	С 30/35	С 32/40	С 35/45	С 40/50	С 45/55	С 50/60
η_u	1,742	1,706	1,668	1,642	1,620	1,595	1,578	1,565	1,543	1,518
ω	0,820	0,811	0,801	0,794	0,788	0,781	0,775	0,771	0,764	0,756
χ	0,541	0,543	0,600	0,547	0,548	0,549	0,551	0,552	0,553	0,555

Розглянемо застосування запропонованої методики на прикладі.

Приклад. Дано: балка прямокутного профілю з розмірами перерізу $b = 200$ мм, $h = 400$ мм; бетон балки класу С30/35 ($f_{cd} = 19,5$ МПа, $E_{cd} = 27$ ГПа, $\epsilon_{c1,cd} = 1,70\%$); арматура класу А500С ($f_{yd} = 417$ МПа, $E_s = 210$ ГПа) розташована на відстані від нижньої грані перерізу $a = 50$ мм, площа арматури $A_s = 1885$ мм². Для розглядуваної балки за методикою [9] встановлено, що в момент руйнування розтягнута арматура не досягає межі текучості.

Необхідно визначити згинальний момент, який може сприймати балка.

Робоча висота перерізу $d = h - a = 400 - 50 = 350$ мм.

Визначаємо висоту стиснутої зони бетону з рівняння (17) при $\eta_u = 1,620$ та $\omega = 0,787$ (табл. 1). Отримано $x = 217,19$ мм. Згинальний момент визначаємо з рівняння (18) при $\sigma_s = 353,65$ МПа та $\chi = 0,548$ (табл. 1) $M_{Rd} = 171,0$ кНм.

Значення згинального моменту, обчислене ітераційним методом за [2] з використанням апроксимації діаграми стану бетону поліномом 5-го ступеня, складає $M_{Rd} = 177,0$ кНм.

Результати досліджень. У наведеній роботі продемонстровано, що розрахунок міцності (несучої здатності) згинальних залізобетонних елементів у нормальному перерізі при роботі розтягнутої арматури в пружній стадії можна здійснювати шляхом застосування запропонованого критерію повного використання опору бетону стиснутої зони (8)–(9). Однозначність сформульованого критерію обґрунтовано фізичними передумовами, регламентованими чинними нормативними документами. Сумісне застосування екстремального критерію [9] та критерію повного використання опору бетону стиснутої зони в розрахунках несучої здатності в нормальному перерізі згинальних залізобетонних елементів, реалізується в замкнутій формі. Критерій (8)–(9) можна також застосовувати для обчислення граничних значень фібрових деформацій бетону при визначенні несучої здатності позацентровано стиснутих елементів з малими ексцентриситетами, розтягнута арматура котрих працює у пружній стадії.

Аналіз отриманих у цій роботі формул (11), (8) та (9) показує, що числові значення фібрових деформацій бетону функціонально залежать безпосередньо від форми стиснутої зони, що на практиці означає їх залежність від форми поперечного перерізу залізобетонного елемента. Отримані і наведені розрахункові значення фібрових деформацій (табл. 1) є прийнятними для бетону прямокутної форми стиснутої зони перерізу. Як свідчать результати роботи багатьох дослідників, зокрема роботи [6, 9], при перетворенні прямокутної форми стиснутої зони в трикутну чи трапецієподібну при повороті поперечного перерізу (за умов косоного стиснення чи згинання), значення граничних фібрових деформацій концентруються на рівні найбільш стиснутого ребра елемента, тобто вони зростають. Такі значення деформацій для умов складного деформування отримані аналітично на основі екстремального критерію міцності для випадку досягнення розтягнутою арматурою межі текучості [7]. Що ж

стосується використання запропонованого критерію (8) – (9) у випадку інших форм стиснутої зони (поперечних перерізів), за умови, що деформації розтягнутої арматури розглядаються для переармованих залізобетонних елементів, то такі дослідження також проведені в «Полтавській політехніці», що дає можливість використовувати повний діапазон змін граничних значень фібрових деформацій бетону як для прямокутної, так і інших форм стиснутої зони бетону (поперечних перерізів). Тобто, в кінцевому підсумку отримано діаграми граничних значень фібрових деформацій бетону залежно від форми поперечного перерізу елементів і, як наслідок, уможливлено розрахунок переармованих залізобетонних елементів за викладеною у цій статті методикою не тільки при їх плоскому згинанні, але й складному деформуванні (при косому стисканні, косому згинанні, згинанні з крученням та інших завантаженнях).

Висновки. В роботі сформульовано критерій для обчислення граничних значень деформацій бетону стиснутої зони у складі переармованих залізобетонних елементів, в котрих напруження розтягнутої арматури в момент руйнування не є сталим значенням. Цей критерій у сукупності з екстремальним критерієм опору бетону стиснутої зони може бути покладено в основу методики розрахунку міцності (несучої здатності) залізобетонних конструкцій. Його застосування є можливим як для згинальних елементів з переармованим перерізом, так і позацентрово стиснутих елементів, елементів з високоміцною арматурою. Виведені залежності дозволяють розрахувати граничні значення фібрових деформацій бетону залежно від будь-яких факторів. Отриману діаграму значень можна використовувати для систематизації граничних значень деформацій бетону залежно від різних класів бетону. На основі деформаційної моделі виведені формули для розрахунку міцності переармованих залізобетонних елементів з використанням обчислених граничних деформацій бетону.

References

1. DBN V.2.6-98:2009. Konstruktsii budynkiv i sporud. Betonni ta zalizobetonni konstruktsii. Osnovni polozhennia. K.: Minrehionbud Ukrainy, 2022. 71 s.
2. DSTU B V.2.6-156:2010. Konstruktsii budynkiv i sporud. Betonni ta zalizobetonni konstruktsii z vazhkohto betonu. Pravyla proektuvannia. K.: Minrehionbud Ukrainy, 2011. 118.
3. Grammatikou S., Biskinis D., Fardis M.N. Ultimate Strain Criteria for RC Members in Monotonic or Cyclic Flexure. Journal of Structural Engineering, 2016. Vol.

142, No. 9. URL: [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)ST.1943-541X.0001501](https://doi.org/10.1061/(ASCE)ST.1943-541X.0001501)

4. Baduge Sh.K., Mendis P., Ngo T. Stress-strain relationship for very-high strength concrete (>100 MPa) confined by lateral reinforcement. *Engineering Structures*, 2018. Vol. 177, P. 795-808. URL: <https://doi.org/10.1016/j.engstruct.2018.08.008>

5. Rüsç H. Researches toward a general flexural theory for structural concrete. *Journal of the American Concrete Institute*, 1960. Vol.32, No.1, P. 1-28, 1960.

6. Mytrofanov V.P., Pavlikov A.M. Ekstremalniy kryterii mitsnosti zalizobetonnykh elementiv u deformatsiynii modeli. *Budivelni konstruktsii. Naukovo-tekhnichni problemy suchasnoho zalizobetonu: Zb. nauk. pr., 2005. Vyp. 62. Kn. 1. S. 205-212.*

7. Pavlikov A., Harkava O. Structural deformability of concrete. *Concrete Structures for Resilient Society: Proceedings of the fib Symposium*, 2020. P. 519-525.

8. Pavlikov A., Harkava O., Atembemoh K. Design of Reinforced Concrete Members Taking into Account the Influence of Biaxial Bending. *Proceedings of the 3rd International Conference on Building Innovations. ICBI 2020, Lecture Notes in Civil Engineering*, Springer, 2021. Vol. 181, P. 291-301. URL: https://doi.org/10.1007/978-3-030-85043-2_28

9. Wu Y.-F., Cao Yu. Energy Balance Method for Modeling Ultimate Strain of Confined Concrete. *ACI Structural Journal*, 2017. Vol. 114, No. 2, P. 373-381. URL: <https://doi.org/10.14359/51689429>

10. Tijani I.A., Wu Y.-F., Lim C.W. Energy balance method for modelling ultimate strain of fiber-reinforced polymer-repaired concrete. *Structural Concrete*, 2020. Vol. 21, P. 804-820. URL: <https://doi.org/10.1002/suco.201900260>

11. Samani A.K., Attard M.M. A stress-strain model for uniaxial and confined concrete under compression. *Engineering Structures*, 2012. Vol. 41, P. 335-349. URL: <https://doi.org/10.1016/j.engstruct.2012.03.027>

12. Pour A.F., Faradonbeh R. Sh., Gholampour A., Ngo Tuan D. Predicting ultimate condition and transition point on axial stress-strain curve of FRP-confined concrete using a meta-heuristic algorithm. *Composite Structures*, 2023. Vol. 304, part 2. URL: <https://doi.org/10.1016/j.compstruct.2022.116387>

Література

1. ДБН В.2.6-98:2009. Конструкції будинків і споруд. Бетонні та залізобетонні конструкції. Основні положення. К.: Мінрегіонбуд України, 2022. 71 с.

2. ДСТУ Б В.2.6-156:2010. Конструкції будинків і споруд. Бетонні та залізобетонні конструкції з важкого бетону. Правила проектування. К.: Мінрегіонбуд України, 2011. 118.

3. Grammatikou S., Biskinis D., Fardis M.N. Ultimate Strain Criteria for RC Members in Monotonic or Cyclic Flexure. *Journal of Structural Engineering*, 2016. Vol. 142, No. 9. URL: [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)ST.1943-541X.0001501](https://doi.org/10.1061/(ASCE)ST.1943-541X.0001501)

4. Baduge Sh.K., Mendis P., Ngo T. Stress-strain relationship for very-high strength concrete (>100 MPa) confined by lateral reinforcement. *Engineering Structures*, 2018. Vol. 177, P. 795-808. URL: <https://doi.org/10.1016/j.engstruct.2018.08.008>
5. Rüsç H. Researches toward a general flexural theory for structural concrete. *Journal of the American Concrete Institute*, 1960. Vol.32, No.1, P. 1-28, 1960.
6. Митрофанов В.П., Павліков А.М. Екстремальний критерій міцності залізобетонних елементів у деформаційній моделі. Будівельні конструкції. Науково-технічні проблеми сучасного залізобетону: Зб. наук. пр., 2005. Вип. 62. Кн. 1. С.205-212.
7. Pavlikov A., Harkava O. Structural deformability of concrete. *Concrete Structures for Resilient Society: Proceedings of the fib Symposium*, 2020. P. 519-525.
8. Pavlikov A., Harkava O., Atembemoh K. Design of Reinforced Concrete Members Taking into Account the Influence of Biaxial Bending. *Proceedings of the 3rd International Conference on Building Innovations. ICBI 2020, Lecture Notes in Civil Engineering*, Springer, 2021. Vol. 181, P. 291-301. URL: https://doi.org/10.1007/978-3-030-85043-2_28
9. Wu Y.-F., Cao Yu. Energy Balance Method for Modeling Ultimate Strain of Confined Concrete. *ACI Structural Journal*, 2017. Vol. 114, No. 2, P. 373-381. URL: <https://doi.org/10.14359/51689429>
10. Tijani I.A., Wu Y.-F., Lim C.W. Energy balance method for modelling ultimate strain of fiber-reinforced polymer-repaired concrete. *Structural Concrete*, 2020. Vol. 21, P. 804-820. URL: <https://doi.org/10.1002/suco.201900260>
11. Samani A.K., Attard M.M. A stress-strain model for uniaxial and confined concrete under compression. *Engineering Structures*, 2012. Vol. 41, P. 335-349. URL: <https://doi.org/10.1016/j.engstruct.2012.03.027>
12. Pour A.F., Faradonbeh R. Sh., Gholampour A., Ngo Tuan D. Predicting ultimate condition and transition point on axial stress-strain curve of FRP-confined concrete using a meta-heuristic algorithm. *Composite Structures*, 2023. Vol. 304, part 2. URL: <https://doi.org/10.1016/j.compstruct.2022.116387>

**АВТОМАТИЗОВАНИЙ РОЗРАХУНОК ПЛИТИ НА ПРУЖНІЙ
ОСНОВІ НА ДОДАТКОВЕ НАВАНТАЖЕННЯ**

**AUTOMATED CALCULATION OF A SLAB ON AN ELASTIC
BASE FOR ADDITIONAL LOAD**

Пасічник Р.В., к.т.н., доц., **Ротко С.В.** к.т.н., доц., **Лучинець С.А.**,
завідувач науково-дослідної будівельної лабораторії, **Пасічник О.С.**
к.арх, доц. (Луцький національний технічний університет)

Pasichnyk R.V., Ph.D. in Engineering., **Rotko S.V.**, Ph.D. in
Engineering, **Luchynets S.A.**, Head of the Research Construction
Laboratory, **Pasichnyk O.S.** Ph.D in Architecture (Lutsk National
Technical University)

Проведено технічне обстеження та оцінку стану залізобетонної плити підлоги корпусу №14 СП ТОВ «Модерн-Експо», по вулиці. Рівненська, 4 села Струмівка. За результатами обстеження виконано перевірочний розрахунок несучої здатності плити підлоги від коліс навантажувача Linde H100D/600. Плита підлоги розраховувалась як плита на пружній основі. В якості в'язів при розрахунку задано існуючий ґрунт, а також фундаменти під колони. Крок колон становить 6 м в обох напрямках. Для визначення максимальних напружень навантажувач передніми колесами розміщували в центрі та по краях фрагменту плити 6х6 м. У результаті було знайдено найбільш невідгідне положення вантажу на плиті та виконано перевірочний розрахунок.

A technical inspection and assessment of the condition of the reinforced concrete floor slab of building No. 14 of JV "Modern-Expo" LLC, Rivnenska street, 4 Strumivka villages. The survey was carried out by specialists of the Scientific and Research Construction Laboratory of the Lutsk National Technical University at the Department of Construction and Civil Engineering. Based on the results of the survey, a verification calculation of the load-bearing capacity of the floor slab was performed based on the weight of the slab and the wheels of the Linde H100D/600 forklift. The floor slab was calculated as a slab on an elastic base. The existing soil and foundations under the columns are supports for the slab. Columns are placed with a step of 6 meters in both directions. The base soil consists of crushed stone, bulk soil, humus loess sand, loess sand, fine sand (according to the engineering and geological conclusion)

To determine the maximum stresses, two positions of the loader on a 6x6 m slab fragment were considered. Positions 1. The geometric center of the loader is placed in the middle of the slab. The load from the wheels is taken according to the technical characteristics. The front wheels transmit a load of 12.4525t each to the plate. The rear wheels transmit a load of 1.697t each to the slab. Positions 2. The front axle of the loader is placed in the middle of the slab. The load from the wheels is taken according to the

technical characteristics. The front wheels transmit a load of 12.4525t each to the plate. The rear wheels transmit a load of 1.697t each to the slab.

As a result, the position in the first variant, when the geometric center of the loader is placed in the middle of the plate, turned out to be the most unfavorable position.

After carrying out a verification calculation of the bearing capacity of the floor slab from the own weight of the slab and the wheels of the Linde H100D/600 loader according to the first load option, a conclusion was made about the sufficient bearing capacity and the possibility of using the slab under the planned loads.

*Ключові слова: плита на пружній основі, залізобетонна плита, напруження.
Keywords: slabs on an elastic base, reinforced concrete slab, tension.*

Згідно договору між науково-дослідною будівельною лабораторією при кафедрі будівництва та цивільної інженерії Луцького національного технічного університету та СП ТОВ «МОДЕРН-ЕКСПО» фахівцями лабораторії було проведено обстеження та зроблено оцінку технічного стану підлоги виробничо-складського приміщення корпусу № 14 за адресою: вул. Рівненська, 4 у с. Струмівка Луцького району.

У корпусі №14 заплановано використання навантажувача Linde H100D/600 вантажопідйомністю 10 т (рис. 1). При початковому проектуванні та влаштуванні підлоги таке навантаження не враховувалося, тому виникла необхідність виконати перевірочний розрахунок плити підлоги на додаткове навантаження.

Згідно з кроком колон (6х6 м) для розрахунку вибрано фрагмент підлоги 6х6 м. Обстеженням встановлено, що товщина плити становить 230 мм, виготовлена вона з бетону класу С10/12.5. Плита заармована сіткою із стержнів А400С Ø10 мм з кроком 200х200мм. Основа плити – щебенева підготовка (150мм) та утрамбований ґрунт із таких шарів: насипного ґрунту, супіску гумусованого, супіску лесового, піску дрібного (згідно з іженерно-геологічним висновком), рис.2.



Рис. 1. Навантажувач Linde H100D/600

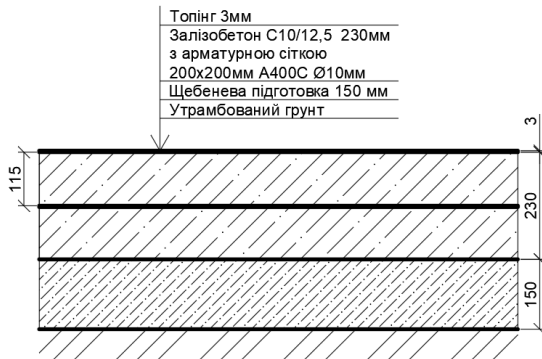


Рис. 2. Конструкція плити підлоги

У даний час загально визнаним і найпоширенішим числовим методом автоматизованого розрахунку складних будівельних конструкцій та будівель загалом є метод скінченних елементів (МСЕ). На основі цього методу написано абсолютну більшість алгоритмів для розрахункових комплексів. Лідерами серед розрахункових програмних комплексів в Україні є вітчизняні комплекси SCAD Office та ПК ЛІРА-САПР. Обидва вони виконують розрахунки на основі методу скінченних елементів. Для моделювання основи в цих програмних комплексах використовується модель Вінклера та модель Пастернака.

Класичною механічною розрахунковою моделлю основи є модель Вінклера. Модель складається із окремих, не пов'язаних між собою пружин, зафіксованих на абсолютно жорсткій основі.

Штамп навантаження, який прикладений до поверхні моделі Вінклера, втискується на глибину, прямо пропорційну середньому тиску, і при знятті штамп повертається у початкове положення. Поверхня такої моделі за межами штампу не зазнає деформації, тобто модель не враховує роботу ґрунту за межами плити.

Механічні властивості для моделі Вінклера характеризуються одним коефіцієнтом постелі C_1 . Цей коефіцієнт, з фізичної точки зору, показує величину зусилля, яке необхідно прикласти до 1 м^2 поверхні ґрунту, щоб ґрунт осів на 1 м . Розмірність коефіцієнта C_1 - кН/м^3 .

Відповідно до гіпотези Вінклера, коефіцієнт постелі в i -тій точці поверхні ґрунту рівний відношенню тиску на ґрунт в i -тій точці до її осідання.

У класичному підході коефіцієнт постелі C_1 моделі Вінклера залежить виключно від виду ґрунту та використовується постійним за всією контактною площею основи та плити.

Для використання моделі Вінклера в ПК ЛІРА-САПР пропонується використовувати скінченні елементи CE 51, 55.

Класична модель основи Пастернака характеризується, на відміну від моделі Вінклера, вже двома коефіцієнтами постелі $C1$ (кН/м^3), $C2$ (кН/м). Коефіцієнт $C1$ описує тільки вертикальні деформації основи та плити. Коефіцієнт $C2$ враховує роботу ґрунту за межами плити. У випадку $C2 = 0$ модель Пастернака є аналогічною моделі Вінклера.

Для використання моделі Пастернака, залежно від конструкції штампу навантаження, можна використовувати універсальні скінченні елементи стержнів, пластин, чи плит із урахуванням роботи основи за межами штампу.

Розрахунок фрагменту плити підлоги розміром $6\text{х}6\text{м}$ виконано в програмному комплексі ЛРА-САПР із використанням моделі Вінклера та Пастернака.

З метою визначення найнесприятливішого розміщення вантажу було розглянуто два варіанти навантаження плити навантажувачем Linde H100D/600.

Варіант 1. Геометричний центр бази навантажувача розміщено посередині фрагмента плити. Навантаження від коліс прийнято стаціонарним точковим, згідно з технічними характеристиками навантажувача, завантаженого максимальним навантаженням 10т . Передні колеса навантажувача передають навантаження на плиту величиною $12,4525\text{т}$ кожне. Від кожного з задніх коліс на плиту діє навантаження величиною $1,697\text{т}$ (рис. 3).

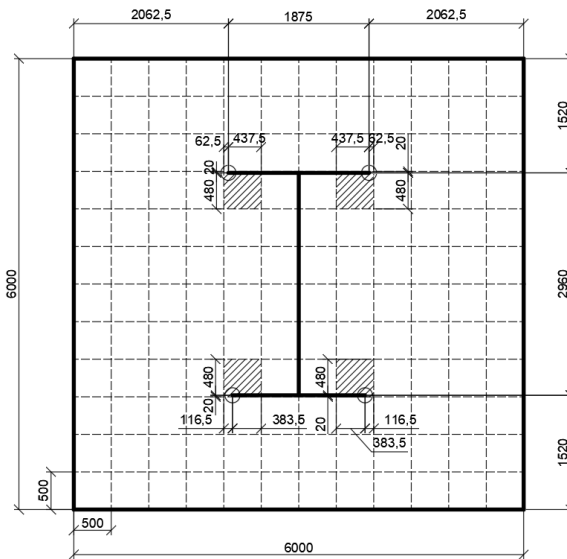


Рис. 3. Навантаження на плиту підлоги. Варіант 1

Варіант 2. Передня вісь навантажувача розміщена посередині плити. Навантаження від коліс прийнято стаціонарним точковим, згідно з технічними характеристиками навантажувача, завантаженого максимальним навантаженням 10т. Передні колеса навантажувача передають навантаження на плиту величиною 12,4525т кожне. Від кожного з задніх коліс на плиту діє навантаження величиною 1,697т (рис. 4).

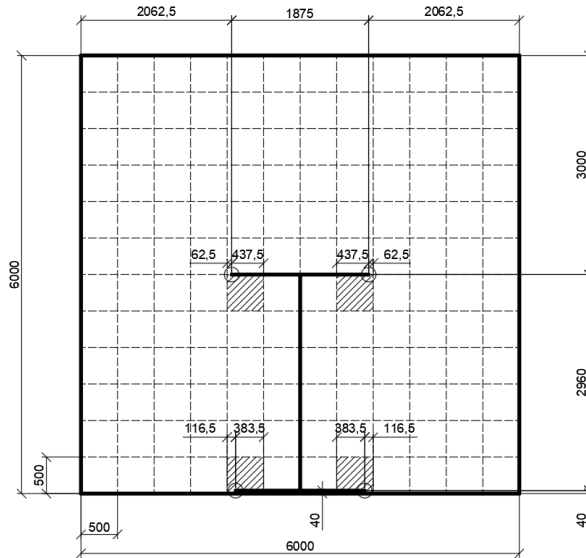


Рис. 4. Навантаження на плиту підлоги. Варіант 2

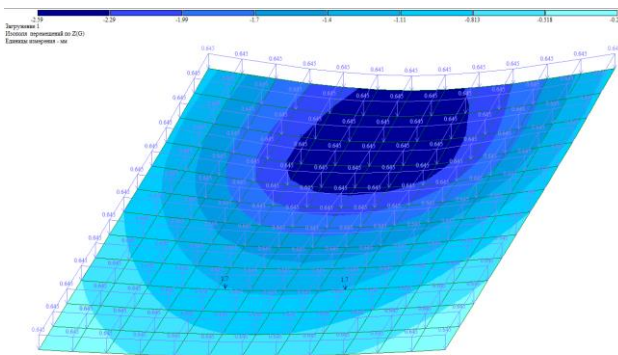


Рис. 5. Деформаційна модель плити (варіант навантаження 1)

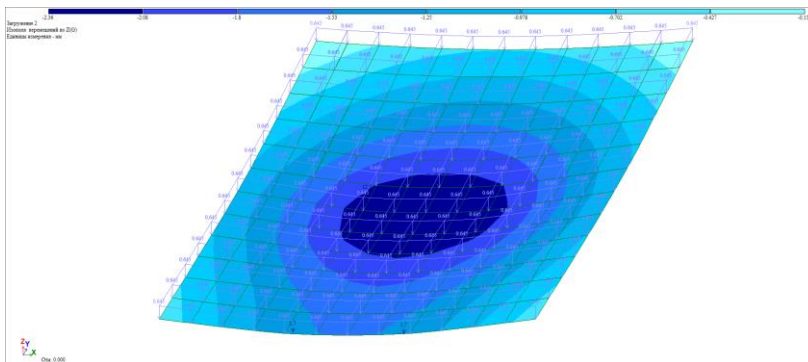


Рис. 6. Деформаційна модель плити (варіант навантаження 2)

У результаті несприятливішим виявилось положення у першому варіанті завантаження, коли геометричний центр навантажувача розташований посередині плити.

Максимальний прогин плити при першому варіанті навантаження становить 2,59 мм. Гранично допустимі прогини конструкцій f_u визначають згідно з [2]. При дії навантажень прогин сталезалізобетонних елементів в усіх випадках не має перевищувати 1/150 прольоту та 1/300 довжини консолі. Несуча здатність плити підлоги забезпечена. Розрахунок за моделлю Віклера та Пастернака дав близькі значення, що відрізняються у межах похибки. Отже, в подальшому задачі такого типу можна розраховувати з використанням простішої моделі Віклера.

Після проведення перевірного розрахунку несучої здатності плити перекриття від власної ваги плити та коліс навантажувача Linde H100D/600 за першим варіантом навантаження зроблено висновок про достатню несучу здатність та можливість використання плити при планових навантаженнях.

References

1. DBN V.2.6-98:2009 Betonni ta zalizobetonni konstruktсии. Osnovni polozhennia
2. DSTU B V. 1.2-3:2006 Prohyny i peremishchennia. vymohy proektuvannia

Література

1. ДБН В.2.6-98:2009 Бетонні та залізобетонні конструкції. Основні положення
2. ДСТУ Б В.1.2-3:2006 Прогини і переміщення. вимоги проектування

**ДОСЛІДЖЕННЯ ВПЛИВУ ДОБАВКИ SELENIZZA НА
ВЛАСТИВОСТІ ДОРОЖНЬОГО БІТУМУ**

**STUDY OF THE INFLUENCE OF THE SELENIZZA ADDITIVE ON
THE PROPERTIES OF ROAD BITUMEN**

Піріг Я.І., к.т.н., с.н.с. (Харківський національний автомобільно-дорожній університет, м. Харків)

Pyrig Y.I., Ph.D. in Engineering, S. Researcher (Kharkiv National Automobile and Highway University, Kharkiv)

У статті розглянуто вплив природнього бітуму Selenizza на властивості дорожнього бітуму. Встановлено, що введення у вихідний бітум до 20% добавки Selenizza призводить до його модифікації, що проявляється у зменшенні пенетрації, збільшенні температури розм'якшеності та підвищенні зчеплюваності, при цьому температурна чутливість залишається на рівні вихідного бітуму.

Natural bitumen is one of the oldest road construction materials. Currently, this material is used exclusively as an additive (modifier) introduced into petroleum bitumen to change its specific properties. Selenizza SLN 120 is one of the common natural bitumens used in various countries around the world. The aim of this study is to investigate the effect of adding Selenizza SLN 120 on the properties of road bitumen. To achieve this goal, binders with different concentrations of natural bitumen were produced, and the full range of their standard quality indicators was determined, with a focus on adhesive properties and changes in their quality indicators after aging by various methods. According to the experimentally obtained data, the addition of Selenizza SLN 120 to the initial bitumen is predicted to result in its modification, which manifests itself in a decrease in penetration at a temperature of 25°C, an increase in softening point temperature, an increase in brittle point temperature, and a decrease in ductility at 25°C. It has been established that with an increase in the amount of Selenizza SLN 120 in the initial bitumen, the temperature sensitivity of the binders remains almost unchanged, as evidenced by practically equal penetration index values in all binders. The modification of the original bitumen with natural bitumen Selenizza SLN 120 leads to a significant improvement of the adhesion of bitumen to glass surfaces - increasing the concentration of natural bitumen to 20% increases the adhesion index by 3.08 times. The results of the changes in the properties of bitumen binders modified with natural bitumen after aging are quite contradictory. On the one hand, an increase in the concentration of natural bitumen leads to an increase in residual penetration values, which may indicate

less aging of the binder. On the other hand, an increase in the change in the softening point temperature, an increase in the brittle point temperature, and a decrease in adhesion indicate more intense aging of the modified binders compared to the initial bitumen. It has been established that more intensive aging is observed during the aging of binders by the RTFOT method, that is, the intensive contact of the entire volume of the binder with oxygen is a more significant factor than prolonged exposure to high process temperatures.

Ключові слова: в'язкий бітум, природний бітум, пенетрація, температура розм'якшеності, зчеплюваність, старіння.

Keywords: viscous bitumen, natural bitumen, penetration, softening point, adhesion, ageing.

Вступ. Природний бітум є одним із найдавніших будівельних матеріалів, адже перші згадки про його застосування відносяться до 7500 р.р. до н.е. [1, 2]. Знайдені при розкопках виробу з природнього бітуму та чисельні згадки у літературних джерелах, що дійшли до наших часів, свідчать про широку сферу застосування цього матеріалу: в медичній практиці в якості складової ліків; як дезінфікуючий засіб та інсектицид; як клеюча речовина для скріплення різних побутових речей та частин художніх творів; в якості гідроізолюючого матеріалу (обробка човнів, глиняних глечиків, дерев'яних стовпів, складських приміщень тощо); як будівельний матеріал під час будівництва палаців, храмів, зіккуратів, терас; як дорожньо-будівельний матеріал для влаштування доріг.

Сучасний етап застосування природнього асфальту починається з XVIII - IX століттях, коли були відкриті численні поклади цього матеріалу в Америці (острів Тринідад, Куба, Мексика) та Європі (на території Швейцарії, Франції, Німеччини, Італії та інших країн) [3]. Саме на той час відноситься й початок промислового видобування природнього бітуму в одному з найдавніших родовищ Європи, що розташоване в Селениці (Албанія) на узбережжі Адріатичного моря (видобуток природнього бітуму з цього родовища розпочато ще в часи Римської імперії, але пізніше родовище було покинуто аж до 1868 р., коли було зроблено перше його геологічне дослідження). Розвідані запаси природнього бітуму оцінюються у 2 млн. т, а щорічний видобуток становить близько 20 тис. т [4].

Інтенсивний розвиток промисловості, поступове вдосконалення гужових транспортних засобів та поява автомобільного транспорту

привели в XIX століття до появи необхідності у вдосконаленні дорожнього будівництва та використання міцніших дорожніх одягів. Саме тоді значного поширення набуває застосування природнього бітуму в країнах Європи та США в якості в'язучого матеріалу для улаштування дорожніх покриттів. Але вже на початку XX століття у багатьох країнах світу на заміну асфальтовим дорожнім покриттям, влаштованим із природнього асфальту, приходять асфальтобетонні покриття, укладені з сумішей, приготованих на нафтовому бітумі. Завдяки меншій вартості та можливості виготовляти асфальтобетонні суміші різного гранулометричного складу з використання бітумів різних марок, асфальтобетонні покриття на нафтових бітумах практично витіснили з ринку дорожніх матеріалів природній бітум. У даний час природні бітуми використовуються головним чином як добавки (модифікатори), що вводяться у нафтовий бітум з метою зміни його певних властивостей.

Аналіз публікацій. Згідно з [5] природній бітум Selenizza за хімічним складом може бути віднесений до асфальтитів, а властивості бітумів з добавкою цього природнього бітуму та асфальтобетонів, виготовлених на таких бітумних в'язучих, близькі за властивостями до бітумів та асфальтобетонів з добавкою природнього бітуму Trinidad Epuré.

Згідно з даними виробника та розповсюджувача, добавка Selenizza SLN 120 характеризується показниками якості, що наведені в табл. 1.

Таблиця 1

Властивості добавки Selenizza SLN 120

Перелік показників якості	Значення
Пенетрація за температури 25 °С, 0,1 мм	0 – 1
Температура розм'якшеності, °С	115 – 120
Розчинність, % за вагою	83 – 85
Індекс кислотності (мг КОН/г)	3,5
Щільність за температури 25°С (г/мл)	1,16- 1,25
Вміст асфальтенів, % за вагою	> 50
Зміна маси після прогрівання за 163 °С впродовж 5 год, %	0,08

Природній бітум Selenizza широко застосовується у дорожніх галузях різних країн світу в якості модифікатора, при цьому він може вводитися як у нафтовий в'язкий бітум, так і безпосередньо в асфальтобетонну суміш під час її приготування на заводі.

У [6] наведені дані дослідження впливу природнього бітуму в кількості від 5% до 25% з кроком у 5% на властивості нафтових бітумів та асфальтобетонів. Авторами встановлено, що додавання різної кількості Selenizza призводить до покращення властивостей бітумів та асфальтобетонів за високих експлуатаційних температур, але знижує їх низькотемпературні властивості. При збільшенні концентрації добавки природнього бітуму значно покращується колієстійкість асфальтобетону, його водостійкість та показники втомленості. Встановлено, що оптимальна концентрація природнього бітуму становить 15%, а рекомендованими для виробництва є концентрації в 10 – 20%.

У [7] стверджується, що зі збільшенням кількості в бітумі добавки Selenizza зменшується старіння в'язучого, а за рівних значень пенетрації бітуму без добавки Selenizza та з цією добавкою, старіння в'язучого до складу якого входить природній бітум є меншим. Крім цього, автори наводять дані, згідно яких мальтенова фаза бітуму з додаванням природнього бітуму починає розм'якшуватися за нижчих температур, за рахунок чого забезпечується краща зручноукладальність асфальтобетонних сумішей.

Однією із поширених сфер застосування природніх бітумів, в тому числі й Selenizza, є влаштування асфальтобетонних покриттів із високими модулями жорсткості (HiMA - High Modulus Asphalt). Зазвичай, для приготування таких асфальтобетонів використовуються спеціальні тверді бітуми або високомодифіковані бітумополімерні в'язучі. Експериментальні дані, наведені в дослідженні [8], свідчать про те, що за рахунок застосування природнього бітуму Selenizza, асфальтобетони HiMA мають нижчу температуру розтріскування, ніж ці ж асфальтобетони, але виготовлені на твердих бітумах із близькою пенетрацією, а також характеризуються більшою пластичністю за низьких температур та вищою міцністю на розтяг у широкому температурному діапазоні.

В Україні дослідження властивостей різних природніх бітумів здійснювались в ДП ДерждорНДІ, а безпосередньо добавки Selenizza SLN 120 представниками компанії ТОВ «НВП» ДОРТЕК», яка є офіційним дистриб'ютором Selenizza SLN в Україні [9-11]. На основі отриманих даних підтверджено, що природні бітуми можуть використовуватися в якості модифікаторів дорожніх бітумів, при цьому може мати місце економічний ефект за рахунок зменшення кількості дорожніх в'язких бітумів. Наведені дані виробничого застосування природнього бітуму

Selenizza SLN підтверджують ефективність цієї добавки.

Мета і задача дослідження. Метою представленої роботи є дослідження впливу природного бітуму Selenizza на властивості дорожнього в'язкого бітуму. Для досягнення поставленої мети здійснено виготовлення бітумних в'язучих із різною концентрацією природного бітуму та визначено весь комплекс стандартних показників якості з акцентуванням особливої уваги на адгезійних властивостях в'язучих та зміні їх показників якості після старіння різними методами.

Методи та об'єкти дослідження. Для проведення дослідження було прийнято вихідний бітум БНД 70/100 виробництва Мозирського нафтопереробного заводу, властивості якого відповідали вимогам ДСТУ 4044 [12]. В якості модифікатора використовувався природний бітум Selenizza SLN 120, що вводився у вихідний в'язкий дорожній бітум в кількості 5%, 10% та 20%.

Приготування модифікованих бітумних в'язучих здійснювалось шляхом суміщення вихідного бітуму з добавкою Selenizza SLN 120 в лабораторній мішалці при швидкості ≈ 1000 об/хв за температури 160 – 165 °С впродовж 15 хв.

Якість отриманих бітумних в'язучих була перевірена на відповідність вимогам [12]. Для всіх в'язучих була визначена зчеплюваність з поверхнею скла за методикою, наведеною в [13]. Крім цього, здійснена перевірка зміни властивостей, прийнятих у роботі в'язучих після старіння за методом, наведеним у [14] та методом RTFOT [15].

Результати дослідження. Стандартні показники якості бітумів, модифікованих різною концентрацією природного бітуму Selenizza SLN 120, наведені в табл. 2.

Згідно з експериментально отриманими даними, введення у вихідний бітум добавки Selenizza SLN 120 прогнозовано призводить до його модифікації, що проявляється у:

- зниженні пенетрації за температури 25°C в 1,11 рази, в 1,48 рази та 2,34 рази відповідно за 5%, 10% та 20% добавки природного бітуму, при цьому за концентрації добавки в 5% та 10% бітум знаходиться ще в межах марки вихідного бітуму (БНД 70/100), а введення 20% Selenizza SLN 120 призводить до переходу бітуму в марку БНД 35/50;

- підвищенні температури розм'якшеності на 1,5°C, 3,9°C та 9,4°C відповідно за 5%, 10% та 20% добавки природного бітуму, при цьому фактичні значення температури розм'якшеності всіх в'язучих з врахуванням значення відтворюваності відповідають вимогам, наведеним

у [12];

- підвищенні температури крихкості, при цьому за концентрацією природнього бітуму до 10% зміна температури крихкості знаходиться в межах похибки (не перевищує 1°C), а при збільшенні концентрації добавки до 20% температура крихкості значно підвищується, але при цьому значення температури крихкості всіх в'язучих з урахуванням відтворюваності відповідають вимогам, наведеним у [12];

- значному зниженні розтяжності за температури 25°C, особливо коли концентрація природнього бітуму перевищує 5%.

Таблиця 2

Властивості бітумних в'язучих

Перелік показників якості	Значення для бітуму БНД 70/100			
	без добавки	з Selenizza SLN 120		
		5 %	10 %	20 %
Пенетрація за 25°C, 0,1 мм	89	80	60	38
Температура розм'якшеності (Т _p), °C	48,9	50,4	52,8	58,3
Температура крихкості, °C	-17	-17	-16	-11,5
Розтяжність за 25°C, см	84,8	78,4	36,6	14,2
Індекс пенетрації, визначений за Т _p	0,01	0,10	-0,08	0,04
Еквіпенетраційна температура (Т ₈₀₀), °C	45,5	47	49,5	55,5
Індекс пенетрації, визначений за Т ₈₀₀	-0,99	-0,84	-0,90	-0,54
Зчеплюваність з поверхнею скла, %	8,9	15,5	25,0	27,4

Цікавими є результати впливу природнього бітуму на температурну чутливість в'язучого. Зі збільшенням кількості Selenizza SLN 120 у вихідному бітумі температурна чутливість в'язучих залишається майже без зміни, про що свідчать практично рівні значення індексів пенетрації у всіх в'язучих.

Модифікування в'язучого природнім бітумом Selenizza SLN 120 призводить до суттєвого покращення зчеплюваності бітуму з поверхнею скла (рис. 1). Так, при збільшенні концентрації природнього бітуму до 20% показник зчеплюваності збільшується у 3,08 рази. Найбільша зміна зчеплюваності (в 1,74 рази) спостерігається вже при введенні у вихідний бітум 5% добавки, а з подальшим збільшенням концентрації природнього бітуму темп зростання зчеплюваності зменшується. Також зі збільшенням концентрації природнього бітуму зменшується швидкість зміни показника зчеплюваності з часом (особливо в початковий період випробування), що може опосередковано характеризувати нижчу зміну водостійкості

асфальтобетону, виготовленого на цьому в'язучому, з часом експлуатації дорожнього покриття.

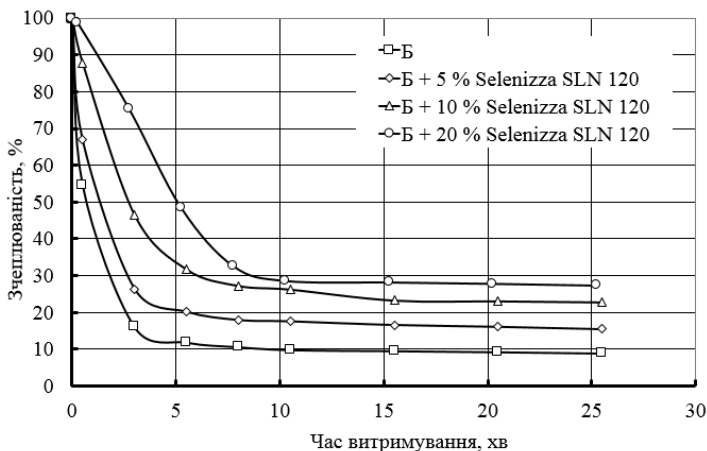


Рисунок 1. Залежність зчеплюваності в'язучих від часу випробування

Результати зміни властивостей бітумних в'язучих, модифікованих природнім бітумом, після старіння за двома методами, що наведені в табл. 3, є доволі суперечливими. Якщо оцінювати за значеннями залишкової пенетрації, то зі збільшенням концентрації добавки зменшується чутливість до старіння, що підтверджується даними інших дослідників (наприклад, у [7]), при цьому тривале витримування в'язучого за високої температури (старіння методом, наведеним у [14]) призводить до дещо більшого старіння, ніж короткострокове витримування з інтенсивним впливом повітря (старіння методом RTFOT).

У той же час, при оцінюванні за показниками зміни температури розм'якшеності та зчеплюваності, спостерігається інтенсивна зміна цих показників, особливо якщо у вихідний бітум додається більше 10 % природнього бітуму (при цьому значення показника зміни температури розм'якшеності відповідає нормам [12] навіть при введенні 20% добавки).

При порівнянні результатів старіння за двома методами більш інтенсивна зміна цих показників спостерігається під час старіння за методом RTFOT – зміна температури розм'якшеності є більшою на 1,2 – 1,3 °С, а значення показника зчеплюваності з поверхнею скла є меншою в середньому на 11%. Тим не менше, навіть після старіння в'язучих різними методами, зчеплюваність бітумів з добавкою Selenizza SLN 120 є вищою, ніж у вихідного бітуму, особливо у в'язучих з великою концентрацією добавки природнього бітуму.

Таблиця 3

Зміна властивостей бітумів з природнім бітумом після старіння

Перелік показників якості	Значення для бітуму БНД 70/100			
	без добавки	з Selenizza SLN 120		
		5 %	10 %	20 %
старіння за методикою, наведеною в ГОСТ 18180				
Залишкова пенетрація, %	67,4	70,0	71,7	73,7
Зміна температури розм'якшеності, °C	2,4	3,9	4,1	5,1
Температура крихкості, °C	-16,0	-14,0	-13,0	-9,0
Індекс пенетрації, визначений за T ₈₀₀	0,66	0,91	0,85	0,81
Зчеплюваність із поверхнею скла, %	7,6	13,3	22,8	25,6
старіння за RTFOT				
Залишкова пенетрація, %	67,4	68,8	78,3	78,9
Зміна температури розм'якшеності, °C	2,7	2,9	5,5	6,4
Температура крихкості, °C	-16,0	-15,0	-12,5	-11,5
Індекс пенетрації, визначений за T ₈₀₀	-0,78	0,54	1,36	1,99
Зчеплюваність із поверхнею скла, %	8,6	11,3	11,7	14,9

Ймовірно, такі тенденції можливо пояснити різними процесами, що відбуваються під час старіння бітумних в'язучих, за різними методиками, підтвердженням чого є значна різниця у температурній чутливості зістарених в'язучих. У той час, як після старіння за методом, наведеним у [14], індекс пенетрації усіх в'язучих є близьким, після старіння за методом RTFOT спостерігається чітка тенденція до переходу в'язучих від типу «золь» до типу «гель» зі збільшенням концентрації добавки.

Висновки. Добавка Selenizza SLN 120 може використовуватися як модифікатор дорожніх в'язких бітумів, застосування якої призводить до зміни властивостей в'язучого, що проявляється у зменшенні пенетрації та збільшенні температури розм'якшеності. Негативним фактором застосування природніх бітумів є підвищення температури крихкості та зниження розтяжності бітуму за 25°C. До переваг використання добавки Selenizza SLN 120 можна віднести збільшення показника зчеплюваності бітумного в'язучого. Встановлено, що модифікування бітуму добавкою Selenizza SLN 120 призводить до дещо більш інтенсивного старіння в'язучого, особливо, якщо цей процес супроводжується інтенсивним повітрообміном.

References

1. Forbes R. J. Bitumen and petroleum in antiquity. Brill Archive, 1936. 112 p.
2. Connan J. Use and trade of bitumen in antiquity and prehistory: molecular archaeology reveals secrets of past civilizations. *Philosophical Transactions of the Royal*

Society B: Biological Sciences, 1999. 354 (1379), P. 33–50.

3. Spornui Y. Asphalt y bytumu y tekhnicheskoe ykh pryomenenye. Sankt-Peterburh: Typohrafiya B.H. Yanpolskoho. 1878. 278 s.

4. Giavarin Carlo La nuova Albania e l'asfalto di Selenizza. *Rassegna del bitume*. 2010. № 65. P. 29-34.

5. Bilski M. Natural asphalts—properties and use. *Archives of Institute of Civil Engineering*. 2018. T. 27. P. 25-36.

6. Hu C., Mai Y., Cannone Falchetto A., Tartari E. Experimental investigation on the use of selenice natural bitumen as an additive for pavement materials. *Materials*. 2021. T. 14. №. 4. P. 1-35.

7. Tartari E. The natural bitumen additive Selenizza® SLN: A promising alternative for producing high-performance asphalt mixes. *Journal of Civil Engineering and Environmental Sciences*. 2021. 7(2). P. 34-43.

8. Themeli A., Chailleux E., Chazallon C., Bueche N. Low temperature behavior of asphaltite modified binders and asphalt concretes. Proceedings of the 9th International Conference on Maintenance and Rehabilitation of Pavements. Mairepav 9. 2020. P. 553-564.

9. Kishchynskiy S.V., Kyrychenko L.F., Kopynets I.V. Vplyv pryrodnykh bitumiv na vlastyvoli bitumiv ta asfaltobetoniv. *Dorohy i mosty*. 2010. №. 12. S. 63-73.

10. Hameliak I., Reneiska S. Application of natural bitumen in highway and airfield construction in Ukraine. *Automobile Roads and Road Construction*. 2015. №. 94. P. 19-33.

11. Gameliak I.P., Palieshev O.S., Reneiska S.V. Efficiency of using bitumen and asphalt concrete modifiers in repair of trunk roads. *Automobile Roads and Road Construction*. 2020. Вип. 108. С. 12-21.

12. DSTU 4044:2019. Bitumy naftovi dorozhni v'yazki. Texnichni umovy. [Chynnyj vid 2020-05-01]. Vyd. oficz. Kyiv: Derzhstandart Ukrayiny, 2019. 15 s.

13. DSTU 9169:2021. Bitum ta bitumni v'jazhuchi. Vyznachennia zchepliuvanosti z mineralnym materialom. [Chynnyi vid 2022-01-08]. Vyd. ofits. Kyiv: UkrNDNTs, 2021. 12 s.

14. GOST 18180-72 Bitumy neftjanye. Metod opredelenija izmenenija massy posle progrevu [Petroleum bitumens. Method for determination of mass change after heating]. Not valid. M.: Mezhsosudarstvennyj Sovet po standartizacii, metrologii i sertifikacii. 1972. 4 p.

15. Bitum ta bitumni v'jazhuchi. Vyznachennja oporu do tverdinnja pid vplyvom teploty ta povitrya. Chastyna 1. Metod RTFOT [Bitumen and bituminous binders - Deterination of the resistance to hardening under influence of heat and air - Part 1: RTFOT method]. (2016). DSTU B EN 12607-1:2015 (EN 12607-1:2014, IDT) from 1st July 2016. Kyiv: Minregion Ukrainy. 23 p.

Література

1. Forbes R. J. Bitumen and petroleum in antiquity. Brill Archive, 1936. 112 p.
2. Connan J. Use and trade of bitumen in antiquity and prehistory: molecular archaeology reveals secrets of past civilizations. *Philosophical Transactions of the Royal Society B: Biological Sciences*, 1999. 354(1379). P. 33-50.
3. Спорный И. Асфальт и битумы и техническое их применение. Санкт-Петербург: Типография Б.Г. Янпольского. 1878. 278 с.
4. Giavarin Carlo La nuova Albania e l'asfalto di Selenizza. *Rassegna del bitume*. 2010. № 65. P. 29-34.
5. Bilski M. Natural asphalts – properties and use. *Archives of Institute of Civil Engineering*. 2018. Т. 27. P. 25-36.
6. Hu C., Mai Y., Cannone Falchetto A., Tartari E. Experimental investigation on the use of selenice natural bitumen as an additive for pavement materials. *Materials*. 2021. Т. 14. №. 4. P. 1-35.
7. Tartari E. The natural bitumen additive Selenizza® SLN: A promising alternative for producing high-performance asphalt mixes. *Journal of Civil Engineering and Environmental Sciences*. 2021. 7(2). P. 34-43.
8. Themeli A., Chailleux E., Chazallon C., Bueche N. Low temperature behavior of asphaltite modified binders and asphalt concretes. Proceedings of the 9th International Conference on Maintenance and Rehabilitation of Pavements. Mairepav 9. 2020. P. 553-564.
9. Кишинський С.В., Кириченко Л.Ф., Копинець І.В. Вплив природних бітумів на властивості бітумів та асфальтобетонів. *Дороги і мости*. 2010. №. 12. С. 63-73.
10. Hameliak I., Reneiska S. Application of natural bitumen in highway and airfield construction in Ukraine. *Автомобільні дороги і дорожнє будівництво*. 2015. №. 94. P. 19-33.
11. Gameliak I.P., Palieshev O.S., Reneiska S.V. Efficiency of using bitumen and asphalt concrete modifiers in repair of trunk roads. *Автомобільні дороги і дорожнє будівництво*. 2020. Вип. 108. С. 12-21.
12. ДСТУ 4044:2019. Бітуми нафтові дорожні в'язкі. Технічні умови. [Чинний від 2020-05-01]. Вид. офіц. Київ: Держстандарт України, 2019. 15 с.
13. ДСТУ 9169:2021. Бітум та бітумні в'язучі. Визначення зчеплюваності з мінеральним матеріалом. [Чинний від 2022-01-08]. Вид. офіц. Київ: УкрНДНЦ, 2021. 12 с.
14. ГОСТ 18180-72. Битумы нефтяные. Метод определения изменения массы после прогрева [Не действует]. М.: Межгосударственный Совет по стандартизации, метрологии и сертификации. 1972. 4 с.
15. ДСТУ Б EN 12607-1:2015 (EN 12607-1:2014, IDT). Бітум та бітумні в'язучі. Визначення опору до твердіння під впливом теплоти та повітря. Частина 1. Метод RTFOT. [Чинний з 2016-07-01]. Вид. офіц. Київ: Мінрегіон України. 2016. 23 с.

FEATURES OF THE COMBINED IMPACT OF DRIVEN COMPACTION PILES AND THE ASSOCIATED SUBSOILS

ОСОБЛИВОСТІ СПІЛЬНОЇ РОБОТИ ЗАБИВНИХ ПАЛЬ УЩІЛЬНЕННЯ З ОСНОВОЮ

Plahotny G.N., Ph.D. in Engineering, Associate Professor, Chernieva O.S., Ph.D. in Engineering, Associate Professor (Odesa State Academy of Civil Engineering and Architecture)

Плахотний Г.Н., к.т.н., доц., Чернева О.С., к.т.н., доц. (Одеська державна академія будівництва та архітектури)

The article describes the main features of the combined impact of the driven compaction piles and the associated soil strata. The compaction piles can be pyramidal, machine-driven, or self-expanding when being driven. The peculiarities of the nature of work related to the compaction of the soil strata when the piles are driven. The compaction of the soil strata provides the additional load-bearing capacity and supports the transferred external load. Subsoils and the quantitative assessment of their building properties are evaluated based on the nature and inherent conditions of earth strata formations, and mineralogical and salt compositions. Changes to the fore-said properties depend on the degree of humidity, the peculiarities of soil structure, the location of individual particles, and the resistance to external loads. Internal resistance to compaction is determined by the bulk density of dry soil ρ_a during the deformation. The abnormalities related to the working of the subsoils associated with driven compaction piles correlate to the transfer of the external load by the lateral surface of the piles to the pre-compacted soil during the course of immersion. In the case of machine-driven batter piles, a compacted soil core between the inner edges of the surfaces of the elements acts in tandem with the pile. In this scenario, the density of the soil composition reaches its maximum value.

The results of the field tests proved, that self-opening batter piles perceive 1.2-1.3 times more resistance than pyramidal ones of the same volume. The use of driven compaction piles does not apply to foundations composed of permafrost soils, unstable landslide areas, and to undermined areas.

The practice of introducing compaction-driven piles into construction has shown significant savings in building materials, and a reduction in the construction time of residential, public, and industrial buildings.

У статті викладено основні положення спільної роботи з основою забивних палей ущільнення (пірамідальних, козових, що саморозкриваються при забиванні). Особливості їх роботи полягають у створенні під час занурення навколо себе ущільненого об'єму ґрунту, на який передається зовнішнє навантаження.

Кількісна оцінка будівельних властивостей ґрунтів основи виконана з урахуванням природи та генетичних умов їх утворень, мінералогічних та сольових складів. Зміна цих властивостей залежить від ступеня вологості, особливості їхньої структури, розташування окремих частинок, їх опору зовнішнім навантаженням. Внутрішній опір ущільненню визначається щільністю сухого ґрунту ρ_d при деформації.

Особливості роботи забивних палів ущільнення з основою полягають у передачі зовнішнього навантаження бічною поверхнею палів на попередньо ущільнений ґрунт при зануренні.

У козових палях в роботу включається також ущільнене ядро ґрунту між внутрішніми гранями поверхонь елементів, щільність складання ґрунту якого досягла свого граничного значення. Як показали натурні випробування, козові палі, що саморозкриваються, сприймають у 1.2-1.3 рази більший опір у порівнянні з пірамідальними, однакового обсягу.

Результати досліджень показали, що забивні палі ущільнення рекомендують застосовувати в піщаних, піщано-глинистих і насипних ґрунтах без вмісту органічних включень з віком насипу не менше 10 років. Ґрунти повинні мати середню щільність складання сухого ґрунту $\rho_d \approx 1.45 - 1.60 \text{ г/см}^3$. Застосування забивних палів ущільнення не поширюється на основи, складені вічномерзлими ґрунтами, на нестійкі зсувні ділянки та на території, що підробляються. Застосування забивних палів поширюється на фундаменти житлових будинків, промислових будівель та інженерних споруд з монолітним або збірним ростверком зі значними вертикальними, горизонтальними та моментними навантаженнями.

Практика впровадження забивних палів ущільнення у будівництво показала значну економію будівельних матеріалів, скорочення термінів будівництва житлових, громадських та промислових будівель.

Keywords: subsoils, compaction driven piles, pyramidal, batter piles, pile driving unit head, bulk density of dry soil, compaction zone, structural strength of soils.

Ключові слова: забивні палі ущільнення, пірамідальні, козові палі, оголовки палезабивного агрегату, щільність сухого ґрунту, зона ущільнення, структурна міцність ґрунтів.

Introduction. Sometimes a person uses in his practice an idea borrowed from nature, drawing inspiration from the wonder of flora's complex root system which is able to withstand external loads (own weight, wind, climatic fluctuations, floods of territories).

The robustness offered by the beauty of nature has been leveraged in the design of the underground support system of buildings and structures, in construction practice. The effective utilization of driven compaction piles (pyramidal, machine-driven piles) is a classic example of this idea, resulting in the capability to withstand significant external loads (vertical, horizontal, moment).

A quantitative assessment of the properties of the soils that make up the foundation cannot be objectively performed without considering the nature and mechanism of the combined impact of pile foundations and their subsoils, formed

under certain native conditions. This aspect wields a considerable influence on the configuration of the building properties of foundation soils.

The reactive properties of soils or their internal resistance to compaction are determined by the density of the dry soil ρ_d , and its mineralogical and salt composition. Changes to these properties depend on the degree of moisture, as well as the features of the soil structure. The structural resistance of the interparticle bonds to compaction is essentially established by the above-mentioned properties.

The nature of internal forces is manifested in the action of the reactive resistance of the soil to compaction during deformation. The soil particles continue to move till the forces of compaction acting on them are completely overcome by the internal reactive resistance.

The analysis of the building properties of soils based on different operating conditions (compaction, changes in moisture, temperature, heterogeneity of the layers) is intrinsically based on the bulk density of the dry soil - the governing scientific parameter. This is essential because bulk density defines soil stability in the most unfavorable conditions.

When designing pile foundations made of prismatic piles, during driving, the load is transmitted mainly by the tip of the pile to uncompacted high-density soil, as well as due to friction along the lateral surface.

Purpose of the study. The purpose of the article is to conduct a comparative analysis of the mechanism of operation of compaction-driven piles, presented in the form of pyramidal and batter piles; confirm the conclusions obtained through experimental studies and formulation of recommendations for the appropriate use of compaction-driven piles.

Analysis of the latest sources and statement of the problem. This article is based on the results of the dissertation research of Plakhotny G. [1].

Interest in the usage of batter piles appeared at the beginning of the last century, however, even now batter piles are being improved and widely studied by scientists. The comparative analyses of [2] showed that the batter piles possess lower distribution of dynamic axial load and higher dynamic bending moment in a pile along the depth as compared to the vertical pile. The dynamic response of cast in-situ reinforced concrete batter piles and pile groups constructed in the silty sand investigated through field tests was presented in [3]. In the study [4], the dynamic response of pile foundations in dry sandy soil excited by two opposite rotary machines was considered experimentally. Another experimental study on vertical batter piles and pile groups under uplift load conditions in non-cohesive sub-soil was presented last year in [5]. Features of the batter piles' design according to foreign standards are outlined in the work [6]. On the territory of Ukraine, the design and calculation of piles is carried out in accordance with the State Construction Standards of the National Building Code [7,8] and the results are presented in many works of Ukrainian research scientists [9,10].

Methods of the Study. *Impact of Pyramidal Piles:*

When pyramidal piles are driven, a large volume of compacted soil is formed around the lateral surfaces of the pile edges. Increasing the conicity of a pyramidal pile to 12-15° increases the load resistance by 2.0-2.5 times compared to prismatic piles of equal volume.

When a pyramidal pile is immersed in the ground, the weight of the hammer is selected depending on the density of the soil and the weight of the pile. With a density of $\rho_d \geq 1.45 \text{ g/sm}^3$, the weight of the hammer should be 2.5 times greater than the weight of the pile, while with $\rho_d \leq 1.45 \text{ g/sm}^3$, the suggested hammer weight is just about twice the pile weight.

The high resistance offered by the piles to loads can be attributed to the support provided by the compacted sub-soil around and under the pile.

Pyramidal piles transfer a small pressure of 0.7-1.5 kg/sm² to the soil compacted during while being driven with a large area of their lateral surface. The location of the deformation zone within the area of the compacted volume determines the value of the permissible settlement of the pile and its high resistance to external loads.

Impact of Machine driven batter (inclined) piles:

Driven compaction piles include machine-driven batter piles that unfold when driven. These foundations can consist of a different number of pile elements (Fig.1) which, when driven into the ground, create a stable support of a large area at the level of the footing. Piles come in various lengths with varying cross-sections of the head They can be composed of prismatic, wedge-shaped, or pyramidal elements. Pyramidal elements have a beveled inner edge. For driving batter piles, standard piling equipment with a special head is used.

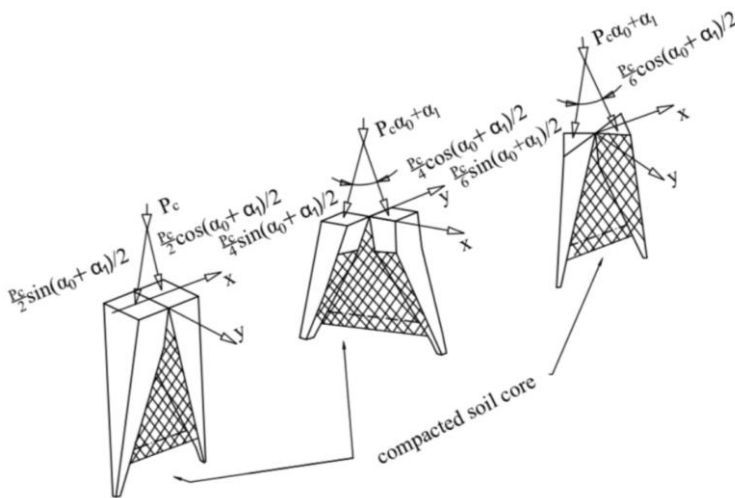


Fig. 1. Basic design diagrams of batter piles, consisting of 2, 4, or 6 elements

Opening of the pile elements occurs during driving, while a compacted soil core is formed between the beveled edges, which has a wedging effect on the elements. The opening angle (Fig.2) depends on the angle of inclination of the inner edges, the total length of the pile, and the density of the soil.

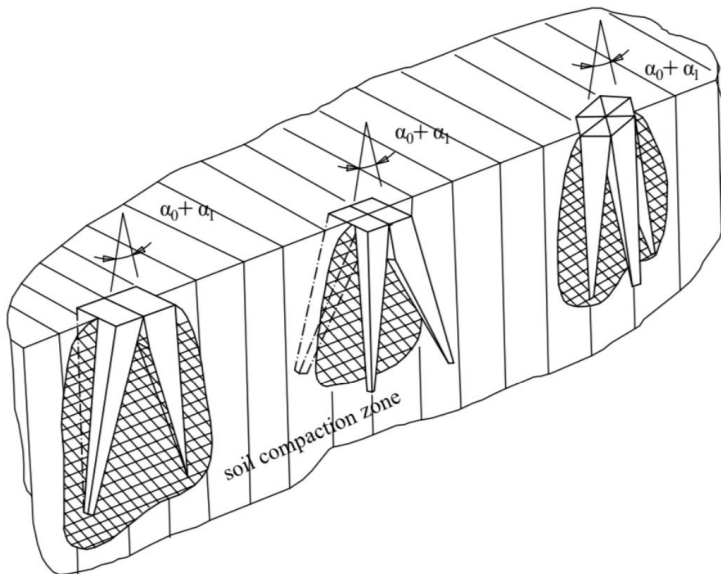


Fig. 2. Nature of the compaction zone formation at the base of the batter piles

Soil compaction also occurs from the outer edges of the elements and depends on the sharpening angle, the ratio of the distance from the outer edge of the element to the axis of the battered pile in soils of different densities. An increase in the sharpening angle to 20° or more may be advisable at low soil density ($\rho_d \leq 1.45 \text{ g/cm}^3$). With an increase in the density of the soil, the taper angle of the element can be reduced to $15\text{-}20^\circ$ per 1m of length. The presence of an angle between the edge and the vertical surface causes the work of the pile to "thrust" like a bulk wedge creating a volume of compacted soil. The average value of soil density within the soil core is 1.75 g/cm^3 , and within the compaction zone around the pile is 1.60 g/cm^3 .

The vertical load is transferred to the surrounding pile, and compacted during driving, through the side surface, the pile base, and the soil core. In this case, a deformation zone is formed within the compacted volume of the soil (Fig.3). The boundary of the deformation zone with increasing load moves from the edge of the pile to the boundary of the compaction zone, which is also confirmed by the study of the work of the pyramidal pile.

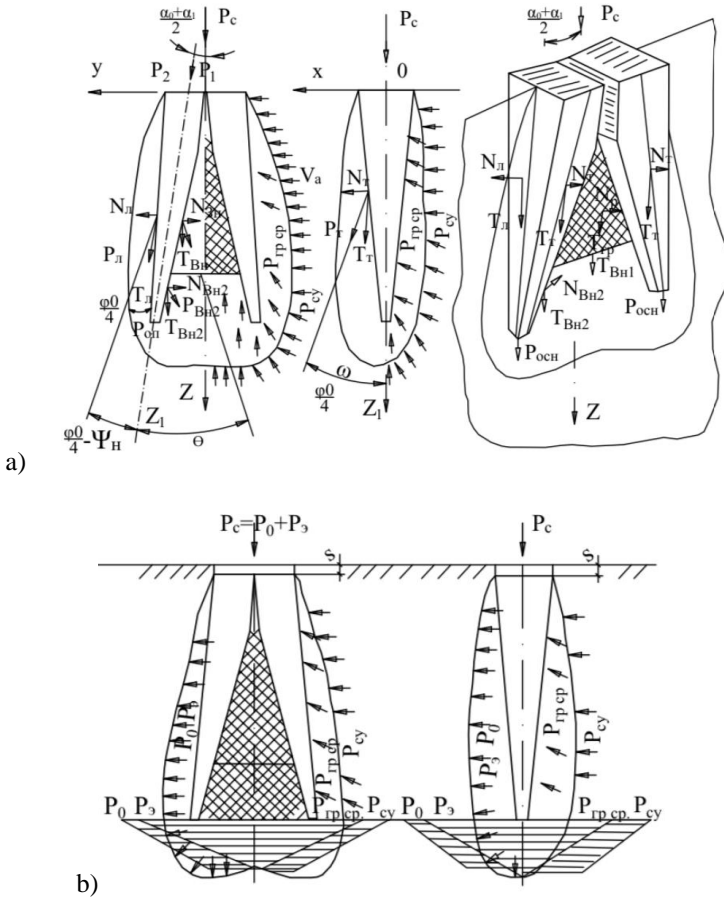


Fig. 3. (a) Scheme of external load transferring by a battered pile to the associated subsoils; (b) and redistribution of effective and reactive pressure during settlement

Results of the study. In Odessa, more than 200 buildings with varying no. of floors in various soil conditions were built on pyramidal piles. About 60 thousand pyramidal piles of various geometric shapes were driven into the ground [10]. Unique experiments with pyramidal piles were carried out in Yaroslavl at the site of the Diesel Equipment Plant (YADEP). As a result of testing 9 single piles having a load of 1500-1800 kN, the settlement was 5-7 cm. In a 5-pile foundation with a load of 7500 kN, the settlement was 5.0 cm and in a 9-pile foundation with a load of 1200 kN, the stabilized settlement was 7.0 cm.

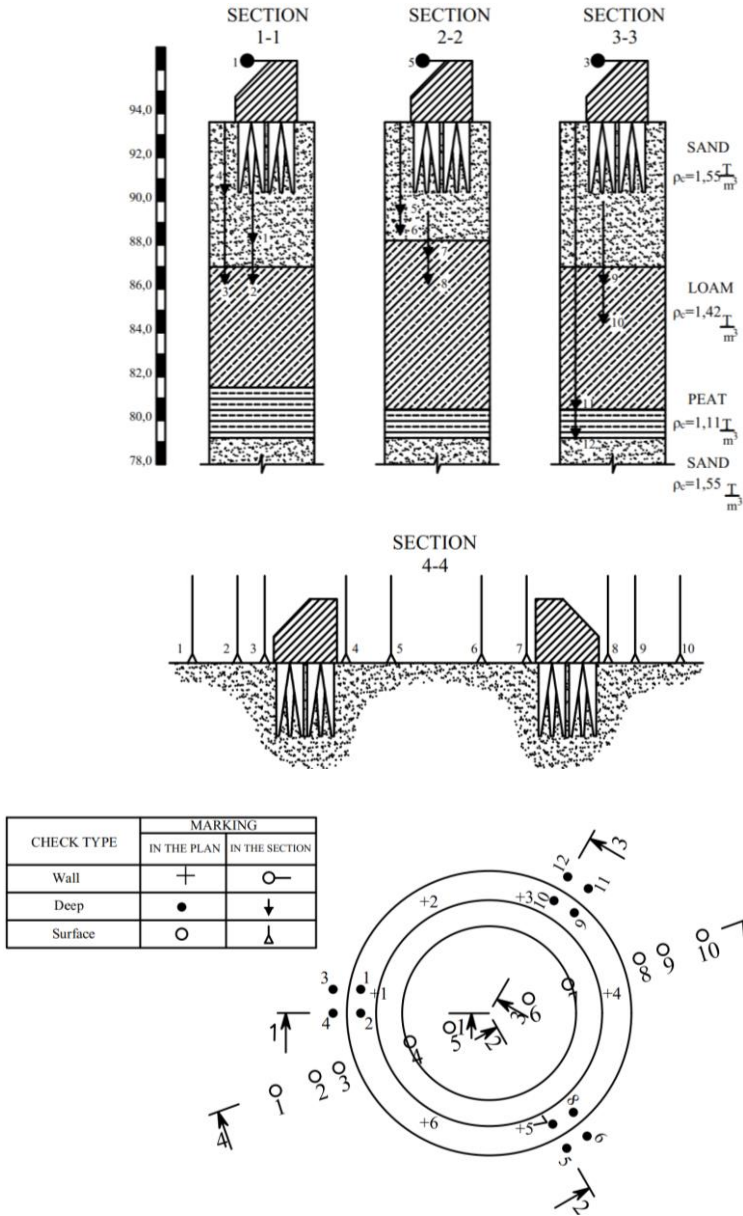


Fig. 4. Layout of depth and surface marks at the base of the annular pile foundation of the smoke pipe H = 80m at YADEP

The tests were carried out in a layer of dense sand, underlain at a depth of 6.0m by a layer of peat, 3.0m thick. Depth marks (Fig. 4) embedded on the top and bottom of the peat showed no sediment, which confirms the fact that the pyramidal piles work to «thrust» as single piles and do not transmit pressure to the underlying weak layers. The results obtained were implemented in the construction of YADEP facilities, which made it possible to reduce the construction time by 8 months and save 1.0 million rubles.

As shown by field tests, self-opening batter piles perceive 1.2-1.3 times more resistance than pyramidal ones of the same volume. When erecting a pile ring foundation for a chimney H = 80m at the YADEP site, 16 batter piles were used, consisting of 6 separate elements (Fig.5).

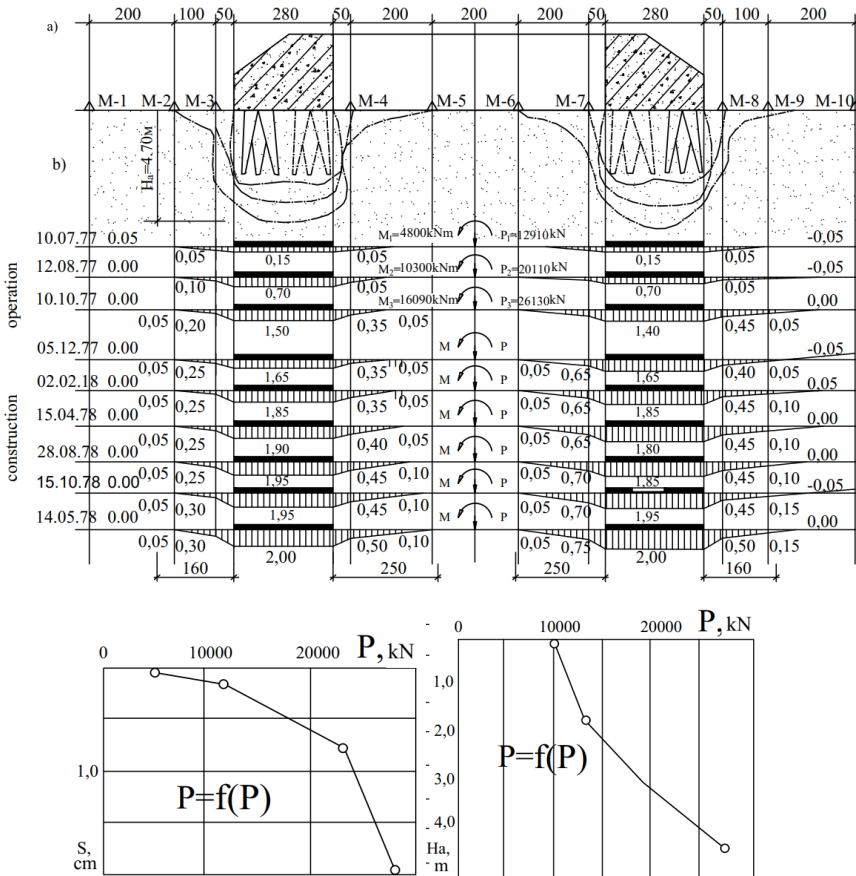


Fig. 5. Results of observations of the settlement of the annular pile foundation during the construction and operation of the smoke pipe at YADEP

When testing a single pile, the stabilized settlement was 5.0 cm at a load of 3220 kN. The loads on a separate batter pile in the project were: vertical – 1850 kN; horizontal – 220 kN; pulling out - 17 kN.

In a residential building (Pereslavl Zalesky), a strip foundation of batter two-element piles was used. A load of 1600 kN was laid on one pile in the project.

During the construction of the iron casting workshop in Tutaev, the load on 1 pile in the pile foundation of 5 batter piles in the project was 1500 kN. The total economic effect of the introduction of batter piles was about 300 thousand rubles. When examining the combined impact of single batter piles and individual piles in the structure of the foundations (Fig.6), it was revealed that a single pile works separately in the foundation with a step between the piles $l \geq 2.5d$ (d is the width of the pile in the head).

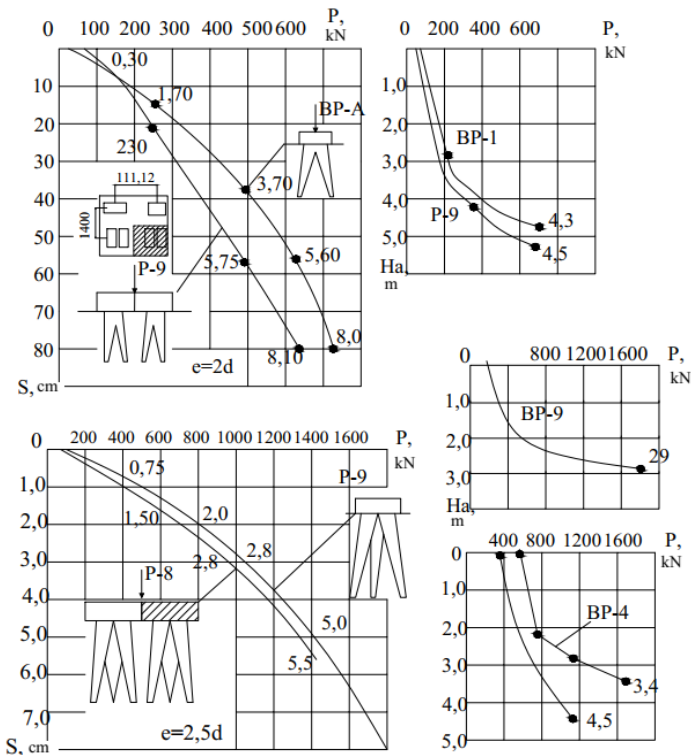


Fig. 6. Comparison of the impact of single batter (inclined) piles and individual piles in foundations

In the city Pereslavl Zalessky, the construction site of the cheese factory had a geological slope of about 4m. The option with the erection of foundations from prismatic piles with a length of 12m was replaced by a pile foundation of pyramidal piles with posts of different lengths (1-4 m), which reduced the construction time and gave an economic effect (Fig.7).

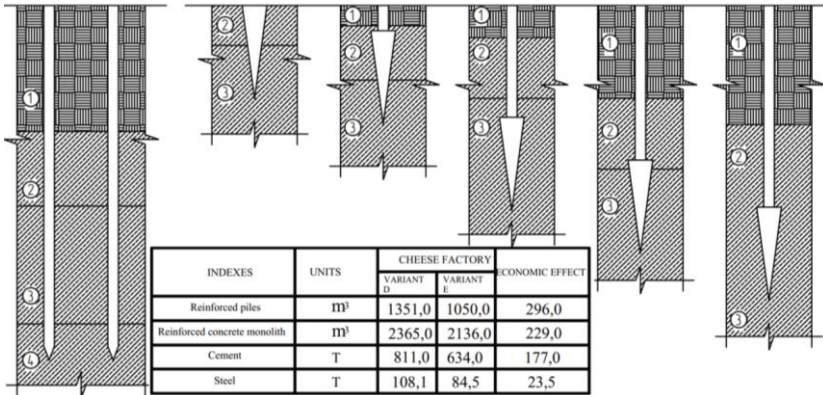


Fig. 7. Pile foundation of pyramidal piles with posts of different lengths

Conclusion. Driven pile compaction is recommended for use in sandy, sandy-clayey, and bulk soils without organic inclusions with an embankment age of at least 10 years. The soils should have an average bulk density of dry soil $\rho_d \approx 1.45-1.6 \text{ g/cm}^3$. The use of driven compaction piles does not apply to foundations composed of permafrost soils, unstable landslide areas, and to undermined areas. The use of driven compaction piles extends to the foundations of residential houses, industrial buildings, and engineering structures with monolithic or prefabricated grillages with significant vertical, horizontal, and moment loads.

References

1. Plakhotnyy, Gennadiy Nikiforovich. *Rabota kozlovykh svay uplotneniya v razlichnykh inzhenerno-geologicheskikh usloviyakh: dissertatsiya kandidata tekhnicheskikh nauk: 05.23.02. Odessa, 1986.*
2. Ralli, R., Manna, B. & Datta, M. "Field testing of single instrumented steel driven batter piles under vertical vibrations", *Acta Geotech.* 17, 2415–2434, 2022. doi 10.1007/s11440-021-01397-1.
3. M.Bharathia, R.N. Dubeya, Sanjay K. Shukla "Experimental investigation of vertical and batter pile groups subjected to dynamic loads", *Soil Dynamics and Earthquake Engineering*, Volume 116, 107-119, 2019. doi 10.1016/j.soildyn.2018.10.012.
4. Mohammed Y. Fattah, Bushra S. Zbar, Faris S. Mustafa "Vertical vibration capacity of a single pile in dry sand" *Marine Georesources & Geotechnology*, Volume 35, Issue 8, 1111-1120, 2017. doi 10.1080/1064119X.2017.1294219.

5. Laxmikant Yadu, Pankaj Bajaj, Renu Premjani "Study on Vertical Piles Batter Piles and Pile Groups Under Uplift Load Conditions in Non-Cohesive Sub-soil" *IOP Conf. Ser.: Earth Environ. Sci.* 982, 2022. doi 10.1088/1755-1315/982/1/012052.
6. Ruwan Rajapakse "Batter pile design" *Pile Design and Construction Rules of Thumb (Second edition)* 265-275, 2016. doi 10.1016/B978-0-12-804202-1.00020-6.
7. ДБН В.2.1-10:2018 Основи і фундаменти будівель та споруд. Основні положення. К.: Міністерство регіонального розвитку, будівництва та житловокомунального господарства України, 2018.
8. Зміна №1 ДБН В.2.1-10-2009 Основи та фундаменти споруд. Основні положення проектування. К.: Міністерство регіонального розвитку та будівництва України, 2011.
9. Fursovych M.A., Supruniyk V.V., Ziatiuk Y.Y. "For Determination of Bearing Capacity of Inclined Buro-Injection Pile" *Resource-saving materials, structures, buildings and structures*, Volume 40, 209-216, 2021.
10. Тугаєнко Ю.Ф. Процеси деформації ґрунтів в основаних фундаментах, свай і свайних фундаментах. Одеса: Астропринт, 2008. – 216 с.

Література

1. Плахотный, Геннадий Никифорович. Работа козловых свай уплотнения в различных инженерно-геологических условиях: диссертация кандидата технических наук: 05.23.02. Одесса, 1986.
2. Ralli, R., Manna, B. & Datta, M. "Field testing of single instrumented steel driven batter piles under vertical vibrations", *Acta Geotech.* 17, 2415–2434, 2022. doi 10.1007/s11440-021-01397-1.
3. M.Bharathia, R.N. Dubeya, Sanjay K. Shukla "Experimental investigation of vertical and batter pile groups subjected to dynamic loads", *Soil Dynamics and Earthquake Engineering*, Volume 116, 107-119, 2019. doi 10.1016/j.soildyn.2018.10.012.
4. Mohammed Y. Fattah, Bushra S. Zbar, Faris S. Mustafa "Vertical vibration capacity of a single pile in dry sand" *Marine Georesources & Geotechnology*, Volume 35, Issue 8, 1111-1120, 2017. doi: 10.1080/1064119X.2017.1294219.
5. Laxmikant Yadu, Pankaj Bajaj, Renu Premjani "Study on Vertical Piles Batter Piles and Pile Groups Under Uplift Load Conditions in Non-Cohesive Sub-soil" *IOP Conf. Ser.: Earth Environ. Sci.* 982, 2022. doi 10.1088/1755-1315/982/1/012052.
6. Ruwan Rajapakse "Batter pile design" *Pile Design and Construction Rules of Thumb (Second edition)* 265-275, 2016. doi 10.1016/B978-0-12-804202-1.00020-6.
7. ДБН В.2.1-10:2018 Основи та фундаменти будівель та споруд. Основні положення. К.: Міністерство регіонального розвитку, будівництва та житловокомунального господарства України, 2018.
8. Зміна №1 ДБН В.2.1-10:2018 Основи та фундаменти будівель та споруд. Основні положення проектування. К.: Міністерство регіонального розвитку, будівництва та житловокомунального господарства України, 2011.
9. Fursovych M.A., Supruniyk V.V., Ziatiuk Y.Y. "For Determination of Bearing Capacity of Inclined Buro-Injection Pile" *Resource-saving materials, structures, buildings and structures*, Volume 40, 209-216, 2021.
10. Тугаєнко Ю.Ф. Процеси деформацій ґрунтів в основаних фундаментах, свай і свайних фундаментах. Одеса: Астропринт, 2008. – 216с.

УДК 69.059.4 [https://doi.org/10.36910/6775-2410-6208-2023-9\(19\)-19](https://doi.org/10.36910/6775-2410-6208-2023-9(19)-19)

**ПЕРЕВІРКА МІЦНОСТІ СТІН ТА ОСНОВ УКРИТТЯ ДЛЯ
РОЗРОБКИ ПЛАНУ РЕКОНСТРУКЦІЇ ГОЛОВНОГО КОРПУСУ
ВОЛИНСЬКОЇ ОБЛАСНОЇ ДИТЯЧОЇ КЛІНІЧНОЇ ЛІКАРНІ**

**CHECKING THE STRENGTH OF THE WALLS AND
FOUNDATIONS OF THE SHELTER FOR THE DEVELOPMENT OF
THE RECONSTRUCTION PLAN OF THE MAIN BUILDING OF THE
VOLYN REGIONAL CHILDREN'S CLINICAL HOSPITAL**

**Ротко С.В., к.т.н., доц., Парфентьєва І.О., к.т.н., доц.,
Пасічник Р.В., к.т.н., доц., Ужегова О.А., к.т.н., доц., Чапюк О.С.,
к.т.н., доц. (Луцький національний технічний університет, Луцьк)**

**Rotko S., Ph.D. in Engineering, Associate Professor, Parfentieva I.,
Ph.D. in Engineering, Pasichnyk R., Ph.D. in Engineering., Uzhehova O.,
Ph.D. in Engineering, Chapiuk O., Ph.D. in Engineering, Associate
Professor (Lutsk National Technical University, Lutsk)**

Визначено технічний стан конструкції укриття головного корпусу Волинської обласної дитячої клінічної лікарні у м. Луцьку за результатами виконаного обстеження. Перевірено можливість надбудови верхніх поверхів - виконано перевірку несучої здатності стін та основ за дії додаткового навантаження.

Technical inspection is one of the main conditions in the development of a building reconstruction project. The detection of existing defects makes it possible to predict the so-called problem areas in the elements of the structures, which must be checked for the possibility of further operation and, if necessary, to provide measures to strengthen them. Conducting a technical inspection of the structures of the shelter of the main building of the Volyn Regional Children's Clinical Hospital in Lutsk was preceded by the need to check its strength structures for further recommendations regarding the reconstruction project.

The reconstruction plan envisages the addition of several floors to expand the institution's professional activities and increase the number of beds. The implementation of this project will, accordingly, lead to a significant increase in the load on the foundations of the building. Therefore, taking into account the proposals for the superstructure, it is first necessary to assess the current state of the load-bearing structures, check the strength of the walls and foundations for increased load, and provide recommendations on the operational properties of these elements.

As a result of a technical inspection of the structures of the shelter of the main building of the Volyn Regional Children's Clinical Hospital it was established that during the operation of the building, the structures received several defects and damage,

but their condition can be considered satisfactory. In connection with the planned superstructure of several floors, the calculations of the walls and foundations of the shelter were performed based on the weight of the existing structures and the additional weight of the projected superstructure - 25 t/m.p.

By checking the strength of the load-bearing walls for the specified additional load from the designed upper floors of the building, it was established that the strength of the shelter walls is ensured with a tenfold margin. By checking the strength and reliability of the foundations, it was established that the margin of the strength of the foundation is 67%.

Ключові слова: технічне обстеження, несуча здатність, стіна, основа, проектувана надбудова.

Keywords: technical survey, bearing capacity, wall, base, designed superstructure.

Постановка проблеми. Технічне обстеження є однією з головних умов при розробці проекту реконструкції будівлі. Виявлення існуючих дефектів дозволяє передбачити так звані проблемні місця в елементах конструкцій, які необхідно перевірити на можливість подальшої експлуатації та за необхідності – забезпечити заходи щодо їх підсилення [1,2].

Проведення технічного обстеження конструкцій укриття головного корпусу Волинської обласної дитячої клінічної лікарні КП «Волинське обласне територіальне об'єднання захисту материнства і дитинства» передувало необхідності перевірити міцність його конструкцій з метою подальших рекомендацій щодо проекту реконструкції.

Планом реконструкції передбачається надбудова декількох поверхів з метою розширення професійної діяльності закладу та збільшення кількості ліжкомісць. Реалізація даного проекту, відповідно, призведе до суттєвого збільшення навантаження на основи та фундаменти будівлі. Тому, враховуючи пропозиції щодо надбудови, першочергово необхідно оцінити теперішній стан несучих конструкцій, перевірити міцність стін та основ на підвищене навантаження, надати рекомендації щодо експлуатаційних властивостей даних елементів.

Аналіз останніх досліджень. За тривалої експлуатації будівель у несучих елементах виникають зміни, які можуть призвести до втрати несучої здатності основи. Також можлива зміна міцнісних властивостей самих матеріалів конструкцій. Все це потрібно враховувати при розробці проектів реконструкції, які пов'язані зі зміною величини та виду навантаження на основи.

Для оцінки реального стану конструкцій в першу чергу проводять технічні обстеження, у яких детально відображають проблемні місця та виявляють існуючі дефекти [3].

При таких дослідження вивчають фактори, які можуть впливати на зниження експлуатаційної придатності будівлі [5], та визначати, перевірку міцності яких саме елементів конструкцій необхідно провести для врахування реалізації подальших змін у планувальній структурі будівлі.

Придатність для подальшої експлуатації несучих елементів конструкцій та їх основ визначається на підставі відповідності нормативним вимогам [1].

Мета роботи – визначення технічного стану конструкцій укриття головного корпусу Волинської обласної дитячої клінічної лікарні у м. Луцьку за результатами виконаного обстеження, перевірка несучої здатності стін та основ для можливої надбудови кількох поверхів.

Виклад основного матеріалу. Згідно з технічним завданням на обстеження конструкцій укриття головного корпусу Волинської обласної дитячої клінічної лікарні КП «Волинське обласне територіальне об'єднання захисту материнства і дитинства», фахівці науково-дослідної будівельної лабораторії Луцького національного технічного університету виконали обстеження основних несучих конструкцій споруди (стін, фундаментів, перекриття), дослідження характеристик матеріалів конструкцій укриття неруйнівними методами, звіт про це наведено у [3, 4].

У зв'язку з тим, що планується добудова корпусу (надбудова кількох поверхів), виконували розрахунок стін та основ укриття від ваги існуючих конструкцій і додаткової ваги проєктованої надбудови – 25 т/м.п.

У ході обстеження укриття (фотофіксації наведені в додатку №6 [3]) були встановлені тип, розміри та марки (класи) бетону основних несучих конструкцій. Однак визначити неруйнівними методами армування стін та фундаментів, встановити тип фундаментів і перекриття, їх товщину та висотні відмітки, без втручання у структуру конструкцій, було неможливо. Тому для встановлення армування та детальних конструктивних рішень був виконаний пошук та аналіз оригінальної проєктної документації на укриття. У результаті були встановлені такі конструктивні особливості споруди:

а) фундаменти – монолітна фундаментна плита товщиною 700 мм. Відмітка низу -4.720. Клас бетону – С16/20 (М300). Армування – арматурою класу А-III (А400С) [3];

б) стіни по осях 1-4 – монолітні, товщиною 500 мм. Висота до низу перекриття – 2430 мм. Армування наведене нижче;

в) перекриття – збірно-монолітне. Монолітна плита перекриття товщиною 150 мм улаштована по збірних залізобетонних круглопорожнинних плитах, у проміжках цих плит розташовані монолітні балки шириною $b=520-540$ мм, висотою $h=600$ мм. Схема конструкції та армування наведені на рис. 1.

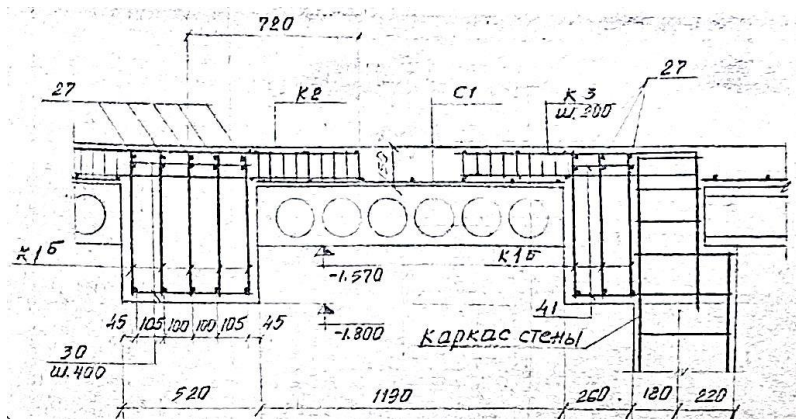


Рисунок 1. Конструкція збірно-монолітного перекриття

г) по перекриттю влаштована суцільна засипка піском товщиною 1100 мм із трамбуванням та влаштуванням підлоги першого поверху.

Перевірочний розрахунок стін укриття

Внутрішні та зовнішні стіни укриття дитячої лікарні, згідно з проектною документацією, прийняті у монолітному виконанні, одним каркасом разом із фундаментною монолітною плитою та монолітним перекриттям сховища. Товщина стін по всіх осях становить $b=500$ мм. Висота $h=2430$ мм. Стіни заармовані каркасами з вертикальною робочою арматурою класу А400С.

Згідно з завданням, виконується перевірочний розрахунок із додатковим навантаженням 25 т/м.п. найбільш навантаженої стіни по осі "3". Розрахунок ведеться для одного м.п.

Стіну укриття розраховували (згідно з [6]) на навантаження від власної ваги, ваги перекриття, насипного ущільненого піску, конструкції підлоги першого поверху, стін першого поверху та перекриття першого поверху.

Погонне навантаження від власної ваги стін укриття становить $q_{11}=33,4$ кН/м.п. Ширина вантажної смуги на 1 м.п. стіни – $B = 6,1$ м.

Повне розрахункове навантаження на перекриття укриття – $q_2=48,12$ кН/м². Відповідне погонне навантаження на стіну: $q_{12}=q_2 \times B=48,12 \times 6,1=293,6$ кН/м.п.

Повне рівномірно розподілене навантаження на перекриття першого поверху – $q_3=7,42$ кН/м². Відповідне погонне навантаження на стіну становить: $q_{13}=q_3 \times B=7,42 \times 6,1=45,3$ кН/м.п.

Погонне навантаження від власної ваги стін першого поверху становить $q_{14}=34,0 \text{ кН/м.п.}$

Додаткове навантаження на стіну від проєктованої надбудови становить $q_{15}=250,0 \text{ кН/м.п.}$ (згідно з червоними лініями на плані – рис. 2).

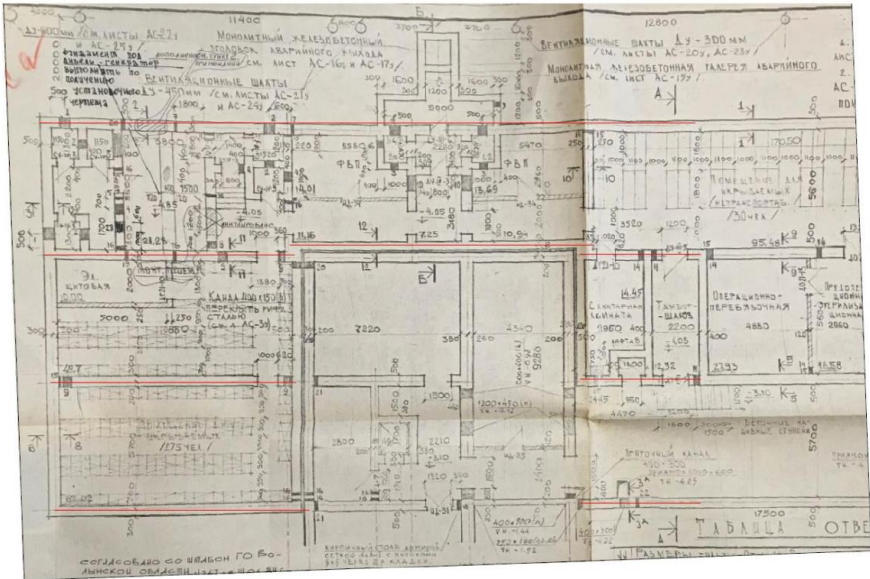


Рисунок 2. Додаткове навантаження від проєктованої надбудови

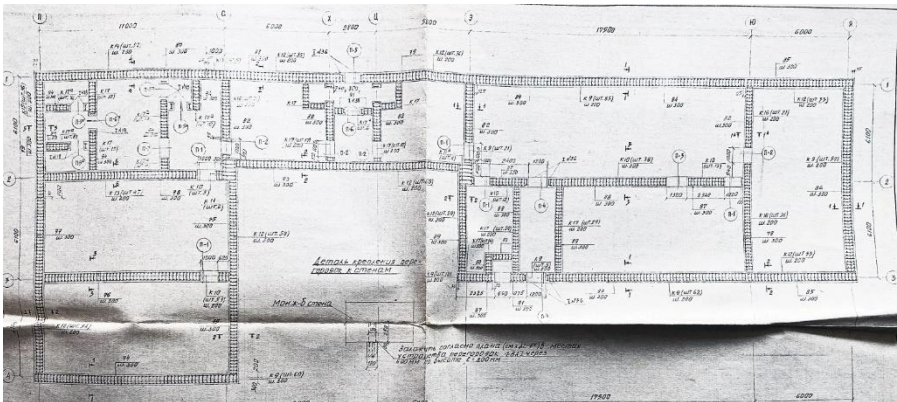


Рисунок 3. Схема армування стін укриття

Повне розрахункове погонне навантаження на стіну:
 $q = q_{11} + q_{12} + q_{13} + q_{14} + q_{15} = 33,4 + 293,6 + 45,3 + 34,0 + 250,0 = 656,3 \text{ кН/м.п.}$

Розрахункова висота стіни – $H = 2430 \text{ мм}$. Розмір перерізу стіни приймаємо рівним $b \times h = 500 \times 1000 \text{ мм}$.

Згідно з проектною документацією, поздовжні робочі стержні плоских каркасів стін виконані з арматури $\text{Ø}18 \text{ А-III (A400C)}$ і встановлені по дві штуки в каркасі. Поперечна арматура – зі стержнів довжиною $470 \text{ мм Ø}8 \text{ А-I (A240C)}$, що встановлені по висоті з кроком 150 мм . Крок каркасів по довжині стіни становить 200 мм (рис. 4). Стіни виготовлені з бетону класу C16/20 . Була виконана перевірка міцності нормальних перерізів стиснутих елементів (згідно з [8]).

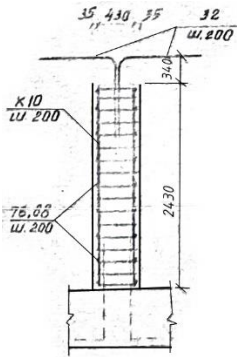


Рисунок 4. Схема армування стін по осі "3"

Розрахунком встановлено, що $N_{Ed} = 657 \text{ кН} < N = 6679 \text{ кН}$, тобто, міцність стін укриття на задане навантаження забезпечена із десятикратним запасом.

Перевірочний розрахунок несучої здатності основи під фундаментну плиту

Перевірку несучої здатності основи проводили відповідно до вимог ДБН В.2.1-10:2018 [9].

Фундаменти укриття – монолітна залізобетонна плита товщиною 700 мм , відмітка низу плити становить $-4,72 \text{ м}$. Плита виконана з бетону класу C16/20 , заармована робочою арматурою класу А-III (A400C) .

Виконувався збір навантаження на фундаментну плиту від усієї будівлі.

Навантаження від власної ваги усіх стін укриття:

$$P_{ст.укр.} = q_{11} \times L_{ст.заг.} = 33,4 \times 214 = 7147,6 \text{ кН}$$

Повне рівномірно розподілене навантаження на перекриття укриття становить $q_2=48,12 \text{ кН/м}^2$. Навантаження від усього перекриття укриття становить

$$P_{\text{пер.укр.}} = q_2 \times S_{\text{пер.укр.}} = 48,12 \times 619,1 = 29791,1 \text{ кН}$$

Повне рівномірно розподілене навантаження на перекриття першого поверху становить $q_3=7,42 \text{ кН/м}^2$. Навантаження від усього перекриття першого поверху становить

$$P_{\text{пер.1 нов.}} = q_3 \times S_{\text{пер.1 нов.}} = 7,42 \times 619,1 = 4593,7 \text{ кН}$$

Погонне навантаження від власної ваги стін першого поверху становить $q_{14}=34,0 \text{ кН/м.п.}$. Навантаження від власної ваги усіх стін першого поверху становить

$$P_{\text{ст.1 нов.}} = q_{14} \times L_{\text{ст.заг.}} = 34,0 \times 214 = 7276 \text{ кН.}$$

Додаткове навантаження від проектної надбудови на стіни становить

$$q_{15} = 250,0 \text{ кН/м п.}$$

Тоді додаткове навантаження на усю фундаментну плиту:

$$P_{\text{дод.}} = q_{15} \times L_{\text{ст.несуч.}} = 250 \times 139,3 = 34825 \text{ кН.}$$

Повне навантаження від ваги будівлі на фундаментну плиту:

$$P_{\text{б\у\д.}} = P_{\text{ст.укр.}} + P_{\text{пер.укр.}} + P_{\text{пер.1 нов.}} + P_{\text{ст.1 нов.}} + P_{\text{дод.}} = 7147,6 + 29791,1 + 4593,7 + 7276 + 34825 = 83633,4 \text{ кН}$$

Власна вага фундаментної плити:

$$P_{\text{ф.пл.}} = V_{\text{ф.пл.}} \times \rho = 433,3 \times 25 = 10832,5 \text{ кН, де}$$

$$V_{\text{ф.пл.}} = S_{\text{ф.пл.}} \times \delta = 619 \times 0,7 = 433,3 \text{ м}^3, \rho = 25 \text{ кН/м}^3$$

$$S_{\text{ф.пл.}} = 619 \text{ м}^2$$

Вага будівлі разом із фундаментною плитою:

$$P = P_{\text{б\у\д.}} + P_{\text{ф.пл.}} = 83633,4 + 10832,5 = 94465,9 \text{ кН}$$

Фактичний тиск на ґрунт:

$$94465,9/619 = 152,6 \text{ кН/м}^2 (\text{кПа})$$

Основою фундаменту, згідно з технічним звітом про інженерно-геологічні вишукування [3], слугує ґрунт ПГЕ-4 – супісок пластичний, низькопористий, пилюватий, слабозалізнений, сірувато-жовтий. Щільність ґрунту (ρ) при природній вологості ($W=0,20$ д.о.) становить $1,90 \text{ г/см}^3$. Коефіцієнт пористості – $0,70$ д.о. Потужність шару – $3,0 - 4,4$ м.

Фізико-механічні характеристики цього ґрунту:

$$\gamma_{//} = 18,8 \text{ кН/м}^3, \phi_{//} = 22^\circ, c_{//} = 12 \text{ кПа. Приймаємо:}$$

$$\gamma_{c1} = 1,2; \gamma_{c2} = 1,0; M_\gamma = 0,61; M_q = 3,44; M_c = 6,04.$$

Розрахунковий опір ґрунту:

$$R = \frac{\gamma_{c1}\gamma_{c2}}{k} \left[M_\gamma k_z b \gamma_{//} + M_q d \gamma_{//}' + M_c c_{//} \right] = 1,2 \times 1/1 / [0,61 \times 1 \times 1 \times 18,8 + 3,44 \times 4,72 \times 18,8 + 6,04 \times 12] =$$

$$=1,2[11,468+305,25+72,48]=1,2\times 389,2=467 \text{ кПа}$$

Отже, фактичний тиск на ґрунт становить 153 кПа, тобто він *утричі* менший від розрахункового опору ґрунту - 467 кПа. Це означає, що запас міцності основи становить

$$(467-153)/467\times 100\%=67,2\%$$

Висновки. У результаті проведення технічного обстеження конструкції укриття головного корпусу Волинської обласної дитячої клінічної лікарні КП «Волинське обласне територіальне об'єднання захисту материнства і дитинства», встановлено, що за час експлуатації будівлі конструкції отримали низку дефектів і пошкоджень [3], проте їхній стан можна вважати задовільним [4].

Перевіркою міцності несучих стін на задане додаткове навантаження від проєктованих верхніх поверхів будівлі встановлено, що міцність стін укриття забезпечена із десятикратним запасом. Перевіркою міцності та надійності основ встановлено, що запас міцності основи становить 67%.

References

1. DSTU-N B V.1.2-18:2016. Nastanova shchodo obstezhennia budivel i sporud dlia vyznachennia ta otsinky yikh tekhnichnoho stanu. Kyiv: DP "UkrNDNTs", 2017. 44 s.
2. Tekhnichne obstezhennia bud-yakyykh budivel i sporud. Rezhym dostupu: <https://tehpasport.com.ua/ua/services/tehnichne-obstezhennya-budivel-i-sporud/>
3. Zvit pro provedennia tekhnichnoho obstezhennia «Rekonstruktsiia holovnoho korpusu Volynskoi oblasnoi dytiachoi klinichnoi likarni KP «Volynske oblasne terytorialne obiednannia zakhystu materynstva i dytynstva» z dobudovoiu korpusu». Tekhnichne obstezhennia ukryttia tsyvilnoi oborony. Lutsk, 2021 r.
4. Drobyshtynets S.Ia., Andriichuk O.V., Kysliuk D.Ia. Tekhnichne obstezhennia ukryttia tsyvilnoi oborony holovnoho korpusu Volynskoi oblasnoi klinichnoi likarni // Resursno-ekonomni materialy, konstruktсии, budivli ta sporudy: zbirnyk naukovykh prats. Rivne: Volynski oberehy, 2022. Vyp. 41. S. 282-289.
5. Hryhorovskiy P.S., Chuknova N.P., Murasova O.V. Analiz faktoriv, shcho vplyvaiut na termin zhyttia budivli v protsesi ekspluatatsii. Rezhym dostupu: <https://journals.indexcopernicus.com/api/file/viewByFileId/411279.pdf>
6. DBN V.1.2-2:2006. Navantazhennia i vplyvy. Normy proektuvannia. K.: Minbud Ukrainy, 2006. 72 s.
7. Konstruktсии budynkiv i sporud. Betonni ta zalizobetonni konstruktсии. Osnovni polozhennia / Minrehionbud Ukrainy: DBN V.2.6-98:2009. Chynni vid 01.06.11. K.: Minrehionbud Ukrainy, 2011. 71 s.

8. Konstruktsii budynkiv i sporud. Betonni ta zalizobetonni konstruktsii z vazhkoho betonu. Pravyla proektuvannia / Minrehionbud Ukrainy: DSTU B V.2.6-156: 2010. K.: Minrehionbud Ukrainy, 2011. 123 s.

9. DBN V.2.1-10:2018 Osnovy i fundamenti budivel ta sporud. Osnovni polozhennia. K.: Minrehionbud, 2018.

Література

1. ДСТУ-Н Б В.1.2-18:2016. Настанова щодо обстеження будівель і споруд для визначення та оцінки їх технічного стану. Київ: ДП "УкрНДНЦ", 2017. 44с.

2. Технічне обстеження будь-яких будівель і споруд. Режим доступу: <https://tehpasport.com.ua/ua/services/tehnichne-obstezhennya-budivel-i-sporud/>

3. Звіт про проведення технічного обстеження «Реконструкція головного корпусу Волинської обласної дитячої клінічної лікарні КП «Волинське обласне територіальне об'єднання захисту материнства і дитинства» з добудовою корпусу». Технічне обстеження укрита цивільної оборони. Луцьк, 2021 р.

4. Дробішинець С.Я., Андрійчук О.В., Кислюк Д.Я. Технічне обстеження укрита цивільної оборони головного корпусу Волинської обласної клінічної лікарні // Ресурсно-економічні матеріали, конструкції, будівлі та споруди: збірник наукових праць. Рівне: Волинські обереги, 2022. Вип. 41. С. 282-289.

5. Григоровський П.С., Чукова Н.П., Мурсьова О.В. Аналіз факторів, що впливають на термін життя будівлі в процесі експлуатації. Режим доступу: <https://journals.indexcopernicus.com/api/file/viewByFileId/411279.pdf>

6. ДБН В.1.2-2:2006. Навантаження і впливи. Норми проектування. К.: Мінбуд України, 2006. 72 с.

7. Конструкції будинків і споруд. Бетонні та залізобетонні конструкції. Основні положення / Мінрегіонбуд України: ДБН В.2.6-98:2009. Чинні від 01.06.11. К.: Мінрегіонбуд України, 2011. 71 с.

8. Конструкції будинків і споруд. Бетонні та залізобетонні конструкції з важкого бетону. Правила проектування / Мінрегіонбуд України: DSTU B V.2.6-156: 2010. K.: Мінрегіонбуд України, 2011. 123 с.

9. ДБН В.2.1-10:2018 Основи і фундаменти будівель та споруд. Основні положення. К.: Мінрегіонбуд, 2018.

**АКТУАЛЬНІСТЬ ВИКОРИСТАННЯ УНІКАЛЬНИХ МУРАЛІВ
В АРХІТЕКТУРІ СУЧАСНОГО МІСТА**

**RELEVANCE OF USING UNIQUE MURALS IN
CONTEMPORARY CITY ARCHITECTURE**

Рубан-Головчук З.М., ст. викладач, Рубан М.З., асистент кафедри архітектури та дизайну (Луцький національний технічний університет)

Ruban-Holovchuk, Z., art. teacher, Ruban M., assistant at the Department of Architecture and Design (Lutsk National Technical University)

В архітектурі сучасного міста мурали відіграють важливу роль у створенні художнього образу міста та підвищенні його привабливості для жителів і туристів. Такі зображення можуть бути використані для прикраси будівель, оздоблення скверів і парків, а також для створення атмосферності у зонах відпочинку. Перевагою створення таких великих зображень є те, що вони дають можливість відтворити на будь-якій поверхні цікаві сюжети з історії, міфів і культурних традицій місцевої спільноти. Усе це сприяє збереженню та популяризації культурної спадщини, підвищує інтерес до історії та культури міста, надає ілюзію простору, візуально розширює розміри будівель, що допомагає змінити вигляд міста та зробити його привабливим для жителів та туристів.

In the architecture of a modern city, murals play an important role in creating an artistic image of the city and increasing its attractiveness for residents and tourists. Such images can be used to decorate buildings, aesthetically adorn squares and parks, and create an atmosphere in recreational areas. One advantage of creating such large images is that they provide an opportunity to portray interesting stories from the history, myths, and cultural traditions of the local community on any surface. All this contributes to the preservation and popularization of cultural heritage, increases interest in the history and culture of the city, gives an illusion of space, and visually expands the size of buildings, which helps change the appearance of the city and make it more attractive to residents and tourists.

Contemporary architecture is not only about constructing functional, efficient, and eco-friendly buildings but also about using all forms of art to make the space more attractive and aesthetically pleasing for people who interact with it. Murals are an interesting and popular form of art used in modern architecture. In this article, we will explore the relevance of murals in contemporary architecture and their impact on our environment.

Murals are large paintings on walls, often with artistic or political themes. The ability to create them on any material, including building walls, metal surfaces, and

massive structures, has made murals very popular in the art world, as they allow artists to use a large surface area to convey their ideas and impressions. This is not just a form of art - it has a direct impact on architecture and the surrounding environment. Contemporary architecture is not only about constructing functional, efficient, and eco-friendly buildings but also about using all forms of art to make the space more attractive and aesthetically pleasing for people who interact with it. Murals are an interesting and popular form of art used in modern architecture. In this article, we will explore the relevance of murals in contemporary architecture and their impact on our environment.

Murals are large paintings on walls, often with artistic or political themes. The ability to create them on any material, including building walls, metal surfaces, and massive structures, has made murals very popular in the art world, as they allow artists to use a large surface area to convey their ideas and impressions. This is not just a form of art - it has a direct impact on architecture and the surrounding environment.

Ключові слова: архітектура, мурали, монументальна композиція, унікальні зображення, розписи стін.

Keywords: architecture, murals, monumental composition, unique images, dream paintings.

Постановка проблеми. Сучасна архітектура – це не лише побудова функціональних, ефективних та екологічних будівель, але й використання усіх форм мистецтва для того, щоб зробити простір більш привабливим та естетичним для людей, які з ним взаємодіють. Мурали – цікава та популярна форма мистецтва, яка використовується у сучасній архітектурі. У цій статті ми розглянемо актуальність муралів та їхній вплив на наше середовище.

Мурали – це великі розписи на стінах, які часто мають художню або політичну тематику. Можливість створення їх на будь-якій поверхні, включаючи стіни будівель, металеві та масивні конструкції. Мурали стали дуже популярними у світі мистецтва, так як вони дозволяють художникам використовувати велику площу для втілення своїх ідей та вражень, а також мають прямий вплив на архітектуру та оточуюче середовище.

Аналіз досліджень і публікацій. Питання актуальності введення нового в сучасну архітектуру стає все більш актуальним для дизайнерів та архітекторів, які прагнуть додати до своїх проектів новітніх технологій та мистецьких рішень. Багато досліджень говорять про те, що мурали можуть впливати на настрій та психологічний стан людей. Вони можуть слугувати допоміжним засобом для створення зон відпочинку та релаксу, що є особливо важливим у місцях зі збільшеним рівнем стресу, таких як офіси, лікарні та інші. Зазвичай, у публікаціях обговорюються такі аспекти дизайну муралів, як вибір кольорів і форм, розміщення на поверхні, співвідношення зі стилем інтер'єру, вплив на естетичний вигляд приміщення та його функціональність. Також важливим питанням, яке

досліджують сьогодні, є рівень технічної реалізації таких проєктів. Наприклад, висвітлюються питання вибору матеріалів, які повинні відповідати вимогам якості та довговічності, збереження муралів від пошкоджень та зносу, зокрема за допомогою захисних покриттів. Так, наприклад, у книзі «The Art of Urban Sketching: Drawing On Location Around The World» (Gabriel Campanario, 2012) розповідається про мурали як важливий елемент вуличного мистецтва, що допомагає прикрасити міський ландшафт та зберегти історію місцевості, матеріал присвячений міському малюванню та включає декілька глав. У статті Маргарити Джапарідзе «Мурали: сучасне вуличне мистецтво» (2019) розглядається роль муралів у сучасній архітектурі та їхнє значення для розвитку вуличного мистецтва в Україні. Стаття «Мурали як чинник формування культурної та соціальної ідентичності» (Іванна Гуменюк, 2018) цікава тим, що авторка розглядає роль муралів у формуванні культурної та соціальної ідентичності громад та їхній вплив на соціально-економічний розвиток міст.

Мета статті довести актуальність створення монументальних композицій у сучасному міському просторі для досягнення унікальності та естетично-культурної цінності.

Виклад основного матеріалу дослідження. У сьогоденні мурали мають великий культурний вплив. За допомогою їх художники мають можливість відображати культурні та історичні події, які є важливими для місцевої спільноти. Наприклад, мурал на стіні певної будівлі може відображати історію місцевого населення, розповісти про традиції та звичаї, боротьбу, перемоги, відомих людей, що дає людям змогу більше розуміти свою культуру та виховувати повагу до неї. Крім того, служити як засіб вираження культурної ідентичності, показуючи унікальність та різноманітність різних груп населення. Такі речі стають важливою частиною процесу розбудови та розвитку міста, підсилюючи розвиток туризму та привертаючи увагу до регіону.

Нерідко мурали можуть бути використані як засіб створення гармонійного образу будівлі та оточуючого простору, стаючи частиною архітектурного проєкту, відображати стиль будівлі та підкреслювати її форму. Наприклад, мурал із зображенням дерева може підкреслити екологічну філософію будівлі та створити відчуття гармонії з природним середовищем. Вони можуть додати кольору та естетичної привабливості міському простору, змінювати візуальне сприйняття будівлі та доповнювати новими аспектами до її дизайну, допомогти збільшити привабливість та привернути більше уваги до певних районів міста, що може підвищити їхню цінність для жителів і туристів.

Важливим аспектом такого художнього методу є також і соціальна роль у місцевих спільнотах. Вони можуть служити як засіб спілкування та взаємодії між людьми. Наприклад, мурал, створений місцевими художниками разом із дітьми та молоддю, може стати символом єдності та спільної роботи або нести потрібні заклики в маси, використані як засіб підтримки та просування певних соціальних проблем, таких як боротьба з насильством, рівність, екологія та інші.

Мурали є важливою частиною туристичної привабливості міста, привертають увагу гостей та сприяють підвищенню економіки регіону. Таким чином, туристів приваблюють не лише історичні та культурні пам'ятки, але й яскраві, естетичні, унікальні мурали, які створюють атмосферу індивідуальності та неповторності міста. Усе це може сприяти економічному розвитку міста, залучаючи гостей та допомагаючи розвивати туристичну інфраструктуру. Мурали можуть відігравати роль у збереженні екологічного статусу міста: наприклад, якщо зображення включає в себе елементи рослин і тварин, то може стати частиною екологічної програми міста, сприяти охороні природного середовища, використовуватися як засіб розширення зелених зон, додавати естетичного компоненту та привабливості для жителів та відвідувачів міста.

Сьогодні мурали стають новою культурною формою мистецтва, яка об'єднує в собі елементи живопису, графіті, дизайну та сучасних технологій. Це впливає на сприйняття сучасної культури та мистецтва в цілому. Створення муралів вимагає від художників вміння поєднувати традиційні техніки з сучасними технологіями та інноваційними методами, завдяки чому створювати нові, цікаві та нестандартні рішення, які вражають та надихають. Великої популярності набули мурали, які створюються за допомогою сучасних технологій, таких як віртуальна реальність, або за допомогою роботів-малювальників. Вони мають більш точну та деталізовану графіку, що дає можливість дизайнерам та архітекторам створювати дуже складні та витончені малюнки [3].

У сучасній архітектурі мурали є не тільки декоративним елементом, а й важливим засобом створення культурної спадщини та підтримки ідентичності міста. Створення муралів повинно бути здійснене з урахуванням потреб і бажань місцевого населення, а також із залученням художників і дизайнерів із місцевих та міжнародних спільнот, адже вони стають символами співпраці та єдності всіх жителів міста [4]. У світі все більше міст та населених пунктів використовують мурали як засіб спілкування з громадою та створення культурної спадщини. Наприклад, у місті Кіркланд, штат Вашингтон, США, на стіні магазину було створено мурал, який зображує життя та культуру міста, що стало символом співпраці між місцевою владою, бізнесом і художниками. Мурали можуть відображати будь-яку тему, від історії та культури до політики та

соціальних питань, як наприклад, у Берліні було створено твір, який зображує протест у підтримку рівноправ'я [2].



Рис. 1. Боссолетті «Hybris»

Робота Боссолетті «Hybris» створена в бельгійському місті Верхтер. У ній відображена постійна внутрішня боротьба людини: душі з тілом, задоволення з болем, багатства та бідності, простору та часу, насильства з бажанням. Художник показує глядачу, що в результаті – кордони стираються і людина виходить за межі своєї сутності, вона досягає волі та може сама вершити свою долю [8].

Ще одним цікавим прикладом світового мистецтва є мурал «Al suo sonno delle trombe» (рис.2) італійського художника з Озмо, вималюваний на будівлі суду у Римі, де відображені події Судного дня, де кожен дасть відповідь за свої вчинки. Примушує задуматися і жажнутися. Місце даного доробку та сюжет вибрані не випадково, адже саме у Римі дана тематика вирує у повітрі, стіни давніх руїн дихають таємничістю та створюють атмосферу міфічності. Колористика гармонійно співіснує із навколишнім простором, а композиція та виконання вражають майстерністю.

Два художника створили картину «Весода» (рис.3), що займає площу 57х14 м для арт-фестивалю Urban Morphogenesis, що проходив в Одинцево (Італія). Ці образи натхненні епохою Відродження і доповнені італійським футуризмом та вражають відчуттям руху та повітряності. Ось і тут зображена жінка, яка готова піти, проте сумнівається у своєму рішенні. Спочатку розмірковує, а потім все-таки робить рішучий крок назустріч змінам – збігає по сходах.

Фреска Далеаста (рис. 4) в Парижі яскраво виділяється особливою технікою автора. Всі його мурали схожі плетінням ліній, які формують рухи й форми. Китайський художник показує в цій картині, як людина

розривається на частини, переживає, вибираючи вірне рішення. У роботах присутні образи як людей так і тварин [8]. Що саме Далєаст хотів донести до глядача через «людину, що розсипається» 2014 року, нам залишається тільки здогадуватися.



Рис. 2. Мурал «Al suono delle trombe» Озмо



Рис. 3. Мурал «Жінка, яка іде» Весод

Чимало цікавих робіт знаходиться по всьому світу, кожна з яких унікальна та цінна. Несучи в собі глибокі філософські змісти, соціальні заклики, актуальні теми, усі ці твори є неймовірною спадщиною для майбутнього покоління. До прикладу «Героїчна епоха» – мурал у Мексиці, який створив Дієго Рівера, де зображується історія Мексики від доіспанської епохи до революції 1910 року. Чи не менш захоплюючий «Танець життя» у тій же Мексиці, створений Давидом Альфаро Сікейросом, де темою є питання життя та смерті в мексиканській культурі. А як щодо далекої історії у вигляді муралу в Єгипті "Три боги" – зображення трьох богів Амона, Мут і Хонсу. Він був створений ще у 1380 році до н. е. та зберігся до наших днів. Є теми, які актуальні у будь-який час: «Обличчя війни» – мурал в Лос-Анджелесі, США, створений Шепардом Фейрі, де зображується обличчя жінки-воїна змішане з графічними елементами. Актуальність різноманітних тем присутня у картинах у різних куточках світу: тема рівності народів – «Три сестри» (Мексика), створений Фабіаном Чапом, представляє різні етнічні групи Мексики; безсмертна літературна колекція представлена муралом

«Божественна комедія» в Італії, створена Анджело Майоліно; мандрівна філософія в образах Кітхарта «Світло зверху» – мурал в Нью-Йорку, США, де людина подорожує від світла, що знаходиться вгорі; та вічна тема вогню – «Художній вогонь» (Іспанія), автора Ернеста Закаріаса, де герой бореться із темрявою. Цей мурал є одним із найбільших в Європі, його площа становить 2500 метрів квадратних [1].

Професійні роботи майстрів здатні підняти настрій людям та змінити вигляд міста на краще. Чимало муралів створюються у рамках проектів з мистецтва на вулиці, які покликані збагатити міста різноманітними мистецькими інсталяціями та творами, тому стають все популярнішим елементом сучасної архітектури та дизайну інтер'єрів, який дозволяє створювати унікальну атмосферу приміщення та підсилити його емоційний ефект, можуть бути використані в різних типах будівель, таких як житлові квартири, офіси, магазини, ресторани, готелі, музеї та інші. Усе це дозволяє створювати динамічні та сучасні інтер'єри, використовуючи геометричні форми та абстрактні малюнки.



Рис. 4. Фреска Далеаста «Людина, що розсипається»

Технологія виготовлення муралів змінюється протягом віків і залежить від того, який матеріал є актуальним для того чи іншого часу, сюжету, покриття, ідеї в цілому та інших факторів.

Основними методами створення муралів є:

- фарбування – один із найпоширеніших методів створення муралів, для якого використовують фарби на водній, масляній або акриловій

- основі та різноманітні інструменти, такі як пензлі, валики або аерозольні балончики;
- мозаїка – метод створення муралу з використанням мозаїчних плиток: керамічних, скляних або кам'яних, які складаються в зображення;
 - пастинг – метод створення із використанням паперу або інших матеріалів, які приклеюються на стіну за допомогою клею, використовується для створення муралів із фотографій або ілюстрацій;
 - вирубка – створюється шляхом нанесення контррельєфу на поверхні стіни з таких матеріалів, як дерево, метал або інших за допомогою відповідних інструментів;
 - штукатурка – метод нанесення даного матеріалу, гіпсу чи спеціальних сумішей для витончених і рельєфних муралів.

Одним із новітніх методів створення муралів є використання проекторів та комп'ютерних програм, які дозволяють митцям передавати зображення безпосередньо на стіну для перенесення малюнку, а далі розфарбовувати їх за допомогою фарб або спеціальних маркерів. Цей метод дозволяє швидко створювати складні зображення та точно відтворювати деталі. Не менш цікавим та інноваційним є також створення рекламних муралів та декорування будівель із використання технології графіті великоформатного високотисненого друку, за допомогою яких можна виготовляти чималі полотна.

Першим і важливим етапом створення муралу є попередній аналіз поверхні стіни, на якій буде створюватись зображення, та підготовка її до роботи: очищення, шліфування та зашпаклювання поверхні перед початком роботи. Залежно від розміру та складності муралу, його створення може займати від кількох днів до кількох місяців. Більш складні картини часто вимагають спеціального планування та підготовки, а також використання різноманітних технік і матеріалів для досягнення бажаного ефекту [6].

Цікаво, що такі модні та сучасні мурали беруть свій початок ще з давніх часів, коли люди використовували їх для декорування свого житла, сакральних місць і гробниць. Стародавні єгиптяни відомі своїми зображеннями в пірамідах та храмах, які вони створювали, використовуючи усі відомі та доступні технології, однією з яких була фреска. Це техніка малювання на свіжому шарі гіпсу, що висихає, а фарба вбирається в поверхню, створюючи довговічні малюнки. Щось подібне практикували і стародавні греки та римляни при створенні муралів. Вони також використовували мозаїку для декоративних зображень із кольорових каменів, скла та кераміки, що забезпечило довготривалість життя таким шедеврам. У середньовічній Європі та Азії такі масштабні картини були дуже популярними, особливо в храмах, монастирях та

замках. Частою і несподіваною технологією малювання було використання темпер, яка полягає у змішуванні фарб з яєчним жовтком або олією та нанесення на поверхню.

У ХХ столітті мистецтво муралів стало популярним серед художників-графітістів, які створювали декоративні зображення на вулицях і будівлях, експериментуючи з різноманітними техніками та матеріалами. Мурали в Україні з'явилися не так давно, проте одразу здобули популярність від глядача. Найбільші та найцікавіші зображення можна знайти в містах, таких як Київ, Львів, Одеса, Харків та інших. Столиця славиться великою кількістю шедеврів, зокрема, на стіні будівлі на вулиці Верхній Вал зображена легендарна картина "Кінь, який стрибає через перешкоду" від українського художника Казимира Малевича. Часто зображають відомих особистостей, наприклад, таких українських знаменитостей, як Тарас Шевченко та Василь Стус. У Львові на вулиці Личаківська на стіні будівлі зображений музикант Ігор Кушнір, є також українські письменники Іван Франко та Леся Українка. В Одесі на стіні будівлі на вулиці Грецька зображена дівчина з голубом та мурали з відомими людьми України Миколою Лисенком та Василем Стусом. Харків славиться своїм зображенням легендарна українська співачка Софія Ротару, Олена Теліга та Павло Загребельний.

Мурали в Україні стали не лише чудовою та ексклюзивною декорацією для міст, але й своєрідною творчою формою вираження суспільної думки, наприклад, твір з надписом «Слава Героям» та портретами військових, які загинули на Сході України, що у Києві на стіні будівлі на вулиці Банковій. Нерідко використовуються також для відтворення національних символів та традицій, як на стіні будівлі на вулиці Шота Руставелі в Києві зображено портрет Тараса Шевченка та сцени з його творів, що символізує національну культуру та ідентичність [7].

Мурали сьогодні стали не просто мистецькими творами, а й важливими елементами культури та життя суспільства. Усе це дозволяє відтворити різноманітні образи, історії, персонажів на стінах будівель, що збагачує міський простір та допомагає формувати ідентичність.

Мурал «Мироносиця» (рис. 5) є найбільшим зображенням на стінах будинку у Луцьку.

Його створила команда художників «Magic Art Group» у рамках фестивалю Art Territory. Образ жінки, який зображено на стіні, несе в собі дух усього українського народу, який випускає з клітки власну вільну, але таку багатотраждальну душу, у символічному зображенні голубів миру. Це символ боротьби за нашу незалежність та свободу духу у це непросте десятиліття, символ боротьби та шани всім воїнам, які захищають рідні землі. Поруч із даним зображенням розміщується військовий шпиталь, що також не є випадковим.



Рис. 5. «Мироносиця», м. Луцьк

Триптих мурал-рекордсмен «Кит» (рис. 6), що внесений до Національного реєстру рекордів України як найбільший за площею знаходиться у Харкові, загальна площа – 1375,74 кв.м. Робота виконана на трьох стінах 16-поверхового будинку. Зображення китів символізує міць природи та відродження, що чітко співпадає з уявленнями людей про дане прекрасне місто: воно таке ж величне та постійно нове, потужне та багатогранне. Саме тому такий мурал підкреслює ексклюзивність міста-мільйонника, така масштабна і яскрава робота підніме настрій і буде цікава жителям і гостям міста.



Рис. 6. «Кит», м. Харків

Чимало муралів виконано у столиці. Цікавим і мистецькоцінним є розпис на стіні гімназії в Дарницькому районі Києва. Стінопис, створений

у 2017 році, «Діалог» або, як його ще називають, «Пантери» (рис. 7), був створений в рамках арт-фестивалю Mural Social Club за ініціативою фонду Sky Art Foundation. Аргентинський художник JAZ (Franco Fasoli) намалював двох великих пантер у кольорах моря та повітря, котрі зустрілися посеред лісу та ведуть німий діалог, на лише їм зрозумілій мові. Їх тіла поєднані лініями, що схожі на сигнал зв'язку, комунікацію, через які вони посилають одна одній інформацію. Неймовірна композиція та колористика створює загадковість даної роботи.



Рис. 7. «Діалог», м. Київ

Висновки. У сьогоденні мурали стали невід'ємною частиною сучасної архітектури та міського планування. Вони використовуються як засіб підтримки культурної спадщини та створення ідентичності міста, сприяють розвитку туризму та економіки регіону. Вони є важливим засобом візуальної комунікації та просування соціальних проблем, зберігають природне середовище та створюють нові культурні форми мистецтва. Створення муралів є непростим процесом, який вимагає залучення багатьох сторін, включаючи комунікації між місцевою владою та художниками, жителями та іншими зацікавленими сторонами. Проте, як нагорода, мурал стає не лише естетичним елементом міста, а й символом співпраці та єдності всіх його жителів. Отже, роль муралів у формуванні культурної та соціальної ідентичності міста, підтримці його спадщини та розвитку туризму надзвичайно вагома, адже саме вони створюють нові простори для мистецтва та сприяють візуальній комунікації між людьми.

References

1. Hatto, E. (2019). Vulychne mystetstvo ta mis'ka kreatyvnist' yak zasib sotsiokul'turnoyi reheneratsiyi: pryklad Neapolya. U B. Ciancio, F. M. Mazzotta ta M. Riva (Red.), Dyzyayn hromads'koho prostoru ta sotsial'na z'hurtovanist' (stor. 109-126). Sprynher.

2. Hamman L. та Torp A. (2010). Personalizatsiya mista mriyi: Kul'turna ekonomika strit-artu hrafiti v Londoni, Mel'burni ta Sant'yaho. Mizhnarodnyy zhurnal kul'turnoyi polityky, 16(3), 307-323.
3. Irvin R. (2017). Mystets'ki intervensiyi v mis'kyu prostir: Misto yak maydanchyk dlya tvorchoyi praktyky. Routledge.
4. Latham, A., & McCormack, J. (2019). Strit-art, feminizm i mis'ke seredovyshe. Pelhreyv Makmillan.
5. Kolisnyk O . Muraly v arkhitekturi mista: istoriya ta suchasni trendy. Zhurnal «Mistobuduvannya ta terytorial'ne planuvannya», 2021.
6. Borysova I . Suchasna arkhitektura ta murali: vid kreatyvnosti do suspil'noho vplyvu. Naukovyy zhurnal «Sotsial'no-humanitarni aspekty rozvytku suspil'stva», 2022.
7. Kucherenko L . Unikal'ni muraly v arkhitekturi: suchasni tekhnolohiyi ta yikh vplyv na mis'ke seredovyshe. Naukovyy zhurnal "Mystetstvoznavstvo ta kul'turolohiya", 2019.
8. Krashchi muraly svitu, yaki vrazhayut' monumental'nisty i hlybokym zmistom. URL: <https://joy-pup.com/ua/creative-ua/krashchi-murali-svitu/om>. URL: <https://joy-pup.com/ua/creative-ua/krashchi-murali-svitu/>

Література

1. Gatto, E. (2019). Street art and urban creativity as a mean of socio-cultural regeneration: The case of Naples. In B. Ciancio, F. M. Mazzotta, & M. Riva (Eds.), Public Space Design and Social Cohesion (pp. 109-126). Springer.
2. Gamman, L., & Thorpe, A. (2010). Personalising the city of dreams: The cultural economy of graffiti street art in London, Melbourne and Santiago. International Journal of Cultural Policy, 16(3), 307-323.
3. Irwin, R. (2017). Artful interventions in urban space: The city as a site for creative practice. Routledge.
4. Latham, A., & McCormack, J. (2019). Street art, feminism and the urban environment. Palgrave Macmillan.
5. Колісник О. Мурали в архітектурі міста: історія та сучасні тренди. Журнал "Містобудування та територіальне планування", 2021.
6. Борисова І. Сучасна архітектура та мурали: від креативності до суспільного впливу. Науковий журнал "Соціально-гуманітарні аспекти розвитку суспільства", 2022.
7. Кучеренко Л. Унікальні мурали в архітектурі: сучасні технології та їх вплив на міське середовище. Науковий журнал "Мистецтвознавство та культурологія", 2019.
8. Кращі мурали світу, які вражають монументальністю і глибоким змістом. URL: <https://joy-pup.com/ua/creative-ua/krashchi-murali-svitu/>

**ДОСЛІДЖЕННЯ ПРИЧИН ПЕРЕДЧАСНОГО РУЙНУВАННЯ
ЗАЛІЗОБЕТОННИХ ЕЛЕМЕНТІВ МОСТІВ ТА ШЛЯХОПРОВІДІВ
ПРИ ВИКОРИСТАННІ ХЛОРИСТИХ ПРОТИОЖЕЛЕДНИХ
МАТЕРІАЛІВ**

**RESEARCH OF THE CAUSES OF PREMIUM DESTRUCTION OF
REINFORCED CONCRETE ELEMENTS OF BRIDGES AND
PIPELINES WHEN USING CHLORINE ANTI-ICE MATERIALS**

Сєдов А.В., к.т.н., доц., Фоменко О.О., асис. (Харківський національний автомобільно-дорожній університет)

Siedov A.V., Ph.D., assoc., Fomenko O.O., assistant (Kharkiv National Automobile and Road University)

Виконаний аналіз факторів, що впливають на швидкість і обсяги руйнування залізобетонних елементів штучних споруд. До основних причин появи пошкоджень на мостах відноситься корозія бетону та арматури внаслідок попадання води з проїзної частини в осінньо-зимовий період, оскільки вона містить в собі хімічні речовини, які застосовуються при боротьбі із зимовою слизькістю і викликають корозію на додаток до карбонізації. Опір цементного бетону агресивній дії ПОМ матеріалів є нестабільним. Існують періоди, коли структура бетону є достатньо стійкою і періоди, в які її стійкість може суттєво знижуватись. У процесі експлуатації таких бетонів існує небезпека незворотньої втрати міцності за спільної дії на бетон ПОМ, знакозмінних температур та інтенсивних динамічних механічних навантажень від руху транспортних засобів.

Factors affecting the speed and volume of destruction of reinforced concrete elements of man-made structures are analyzed. The main causes of damage to bridges include corrosion of concrete and reinforcement due to water ingress from the roadway in the autumn-winter period, as it contains chemicals that are used to combat winter slippage and cause corrosion in addition to carbonization. First, the surface layer of concrete is saturated with salt. During repeated treatments with anti-icing materials, the solution penetrates deeper and deeper into the thickness of the concrete due to capillary absorption. According to the research results, it can be concluded that the most dangerous concentration is 5 % concentration of NaCl. Under the action of the indicated anti-icing material, a steady decrease in compressive strength is observed up to 45 cycles, and then the curve stabilizes. The resistance of cement concrete to the aggressive action of anti-icing materials is unstable. There are periods when the structure of concrete is sufficiently stable and periods in which its stability can significantly decrease. During the operation of such concrete, there is a danger of irreversible loss of strength due to the simultaneous action of anti-icing materials on the concrete, sign-changing temperatures and intense dynamic mechanical loads from the movement of vehicles. The

generalization of research results indicates the possibility of increasing the corrosion resistance of concrete by applying a protective layer on its surface, which ensures the formation of a hydrophobic film and prevents the penetration of aggressive solutions into concrete. The impregnating composition penetrates shallowly, but to a sufficient depth to primarily contribute to increased strength. But, as a result of the effect of sign-changing temperatures, microdefects continue to accumulate inside the concrete structure, which ultimately lead to a decrease in its strength.

Ключові слова: хлоридні протиожеледні матеріали, мости, шляхопроводи, довговічність, корозія.

Key words: chloride anti-icing materials, bridges, overpasses, durability, corrosion.

Під довговічністю моста або його основних елементів (фундаменти, опори, прогонові будови, опорні частини, мостове полотно) розуміють період часу, протягом якого спорудження (елемент) може експлуатуватися в проектному режимі при нормальному утриманні без реконструкції або капітального ремонту [1]. На рис. 1 наведені терміни служби мостових конструкцій за різними критеріями.

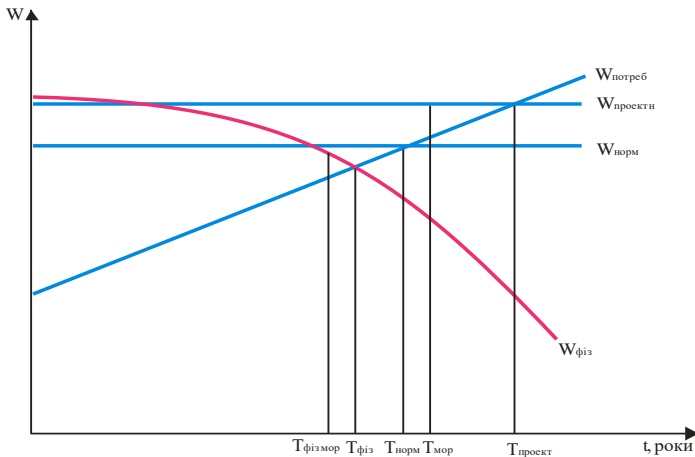


Рис. 1. Терміни служби мостових конструкцій за різними критеріями

W – рівень споживчих властивостей; $W_{\text{норм}}$ – нормативний; $W_{\text{проектн}}$ – проектний; $W_{\text{потреб}}$ – необхідний за умовами експлуатації; $W_{\text{фіз}}$ – з урахуванням фізичного зносу; $T_{\text{норм}}$ – нормативний термін служби; $T_{\text{проект}}$ – проектний термін служби; $T_{\text{мор}}$ – термін служби з урахуванням морального зносу; $T_{\text{фіз}}$ – термін служби з урахуванням фізичного зносу; $T_{\text{фізмор}}$ – термін служби з урахуванням і фізичного, і морального зносу

Вимоги до утримання автодоріг зобов'язують забезпечити безпеку на найбільш небезпечних ділянках доріг, у тому числі – на мостах і шляхопроводах. Виходячи з цього, дорожньо-експлуатаційні організації в першу чергу обробляють протижелезними матеріалами (ПОМ) ці споруди. І хоча на цементобетонних покриттях та мостових спорудах рекомендовано використовувати ПОМ на ацетатній і карбамідній основі, часто для ліквідації зимової слизькості споруди обробляються ПОМ на основі хлористих солей (NaCl , CaCl_2 , MgCl_2) [2, 3].

Дослідженнями доведено, що поряд із позитивними властивостями цих солей (плавка здатність, температура кристалізації тощо) виявляються і негативні по відношенню до металевих і бетонних елементів автомобільних доріг (мости, шляхопроводи, покриття) і навколишнього природного середовища (грунт, вода, повітря) [2].

І тут слід зазначити пряму залежність між інтенсивністю боротьби з ожеледдю та швидкістю і обсягами руйнування залізобетонних елементів штучних споруд. Так, якщо зима тепла, то кількість переходів температури через «нуль» протягом зими може становити кілька десятків разів і, як наслідок, ведеться інтенсивна боротьба з зимовою слизькістю і обсяг руйнувань, викликаних корозією залізобетону, різко зростає (рис. 2).

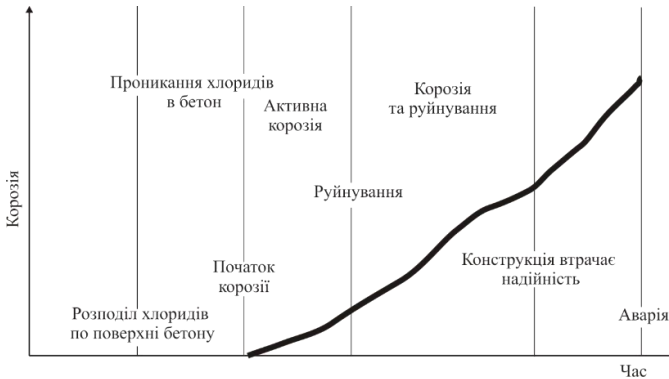


Рис. 2. Вплив зовнішньої дії хлоридів на процес руйнування цементобетону [4]

Аналіз результатів обстежень мостів дозволяє зробити висновок: основні причини появи пошкоджень мостів – корозія бетону та арматури внаслідок попадання води з проїзної частини і тротуарів в осінньо-зимовий період, оскільки вона містить в собі хімічні речовини, що застосовуються

при боротьбі із зимовою слизькістю, які викликають хлоридну корозію на додаток до карбонізації (рис. 3).

Спочатку відбувається насичення сіллю приповерхневого шару бетону. При повторних обробках ПОМ розчин проникає за рахунок капілярного всмоктування все глибше в товщу бетону.

Таким чином, можна зробити висновок, що до основних негативних факторів відносяться: хлоридна агресія, переміщення води, хімічна деградація, цикли заморожування-відтавання, низькі температури тощо.



Рис. 3. Стик між балками

На рисунку 4 наведені капілярні канали в зонах між колоїдними частинками новоутворення цементу. Аналізуючи результати виконаних досліджень (рис. 5), можна дійти висновку, що на поверхневий натяг істотно впливає концентрація розчинів хлоридів [5]. Зростання концентрації розчинів спочатку призводить до збільшення капілярного підняття рідини, а потім – до його зниження. За результатами досліджень можна зробити висновок, що найбільш небезпечною концентрацією є 5 % концентрація NaCl.

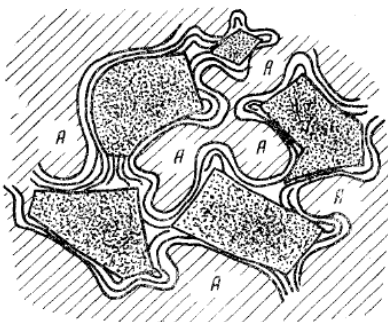


Рис. 4. Капілярні канали (А) в зонах між колоїдними частинками новоутворення цементу [5]

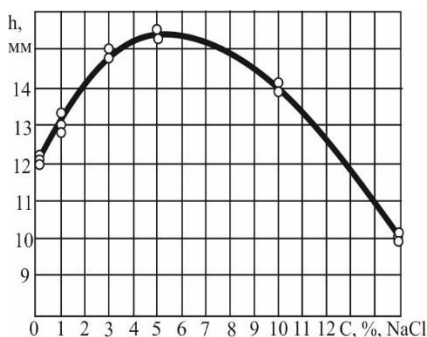


Рис. 5. Висота підняття рідини по капіляру

Новоутворення не мають в'язких властивостей і достатньої щільності, щоб запобігти проникненню агресивного середовища у бетонну конструкцію. Вони змиваються, розчиняються і оголюють більш глибокі шари бетону.

При контакті бетону з водними розчинами кислот утворюється бікарбонат кальцію, що легко розчиняється і поступово вимивається зі структури бетонного каменю. Цей процес посилюється внаслідок присутності в розчині NaCl.

Основну роль у руйнуванні цементного каменю за дії низьких температур відіграють пористість і вид капілярно-пористої структури бетону [6, 7].

На даний час процес заморожування бетону представляють наступним чином. При охолодженні поверхні насиченого водою бетону до температури нижче 0°C у зовнішньому шарі бетону вода у великих порах переходить в лід. В поступово охолоджуваному бетоні зона замерзання води поширюється все глибше. Однак у зовнішньому шарі не вся вода переходить у лід. У мікропорах вона тривалий час залишається в рідкому стані. Причиною цього є переохолодження і особливий стан води в тонкому шарі на поверхні пор і капілярів. Замерзання води у великих порах різко обмежує переміщення незамерзлої води в пористій структурі бетону. При подальшому зниженні температури, коли починає замерзати вода в мікропорах і обсяг води збільшується, переміщення її у великі пори, заповнені льодом, обмежена. Виникає внутрішній тиск, який в принципі може зруйнувати бетон [6, 7].

Руйнівна дія розчинів солей визначається їх здатністю взаємодіяти з водою з утворенням водневих (кислих) або гідроксидних (лужних) іонів. Агресивні властивості розчинів солей визначаються ступенем їх мінералізації, кількістю розчинених речовин (неорганічні солі, органічні речовини), що містяться у воді. Утворені при таненні снігу та льоду сольові розчини різної концентрації проникають у пори і капіляри бетону і при замерзанні руйнують його. При такій картині замерзання бетону руйнування його відбувається приблизно в 20-40 разів швидше, ніж у випадку заморожування бетону, насиченого водою.

Встановлено, що найбільшому корозійному впливу піддається цементний камінь, оскільки він є найактивнішим компонентом бетону і внаслідок цього схильний до руйнування у результаті хімічного та фізичного впливу агресивного середовища. Стійкість бетонів у

протиожеледних середовищах оцінювали за показниками міцності на стиск, згин та розтяг після відповідної кількості циклів заморожування-відтавання у питній воді, розчинах солей, у порівнянні з показниками міцності зразків до початку випробувань на 28 добу твердіння. Зразки протягом 48 годин насичувалися при $18\pm 2^\circ\text{C}$ у 5% розчині NaCl. Водопоглинання бетону визначали за результатами випробувань трьох зразків, згідно з ДСТУ Б.В.2.7-42. Для визначення поглинання зразки зважували кожні 15 хвилин, протягом першої години насичення, далі – щогодини протягом 7 годин, далі – через 24 години та 48 годин на терезах з похибкою не більше 0,1%. Поглинання зразків протягом 48 годин наведено на рис. 6.

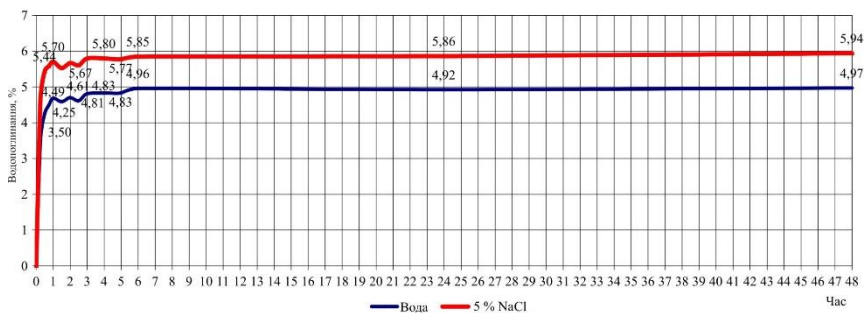


Рис. 6. Поглинання зразків протягом 48 годин

Після насичення зразків морозостійкість бетону визначали згідно з ДСТУ Б. В. 2.7-47 у таких режимах: заморожування зразків бетону проводили при температурі мінус ($18\pm 2^\circ\text{C}$) протягом 1,5 години, відтавання – при $+20^\circ\text{C}$ протягом 1,5 години.

Аналіз результатів досліджень дозволяє констатувати таке. Міцність бетону на розтяг при згині змінюється за лінійною залежністю, на ній є яскраво виражений мінімум в області 30 циклів заморожування-відтавання у 5% розчині NaCl (рис. 7).

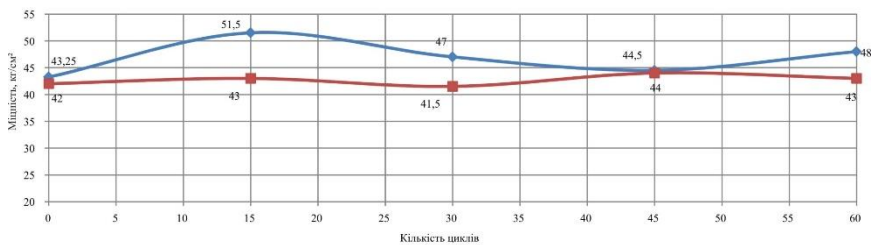


Рис. 7. Міцність цементобетону на розтяг при згині

На кривій міцності при згині є один неявно виражений максимум в області 45 циклів заморожування-відтавання. Після проходження цього максимуму зміна міцності бетону не спостерігається, що особливо помітно по характеру кривої міцності при стиску (рис. 8). При дії вказаного протижелезного матеріалу спостерігається неухильне зниження міцності при стиску до 45 циклу, а потім – стабілізація кривої. Стабілізацію міцності можна пояснити ущільненням мікроструктури бетону та заростанням мікрodefektів за рахунок вищеописаного механізму. Запізнення ефекту самозаліковування може бути викликано підвищенням розчинності силікатних мінералів клінкеру у присутності хлориду натрію. Це веде до утворення більшої кількості тоберморитового гелю.

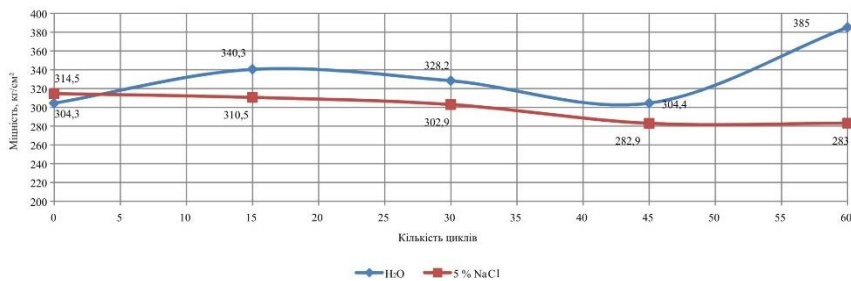


Рис. 8. Міцність цементобетону при стиску

Перший максимум викликаний гідратацією цементу, яка відбувається по топохімічному механізму. Мінімум можна пояснити накопиченням мікрodefektів у структурі бетону, а подальший максимум – їх «залікуванням».

Узагальнення результатів досліджень свідчить про можливість підвищення корозійної стійкості бетону нанесенням на його поверхню захисного шару, який забезпечує утворення плівки, яка має гідрофобні властивості та попереджує проникнення розчинів ПОМ у бетон. Міцність зразків бетону після обробки спочатку не змінюється, що можна пояснити гідрофобізацією поверхні. Бетон знаходиться ніби в захисній «обоймі». Просочуючий склад проникає неглибоко, але на достатню глибину, щоб в першу чергу сприяти підвищенню міцності. Але, в результаті дії знакозміних температур, усередині структури бетону продовжують нагромаджуватися мікрodefekти, що призводять, зрештою, до зниження його міцності.

Опір цементного бетону, призначеного для будівництва штучних споруд, агресивній дії протижеледних хлоридомістких матеріалів є нестабільним. Існують періоди, коли структура бетону є достатньо стійкою і періоди, в які її стійкість може суттєво знижуватись. У процесі експлуатації таких бетонів існує небезпека незворотньої втрати міцності за спільної дії на бетон протижеледних матеріалів, знакозміних температур та інтенсивних динамічних механічних навантажень від руху транспортних засобів.

References

1. Bilchenko A.V. Dovichichnist zalizobetonnykh konstruktсии ye osnovoiu zhyttievoho tsykladu mostovykh sporud/ A.V.Bilchenko, O.H. Kislov, O.V. Synkovska, A.V. Ihnatenko // Naukovyi visnyk budivnytstva t. 94.- № 4, Kharkiv.- 2018. - S. 140-144.
2. DSTU 8853:2019 Materialy protyozheledni dlia avtomobilnykh dorih. Tekhnichni umovy. [Chynnyi vid 2020-07- 01]. Vyd. ofits. Kyiv : Ukrainskyi naukovodoslidnyi i navchalnyi tsentr problem standartyzatsii, sertyfikatsii ta yakosti, 2019. 13 s.
3. R V.2.3-218-02071168-690:2007 Rekomendatsii z tekhnolohii vykorystannia protyozhelednykh materialiv pry utrymanni mostovykh sporud ta tsementobetonnykh pokryttiv. [Chynnyi vid 2007-09-05]. Vyd. ofits. Kyiv : Derzhavna sluzhba avtomobilnykh dorih Ukrainy, 2007. 8 s.
4. Zakhyst betonnykh i zalizobetonnykh konstruktсии vid korozii. URL: <http://farbateka.com.ua/specialni-materiali/inshi-pokryttja/zahist-betonnih-i-zalizobetonnih-konstrukcij-vid.html> (data zvernennia: 11.04.2023).
5. Pluhin A.A., Pluhin A.M., Kahanovskyi O.S., Hradoboev O.V. Koloidna khimiiia ta fizyko-khimichna mekhanika yak osnova vyrobnytstva resursozberihaiuchykh mineralnykh viazhuchykh rechovyn ta vysokoefektyvnykh kompozytsiynykh materialiv

na yikh osnovi. URL: https://kart.edu.ua/wp-content/uploads/2020/06/tit_1_138.pdf (data zvernennia: 11.04.2023).

6. Chekhov A. P. Zakhyst budivelnykh konstruktсии vid korozii / A. P. Chekhov, V. M. Hlushchenko. – K. : Vyshcha shkola, 1994. – 213 s.

7. Hidrofobni betony z pokrashchenymy pokaznykamy mitsnosti, vodonepronyknosti ta morozostiikosti / T. Mazurak // Visnyk Lvivskoho natsionalnoho ahrarnoho universytetu. Serii : Arkhitektura i silskohospodarske budivnytstvo. – 2014. – № 15. – S. 94-100. URL: http://nbuv.gov.ua/UJRN/Vldau_2014_15_18 (data zvernennia: 11.04.2023).

Література

1. Більченко А.В. Довговічність залізобетонних конструкцій є основою життєвого циклу мостових споруд/ А.В.Більченко, О.Г. Кіслов, О.В. Синьковська, А.В. Ігнатенко // Науковий вісник будівництва т. 94.- № 4, Харків.- 2018. - С. 140-144.

2. ДСТУ 8853:2019 Матеріали протижезедні для автомобільних доріг. Технічні умови. [Чинний від 2020-07- 01]. Вид. офіц. Київ : Український науково-дослідний і навчальний центр проблем стандартизації, сертифікації та якості, 2019. 13 с.

3. Р В.2.3-218-02071168-690:2007 Рекомендації з технології використання протижезедних матеріалів при утриманні мостових споруд та цементобетонних покриттів. [Чинний від 2007-09-05]. Вид. офіц. Київ : Державна служба автомобільних доріг України, 2007. 8 с.

4. Захист бетонних і залізобетонних конструкцій від корозії. URL: <http://farbateka.com.ua/specialni-materiali/inshi-pokrittja/zahist-betonnih-i-zalizobeton-nih-konstrukcij-vid.html> (дата звернення: 11.04.2023).

5. Плугін А.А., Плугін А.М., Кагановський О.С., Градобоев О.В. Колоїдна хімія та фізико-хімічна механіка як основа виробництва ресурсозберігаючих мінеральних в'язучих речовин та високоефективних композиційних матеріалів на їх основі. URL: https://kart.edu.ua/wp-content/uploads/2020/06/tit_1_138.pdf (дата звернення: 11.04.2023).

6. Чехов А. П. Захист будівельних конструкцій від корозії / А. П. Чехов, В. М. Глушенко. – К. : Вища школа, 1994. – 213 с.

7. Гідрофобні бетони з покращеними показниками міцності, водонепроникності та морозостійкості / Т. Мазурак // Вісник Львівського національного аграрного університету. Серія : Архітектура і сільськогосподарське будівництво. – 2014. – № 15. – С. 94-100. URL: http://nbuv.gov.ua/UJRN/Vldau_2014_15_18 (дата звернення: 11.04.2023).

**МЕТОДИКА ЗМІЦНЕННЯ ВИРОБІВ ІЗ СКЛА ЗА ДОПОМОГОЮ
СТВОРЕННЯ ОБЛАСТЕЙ НАПРУЖЕНЬ СТИСКУ**

**THE STRENGTHENING TECHNIQUE OF GLASS PRODUCTS
BY CREATING AREAS OF COMPRESSION STRESS**

Смоляр А.М., к.т.н., доц., Мірошкіна І.В., к.т.н., доц. (Черкаський державний технологічний університет, Черкаси)

Smoliar A.M., Ph.D. in Engineering, Associate Professor, Miroschkina I.V., Ph.D. in Engineering, Associate Professor (Cherkasy State Technological University, Cherkasy)

Розроблено методику зміцнення конструктивних елементів із оптичного скла за допомогою обробки електронним променем областей поверхні цих елементів. У статті розглядається задача зміцнення сферичного меніска. Спочатку визначаються області обробки поверхні меніска, що відповідають додатнім значенням нормальних тангенціальних напружень. Потім ці області обробляються електронним променем. Зміцнення меніска зумовлене змінами в структурі матеріалу приповерхневого шару та зменшенні його об'єму.

The technique for strengthening optical glass and ceramic products has been developed. The technique involves laser or electron beam treatment of parts of the surface of these products. The article deals with a structural element of aircraft - a spherical meniscus made of optical glass. The first stage of the strengthening technique involves determining the areas of the meniscus surface treatment. The next step is to treat these areas with an electron beam.

Meniscus strengthening is caused by changes in the structure of the material of the subsurface layer by the action of the electron beam. Such a change in the material structure leads to a significant increase of its elastic modulus. In fact, a subsurface reinforcing layer is formed. The beam treatment also leads to a significant reduction of the volume of the subsurface layer. This is the result of the evaporation of the filler material from the defective cracked layer. Thus, compressive stresses are created in the material. The subsurface layer of the meniscus becomes prestressed.

The first stage of strengthening is to determine the areas of the meniscus surface treatment. These areas equivalent to the areas of the meniscus surface with normal tensile stresses, which are related to the process of crack formation and development. In this article, the problem of the theory of elasticity of a spherical meniscus was formulated and solved to obtain the distribution of normal stresses. The analysis of the stress-strain state of a spherical meniscus is realized using the application program package "Integral", which is based on the theory of axisymmetric three-dimensional bodies developed by the authors. The components of the stress tensor and the displacement vector for a centrally loaded spherical meniscus are calculated. The analysis of normal stresses has shown that tangential normal stresses have a significant

impact on the meniscus. The areas of the surface of a spherical meniscus where these normal stresses cause stretching are determined. Uncontrolled crack development with subsequent destruction of the meniscus material is possible in these areas.

The second stage of strengthening a glass spherical meniscus is to treat the meniscus surface areas with an electron beam. Treatment of the subsurface areas of tangential normal tensile stresses with an electron beam causes the formation of a prestressed area of increased strength in the meniscus subsurface layer.

Ключові слова: методика зміцнення, оптичне скло, сферичний меніск, фізико-механічні властивості, арматурний шар, область напружень стиску, електронно-променева обробка, напружено-деформований стан.

Keywords: the strengthening technique, optical glass, spherical meniscus, physical and mechanical properties, reinforcing layer, compressive stress area, electron-beam treatment, stress and strain state.

Зміцнення конструктивних елементів напруженнями стиску. Для конструкційних матеріалів, що незадовільно працюють на розтяг, використовується зміцнення напруженнями стиску. До таких матеріалів можливо віднести скло, оптичну кераміку, чавун, бетон тощо. Опір цих матеріалів нормальним напруженням розтягу значно менший, ніж стиску. До того ж, під дією напружень розтягу у крихких матеріалах виникають тріщини, що швидко розвиваються та призводять до руйнування матеріалу конструктивного елемента.

Проблема збільшення опору крихких матеріалів нормальним напруженням розтягу розглядається в даній роботі. Існує значна кількість технологій зміцнення конструкційних матеріалів та конструктивних елементів. По-перше, це технології зміцнення за рахунок змін у конструктиві об'єкта, тобто створення композиції крихких і пружних матеріалів. Наприклад, постановка металевої чи склопластикової арматури в зонах розтягу бетонних виробів [1]. Створення композиції зі скла та високоміцної плівки в ілюмінаторах, де плівка наклеюється на виріб з боку виникнення напружень розтягу [2].

Наступна група технологій зміцнення стосується геометричних параметрів конструктивних елементів. Задача зміцнення зводиться до таких змін геометрії елемента, при яких величина та область напружень розтягу значно зменшується. Прикладом може слугувати монолітна плита перекриття. Надання плиті геометрії пологої оболонки призводить до такого перерозподілу нормальних напружень, коли величина і область розподілу напружень розтягу значно зменшується. Це дозволяє зменшити товщину плити та кількість арматури. Такі плити часто називаються плитами з будівельним вигином [3].

Як групу можливо виділити технології, що базуються на збільшенні опору конструктивних елементів напруженням розтягу за рахунок

створення в них областей напружень стиску. Ефективність цих технологій можна продемонструвати на прикладі попередньо-напружених залізобетонних конструкцій. Попередньо розтягнута арматура устанавлюється в зоні дії найбільших напружень розтягу. Таким чином, формується потрібна область напружень стиску [4].

Проблема зміцнення сферичного меніска. В конструктивних елементах із скла напруження стиску в приповерхневому шарі можна отримати за допомогою технології поверхневої обробки. Прогрівання скляної поверхні лазерним чи електронним променем призводить до зміни структури приповерхневого шару. В результаті значно зростає його міцність. Також прогрівання приповерхневого шару супроводжується випаровуванням речовин із дефектного (тріщинуватого) шару, що призводить до зменшення його об'єму. Наслідком цього є формування у приповерхневому шарі напружень стиску – попередньо-напруженої області. Таким чином, обробка скляної поверхні лазерним чи електронним променем дозволяє збільшити міцність конструктивних елементів зі скла та залишити незмінною геометрію [5].

Методика зміцнення сферичного меніска. Розглянемо методику зміцнення конструктивного елемента на прикладі сферичного меніска (рис.1). Сферичний меніск може застосовуватися для захисту оптичних приладів у літальних об'єктах. Він виготовляється із оптичного скла чи кераміки. Ці конструкційні матеріали мають малий опір напруженням розтягу, тому міцність меніска обмежена. З іншого боку, робота меніска відбувається при високих швидкостях, значних теплових і динамічних навантаженнях. Все це зумовлює необхідність підвищення міцності меніска. Міцність меніска визначається його геометрією та фізико-механічними властивостями конструкційного матеріалу. Оптичні вимоги до меніска не дозволяють варіювати матеріалами та змінювати його геометрію. Застосуємо для меніска технологію зміцнення у вигляді обробки частини поверхні електронним променем [5].

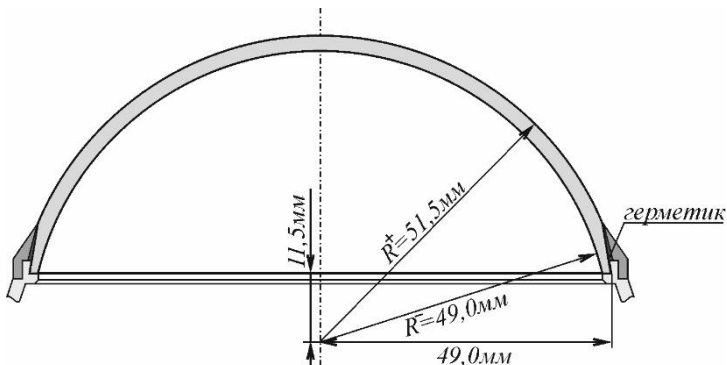


Рис. 1. Сферичний меніск з оптичного скла

Ця технологія зміцнення скляного меніска складається з двох етапів. На першому етапі на поверхнях меніска визначаються області обробки. На другому визначені області піддаються обробці електронним променем задля формування зміцненого попередньо-напруженого приповерхневого шару.

Область обробки визначається зоною дії нормальних напружень розтягу. Для обчислення її меж потрібно виконати розрахунок напружено-деформованого стану меніска.

Детально зупинимося на першому етапі зміцнення меніска. Розглянемо меніск, що відноситься до товстих сферичних оболонок (відношення його товщини до радіуса основи перевищує $1/20$). Просторовий характер напружено-деформованого стану меніска також зумовлюється важкими умовами роботи та складною структурою фізико-механічних властивостей матеріалу.

Розрахунок напружено-деформованого стану сферичного меніска не може бути виконаний аналітично. Такий розрахунок можна виконати чисельними методами, наприклад, методом скінченних елементів чи методом скінченних різниць.

Для розрахунку напружено-деформованого стану сферичного меніска пропонується використати розроблену авторами спеціалізовану теорію товстих пластин та оболонок [6]. Основою теорії є узагальнений метод скінченних інтегральних перетворень В.К. Чибірякова [7]. Чисельні розв'язки отримуються за алгоритмом ортогональної прогонки С.К. Годунова [8], що реалізований у програмному комплексі «INTEGRAL-SV» [9]. ПК «INTEGRAL-SV» дозволяє чисельне інтегрування проводити з наперед заданою точністю та контролювати збіжність і відповідність чисельних розв'язків за збіжністю граничних умов.

За розрахункову модель меніска візьмемо осесиметричну сферичну оболонку (рис. 2, товщина меніска збільшена для кращої візуалізації), яку розглядатимемо в сферичній ортогональній системі координат $\{\theta, s, r\}$.

Згідно схеми меніска, за початок координат прийнятий центр O поверхні проєктування радіусом R^0 , для якої радіус-вектор r буде паралельним твірній торцевої поверхні меніска. Щодо бокових поверхонь $r = h^-(s)$ та $r = h^+(s)$, то вони мають однозначно проєктуватися на поверхню проєктування. Незважаючи на те, що бокові поверхні мають сферичну форму з одним центром, функції $h^-(s) \neq const$ і $h^+(s) \neq const$. Це викликано неспівпадінням центрів сфер поверхні проєктування і бокових поверхонь.

Зовнішні навантаження сферичного меніска різноманітні і можуть

мати складний характер. Як приклад, розглянемо визначення області введення стискуючих напружень у випадку дії на меніск одиначної зосередженої центральної сили, що прикладена в zenіті меніска уздовж осі симетрії (рис. 2). Подібне навантаження характерне для умов експлуатації меніска, а також для проведення експериментальних досліджень його міцності [5]. По торцевій поверхні і по частині бокової $h^+(s)$ меніск прикріплюється до корпусу літального об'єкта. Про торцевій поверхні контакт оболонки з корпусом розглядаємо як жорстко-рухоме у напрямку r обпирання, а по частині бокової поверхні $h^+(s)$ як пружно-рухоме у напрямку s затиснення з коефіцієнтами пружності $k_{r,1}^+, k_{r,2}^+$.

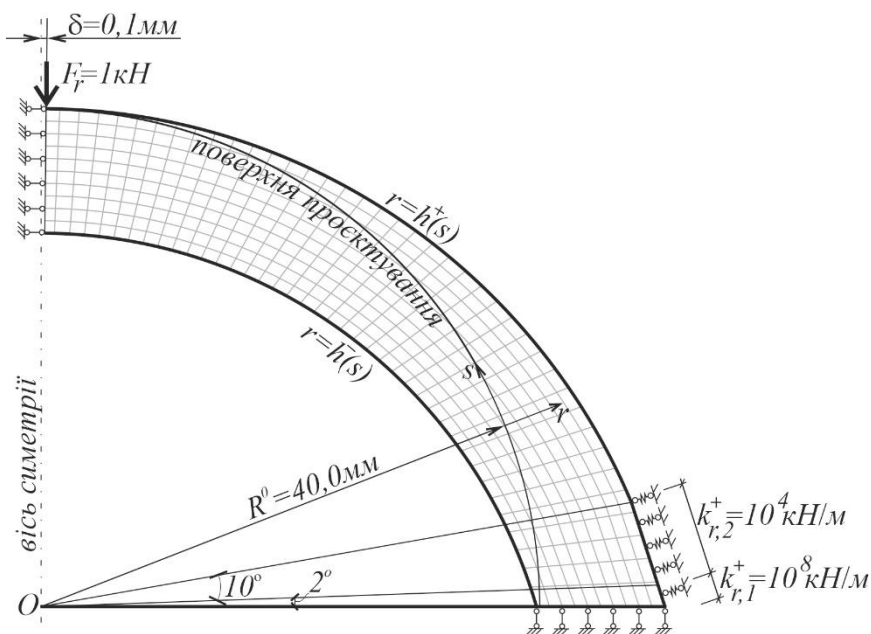


Рис. 2. Розрахункова схема сферичного меніска

Фізико-механічні характеристики скла такі: модуль пружності в поздовжньому напрямку – $E = 8,38 \cdot 10^4$ МПа, коефіцієнт поперечної пружності – $\nu = 0,23$.

Симетрія навантаження та умов закріплення поряд із геометричною симетрією дозволяє віднести меніск до осесиметричних сферичних оболонок, напружено-деформований стан яких описується рівняннями просторової теорії пружності [10]. Через симетрію напружено-

деформованого стану, достатньо розрахувати лише симетричну половину меніска, моделюючи дію відкинutoї частини жорстко-рухомим по осі симетрії затисненням.

Для розрахунку сферичного меніска застосований програмний комплекс «Інтеграл». Параметри чисельного процесу: степінь поліноміальної апроксимації $N = 6$ [11], автоматичний вибір довжини кроку інтегрування визначений абсолютною 10^{-7} та відносною 10^{-4} похибками інтегрування.

Для меніска був отриманий вектор переміщень та тензор напружень, компоненти яких візуалізовані у вигляді ізоліній. Аналіз розподілу ізоліній показує, що напружено-деформований стан меніска має просторовий характер. Похибка задоволення граничних умов на бокових поверхнях не перевищує 3%. Небезпечними для скляного меніска є додатні нормальні напруження σ_s (рис. 3). Величина цих напружень співставна зі значеннями зовнішніх сил. Додатні величини напружень σ_r та σ_θ набагато менші у порівнянні з σ_s .

Додатні напруження σ_s навантаження, що розглядається, а також і в реальних умовах експлуатації, як показують експериментальні дослідження [12], σ_s набувають у zenіті меніска на поверхні $h^-(s)$ (до 0,9 кПа).

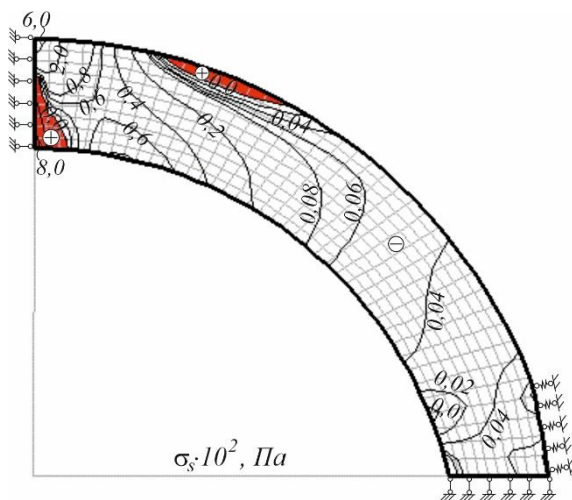


Рис. 3. Ізолінії розподілу нормальних напружень σ_s

Як видно з рис. 3, область додатніх напружень (виділено червоним кольором) на боковій поверхні $h^-(s)$ обмежується значеннями координати $s > 5,97 \cdot 10^{-2}$ м, а на $h^+(s) - 3,93 \cdot 10^{-2}$ м $\leq s \leq 5,03 \cdot 10^{-2}$ м.

Обробка електронним променем. Другий етап зміцнення скляного меніска полягає в обробці визначених областей поверхні меніска електронним променем. Результатом обробки скляної поверхні буде формування модифікованого приповерхневого шару. Модуль пружності матеріалу шару значно зростає, тому його можливо вважати арматурним шаром. Об'єм модифікованого шару скляної поверхні зменшиться, через це в ньому сформується нормальні напруження стиску, він стане попередньо-напруженим. Величина напружень стиску визначається параметрами електронного променя [13].

Висновки. Методика зміцнення скляних конструктивних елементів поверхневою обробкою складається із двох частин. Спочатку високоточним чисельним методом обчислюються області обробки. Потім визначені області обробляються електронним променем. Використання викладеної методики зміцнення призводить до формування зміцненого попередньо-напруженого приповерхневого шару. Ефект формування модифікованого шару на поверхні скла при обробці лазерним чи електронним променем дозволяє підвищити міцність скляних деталей, а також стійкість обробленої поверхні.

References

1. Blihar'skyi Z. Ya., Karkhut I. I. (2017) *Rozrakhunok i konstruiuvannia zghynanykh zalizobetonnykh elementiv* [Calculation and construction of bent reinforced concrete elements]. Lviv : Vydavnytstvo Lvivskoi politekhniki. (in Ukrainian)
2. Lynda R. Estes, *The ISS Eye on the Universe: the Verification of ISS Cupola Window Glass* // AF abstracts, 34th COSPAR Scientific Assembly, The Second World Space Congress, held 10-19 October, 2002 in Houston, TX, USA., T-P-05, meeting abstract id.876. January 2002. URL: https://www.researchgate.net/publication/252714070_The_ISS_Eye_on_the_Universe_the_Verification_of_ISS_Cupola_Window_Glass
3. Smolyar A.M., Miroshkina I.V., Yurchenko S. V. *Strain State of Zero-Deflection Plates* // Materials Science. September 2015. V. 51. I. 2. P. 276–280.
4. Pavlikov A.M. (2017) *Zalizobetonni konstruktсии: budivli, sporudy ta yikh chastyny* [Reinforced concrete structures: buildings, constructions and their elements]. Poltava : PoltNTU. (in Ukrainian)
5. Certificate of authorship 1781993 USSR. (1990) *Sposob uprochnenija izdelij iz opticheskoi keramiki* [Method for strengthening optical ceramics products]. V.N. Lisochenko, N.I. Krivenko, A.M. Smoljar, A.L. Shumskij, E.I. Bondarenko, K.Z. Jagudin. (in Russian)

6. Chybiriakov V. K., Smoliar A. M. (2002) *Teoriia товстих пластин та оболонки*. [The theory of thick plates and shells]. Cherkasy: ChDTU. (in Ukrainian)
7. Chibirjakov V.K. (1982) *Obobshchennyj metod konechnykh integral'nykh preobrazovanij v statike i dinamike netonkih plastin* [Generalized method of finite integral transformations in the statics and dynamics of thin plates]. *Soprotivlenie materialov i teoriia sooruzhenij*, 40, 90-95. (in Russian)
8. Godunov S. K. (1961) *O chislennom reshenii kraevykh zadach dlja sistem linejnykh obyknovennykh differencial'nykh uravnenij* [About numerical solution of boundary value problems for systems of linear ordinary differential equations]. *Uspеhi matematicheskikh nauk*, vol. 16, no. 3, 171–174. (in Russian)
9. Certificate of authorship 71449 Ukraine. (2017) *Kompiuterna prohrama «INTEGRAL-SV»* [Computer program "INTEGRAL-SV"]. A.M. Smoliar, I.V. Miroshkina, S.V. Yurchenko. (in Ukrainian)
10. Smoliar A.M., Miroshkina I.V. (2017) *Teoriia visesymetrychnykh prostorovykh til* [The theory of axisymmetric spatial bodies]. *Visnyk Odeskoi derzhavnoi akademii budivnytstva ta arkhitektury*, 67, 60-64. (in Ukrainian)
11. Miroshkina I.V. (1998) *Doslidzhennia stiičnosti chyslovoho rozrakhunku товстих visesymetrychnykh оболонки методом ортогональної прогонки* [Research of stability of numerical calculation of thick axisymmetric shells by the method of orthogonal running]. *Visnyk Cherkaskoho inzhenerno-tehnolohichnoho instytutu*, 3, 103-107. (in Ukrainian)
12. Kovalenko V.S., Jenani K., Arato E., Nenzo S. (1980) *K voprosu mehanizma uprochnenija materiala pri vozdeystvii nepreryvnoho lazernogo izlucheniija* [On the Mechanism of Material Hardening under the Effect of Continuous Laser Radiation]. *Jelektronnaja obrabotka materialov*, 1, 78-83. (in Russian)
13. Kotel'nikov D.I., Kanashevich G.V., Dubrovskaja G.N. (1991) *Izmenenie svojstv opticheskogo stekla posle jelektronno-luchevoj obrabotki* [Changes in the properties of optical glass after electron-beam processing]. II Vsesojuznaja konferencija «Modifikacija svojstv konstrukcionnykh materialov puchkami zarjzhennykh chastic»: tezisy dokladov (pp. 86-88). Sverdlovsk. (in Russian)

Література

1. Бліхарський З. Я., Кархут І. І. Розрахунок і конструювання згинаних залізобетонних елементів: навч. посіб. Львів: Видавництво Львівської політехніки, 2017. 188 с.
2. Lynda R. Estes, The ISS Eye on the Universe: the Verification of ISS Cupola Window Glass // AF abstracts, 34th COSPAR Scientific Assembly, The Second World Space Congress, held 10-19 October, 2002 in Houston, TX, USA., T-P-05, meeting abstract id.876. January 2002. URL: https://www.researchgate.net/publication/252714070_The_ISS_Eye_on_the_Universe_the_Verification_of_ISS_Cupola_Window_Glass

3. Smolyar A.M., Miroshkina I.V., Yurchenko S. V. Strain State of Zero-Deflection Plates // *Materials Science*. September 2015. V. 51. I. 2. P. 276–280.
4. Павліков А.М. Залізобетонні конструкції: будівлі, споруди та їх частини: Підручник. Полтава: ПолтНТУ, 2017. 284 с.
5. А.с. 1781993 СССР, МКИ С 04 В 35/00. Способ упрочнения изделий из оптической керамики: / В.Н. Лисоченко, Н.И. Кривенко, А.М. Смоляр, А.Л. Шумский, Е.И. Бондаренко, К.З. Ягудин. №°4848595/33; заявл. 09.07.90; зареестр. 15.08.92.
6. Чибіряков В. К., Смоляр А. М. Теорія товстих пластин та оболонок : Монографія. Черкаси : ЧДТУ, 2002. 160 с.
7. Чибиряков В.К. Обобщенный метод конечных интегральных преобразований в статике и динамике нетонких пластин // *Сопротивление материалов и теория сооружений*. 1982. № 40. С. 90–95.
8. Годунов С. К. О численном решении краевых задач для систем линейных обыкновенных дифференциальных уравнений // *Успехи математических наук*. 1961. Т. 16, вып. 3. С. 171–174.
9. А. с. 71449. Комп'ютерна програма «INTEGRAL-SV» / А.М. Смоляр, І.В. Мірошкіна, С.В. Юрченко. Зареестр. 14.04.2017; опубл. 28.07.17, Бюл. № 45. С. 77.
10. Смоляр А.М., Мірошкіна І.В. Теорія вісесиметричних просторових тіл // *Вісник Одеської державної академії будівництва та архітектури*. Одеса, 2017. Вип. № 67. С. 60-64.
11. Мірошкіна І.В. Дослідження стійкості числового розрахунку товстих вісесиметричних оболонок методом ортогональної прогонки // *Вісник Черкаського інженерно-технологічного інституту*. Черкаси, 1998. №3. С. 103-107.
12. Коваленко В.С., Энани К., Арато Е., Ненно С. К вопросу механизма упрочнения материала при воздействии непрерывного лазерного излучения // *Электронная обработка материалов*, 1980. №1. С. 78-83.
13. Котельников Д.И., Канашевич Г.В., Дубровская Г.Н. Изменение свойств оптического стекла после электронно-лучевой обработки // *II Всесоюзная конференция «Модификация свойств конструкционных материалов пучками заряженных частиц»: тезисы докладов*. Свердловск, 1991. С. 86-88.

КІЛЬКІСНІ ІНСТРУМЕНТИ ВИМІРЮВАННЯ ТА КЛАСИФІКАЦІЇ МІСЬКОГО ПРОСТОРУ

QUANTITATIVE TOOLS FOR MEASURING AND CLASSIFYING URBAN SPACE

Уль А.В., д.т.н., проф. (Волинський національний університет ім. Лесі Українки), Мельник Ю.А., к.т.н., доц. (Луцький національний технічний університет), Мельник О.В., к.т.н., доц. (Волинський національний університет ім. Лесі Українки)

Uhl A.V., Dr.Tech in Engineering, Professor (Lesya Ukrainka Volyn National University), Melnyk Y.A., Ph.D. in Engineering, Associate Professor (Lutsk National Technical University), Melnyk O.V., Ph.D. in Engineering, Associate Professor (Lesya Ukrainka Volyn National University),

У статті розглянуто актуальні проблеми міського середовища, проведено огляд сучасних містобудівних моделей та параметричні методи просторового аналізу, такі як Spacematrix, Spacesyntax та MIT, призначені для вивчення та аналізу різних аспектів міського середовища, зокрема, структури та взаємодії між просторовими елементами міста. Параметричні методи дозволяють із більшою точністю виявити межі морфологічних районів та описати морфотипи забудови. Тестове моделювання згідно Spacemate дає просторову візуальну інформацію про різні впливи типології будівлі на потенціал ущільнення, а також про конструктивну можливість моделювання вільного простору.

A sustainable, comfortable city can exist only if development strategies take into account not only the latest technologies and energy saving, but also the architectural and social harmony of the urban community as priority factors of influence. In order to achieve a high quality urban environment, it is necessary to comprehensively consider the spatial and architectural design of urban spaces and the structure of the city, as well as to take into account the contextual conditions of their environment. The process of urban development is interactive and complex, requiring analysis of available resources, collection of empirical data, and identification of quantitative opportunities for spatial development. The article discusses the current problems of the urban environment, reviews modern urban planning models and parametric methods of spatial analysis, such as Spacematrix, Spacesyntax and MIT, designed to study and analyze various aspects of the urban environment, including the structure and interaction between the spatial elements of the city. Parametric methods allow to identify the boundaries of

morphological areas and describe building morphotypes with greater accuracy. Spacemate test modeling provides spatial visual information about the different effects of building typology on the compaction potential, as well as the design possibility of modeling free space. Spacematrix and MXI are powerful tools that allow solving many different urban planning tasks, such as analyzing urban development, assessing the development of urban areas, determining the potential for urban development, and developing strategies for future urban development. The use of Spacematrix, Spacesyntax, and MXI as tools for the objective description of urban development can be an important step in the development of evidence-based urban planning in Ukraine, facilitate the development of local urban planning strategies and the adoption of solutions between cities and countries, and help improve urban policies and strategies to achieve sustainable urban development.

Ключові слова: міське середовище, просторовий аналіз, Spacematrix, Spacesyntax, Mixed Use Index

Keywords: urban environment, spatial analysis. Spacematrix, Spacesyntax, Mixed Use Index

Вступ. Стале, комфортне місто може існувати тільки за умови, що стратегії розвитку враховують не тільки новітні технології та енергозбереження, але й архітектурну та соціальну гармонію міської спільноти як пріоритетні фактори впливу. Для досягнення високої якості міського середовища, необхідно всебічно розглядати просторово-архітектурний дизайн міських просторів та структуру міста, а також враховувати контекстові умови їх оточення. Процес розвитку міських просторів є інтерактивним та складним, що вимагає аналізу наявних ресурсів, збору емпіричних даних та виявлення кількісних можливостей просторового розвитку.

Наразі наявні планувальні інструменти та програмні засоби спрямовані переважно на зовнішній розвиток, тобто будівництво на нових територіях, і для внутрішнього розвитку їх можливості є обмеженими, що часто призводить до довготривалих, неструктурованих та імпровізованих процесів. Крім того, у практиці містобудування часто виникають протиріччя між вищезазначеними цілями, такими як більш ефективне використання земельних ресурсів, охорона навколишнього середовища та відповідність планувальному законодавству.

Успішне досягнення високої якості міського середовища потребує гolistичного підходу до проектування та планування міських просторів, з урахуванням контексту та взаємодії між міськими елементами та їх оточенням.

У багатьох країнах, включаючи нашу, процес розробки міських стратегій та політик ґрунтується на аналітичній оцінці території, але такий підхід може містити високий ступінь суб'єктивності. Тому, для

забезпечення більш об'єктивної оцінки, актуальним завданням є використання параметричних методів тестування. Серед таких методів, які відповідають критеріям цього завдання, можна виділити Spacematrix, Spacesyntax та МІТ, які дозволяють вирішувати безліч різних містобудівних завдань. Уся історія містобудівного розвитку пов'язана з регулюванням у тій чи іншій формі щільності забудови. Правильне співвідношення між забудованими та вільними просторами має вирішальне значення для розвитку міста.

Основними цінними показником міської забудови надалі залишаються показники щільності. Дослідники називають інтегроване поняття «щільність» житлового фонду чи населення основним укрупненим критерієм інтенсивності використання території та якості міського середовища.

Повторне використання, трансформація та ущільнення існуючих будівель, а збереження архітектурної спадщини є давно визнаними стратегіями сталого розвитку, але досі, в основному, застосовувалися для окремих ділянок та будівель, але не на більш масштабному рівні мікрорайону чи району. Містобудівна трансформація населених пунктів, груп будівель або міських кварталів із збереженням існуючої забудови є не лише перевіреним і випробуваним засобом усунення дефіциту міської інфраструктури і покращення життєвого середовища.

Аналіз останніх досліджень

Зв'язок між щільністю міст, витратами на інфраструктуру та споживанням енергії є добре відомим фактом і навряд чи викликає сумнів у фахівців, залучених до міського та регіонального планування, то про конкретний потенціал міст і типологій поселень різних стилів та епох забудови у контексті ущільнення на даний час досліджень мало. Це означає, що на даний час бракує детальних методів та інструментів визначення кількісного потенціалу просторового контексту збудованої міської структури, та її ущільнення.

Ефект синергії та стійкості міських поселень досліджено в роботі [1], дослідженню морфотипів міської забудови присвячені роботи [2–4]. Тенденції розвитку морфології міської забудови в умовах підвищення щільності відображено у роботі [5]. Питаннями сприятливих умов довкілля та житлової забудови займалися [6–8].

Дослідження щільності міської забудови та її практична апробація забудови виконано в дисертаційному дослідженні [9].

Постановка завдання

Методологія дослідження включає в себе огляд новітніх інструментів досліджень взаємозв'язку щільності з типологічними характеристиками міського середовища, вибір та опис перспективної для цілей дослідження наукової методики.

Завдання дослідження - показати, як просторові ефекти впливають на якість стандартних економетричних моделей у міському контексті.

Виклад основного матеріалу

Перефразовуючи відомий вислів давньогрецького історика Фукідида: "Місто - це люди, а не стіни", можна сказати, що "місто-це люди , а не будинки". Цей вислів виражає фундаментальне розуміння міста як спільноти людей, підкреслює важливість людей як головного елементу міста, наголошуючи на їхньому значенні, потребах та ролі в створенні комфортного міського середовища. Місто не обмежується лише фізичними будівлями, вулицями та інфраструктурою, але є складним соціальним організмом, де люди взаємодіють, працюють, проживають, спілкуються та формують культурну спадщину. Місто надає жителям унікальні можливості для самореалізації, але вимагає також участі в складній системі взаємодії, спільного прийняття рішень, розробки складних норм та правил співжиття, пошуку взаємовигідних компромісів.

Протягом минулого століття і в перші десятиліття ХХІ століття відбувалось постійне зростання населення в містах, проте низька щільність забудови міст призвела до їх надмірного розростання, поганій транспортної доступності, економічної та екологічної неефективності, а висока щільність забудови також порушувала фізіологічний комфорт мешканців. Відсутність достатньої кількості громадських просторів і класичних елементів міського планування в їх традиційному розумінні серйозно обмежує «зручність використання» та освоєння міських територій, а отже, зрештою, також ідентифікацію жителів з їхнім середовищем. Інструменти планування та програмні засоби, доступні на сьогоднішній день, спрямовані в основному на нове будівництво на вільних від забудови територіях. Хоча повторне використання, трансформація та ущільнення існуючих будівель, збереження архітектурної спадщини є давно визнаними стратегіями сталого розвитку, але досі застосовувалися, в основному, для певних ділянок та споруд на рівні окремого мікрорайону чи району.

Крім того, у практиці просторового планування часто виникають протиріччя між головними цілями, такими як більш ефективно землекористування, охорона навколишнього середовища та чинним законодавством щодо планування та забудови.

На даний час містобудівна трансформація населених пунктів набуває значення як стратегія ущільнення, і, в майбутньому, стане важливою частиною енерго-орієнтованого просторового планування для підвищення енергоефективності та ресурсозбереження, для якого необхідно розробляти концепції, стратегії впровадження, а також системи контролю та правового регулювання.

В даний час в практиці закордонного містобудування існує декілька актуальних інструментів просторового аналізу міської забудови: Spacematrix - фокусується на різних типах міської тканини та її щільності, Spacesyntax має справу зі зв'язаністю вулично-дорожньої мережі та МХІ (Mixed Use Index) - модель змішаного використання урбанізованого простору,- працює з балансом та змішаністю функцій, таких як житло, робота та послуги.

Spacematrix- це аналітичний інструмент просторового аналізу, який поєднав синтаксичний аналіз морфології міського простору із новими методами вимірювання щільності з метою дослідження взаємозв'язку об'ємно-просторової структури забудови та її щільності . У морфології, насамперед ,розглядаються конфігураційні речі: як елементи міського середовища :вулиці, будівлі, земельні ділянки та як вони співвідносяться .

Інструмент Spacematrix, викладений у роботі [10], пропонує кількісний опис щільності та форми міського середовища, відповідаючи на такі питання:

- Які параметри міського простору вважаються комфортними щодо щільності?
- Які фактори визначають межі максимальної щільності та параметри, які її описують?
- Як впливає щільність на форму міського середовища?
- Чи існує взаємозв'язок між параметрами щільності, морфологією забудови та типами житлового середовища?

Просторова матриця кількісно описує комбіновану інтенсивність забудови, її компактність та висоту та незабудовані простори, які можуть бути застосовані ефективніше, ніж раніше, для диференціації міських форм [11].

Методика Spacematrix є альтернативою експертній аналітиці, оскільки при класифікації морфотипів використовують певні параметри, такі, як площа земельних ділянок, поверховість будівель та площа житлових приміщень, які можна точно виміряти.

Ця методика дозволяє виявляти морфологічні типи забудови шляхом поєднання різних видів щільності, що відображаються на загальній діаграмі. Території, які знаходяться поряд одна з одною на діаграмі та утворюють щільний кластер точок, можна розглядати як єдиний морфологічний тип забудови. Отже, морфотипи характеризуються не просто набором параметрів, але складним набором граничних параметрів, і невелика кількість параметрів дозволяє виключити надто дрібні виділення типів. Модель характеризує ступінь поєднання трьох основних функцій: ділової, житлової та рекреаційної – у межах певної території і використовує графові моделі для вивчення способу, яким люди взаємодіють із міським простором, зокрема, з урахуванням зв'язків між вулицями, кварталами та будівлями. Spacematrix дозволяє оцінити рівень

доступності різних ділянок міста, їх функціональну роль і забезпечує можливість визначення потенціалу розвитку окремих територій.

Окрім того, система Spacematrix дозволяє із заданих значень щільності отримати об'ємно-просторові рішення забудови та визначити місткість та характеристики навколишнього вільного простору, такі, як інсоляція, провітрюваність, шумозахист, приватність і проникність простору та можливі функції вільного простору та забудови, проте для цього потрібно приведення описаних методик до українських нормативних документів.

Інструмент Spacematrix дозволяє отримати кількісну інформацію про міське середовище за допомогою набору індексів, які базуються на чотирьох основних параметрах: FSI, GSI, L, OSR (в м²/га) у чотирьох масштабах: ділянка, квартал, міська забудова, та район [11]. Розглянемо ці показники.

FSI (Floor Space Index/Building Intensity) - коефіцієнт щільності забудови ділянки (коефіцієнт використання території). Показник характеризує інтенсивність забудови ділянки і відображає відношення загальної площі основи в межах зовнішнього периметра конструкцій будівель (F) до площі ділянки (A). Розраховується за формулою:

$$FSI = \frac{F}{A} \quad (1)$$

GSI (Ground Space Index/ Building Coverage) - коефіцієнт забудови, також відомий як Building Coverage (покриття будівлями) або просто Coverage (покриття) і використовується для визначення ступеня використання земельної ділянки будівлями, показує співвідношення між забудованим та незабудованим простором на ділянці, дозволяє оцінити щільність забудови на певній території. Коефіцієнт щільності забудови, також відомий як міра інтенсивності використання території, розраховується як відношення площі всіх будівель на ділянці (B) до площі ділянки (A) в м²:

$$GSI = \frac{B}{A} \quad (2)$$

Високе значення GSI вказує на високу щільність забудови, коли багато будівель розташовані на невеликій площі землі, а низьке значення GSI вказує на низьку щільність забудови, коли мало будівель розташовані на великій площі землі. Коефіцієнт забудови практично можна визначити для будь-якої великої території: міста, сукупності кварталів одного морфотипу, так і для окремих кварталів.

L (Layers/Building height)- середня поверховість (або рівнів), розраховується шляхом поділу коефіцієнта інтенсивності (FSI) на коефіцієнт забудови (GSI) ділянки:

$$L = \frac{FSI}{GSI} \quad (3)$$

OSR (Open Space Ratio/Spaciousness) індекс відкритого простору, визначає забезпеченість зовнішнім простором і навантаження на незабудований простір. Є мірою кількості незабудованого простору на рівні землі до загальної площі забудови:

$$OSR = \frac{1 - GSI}{FSI} \quad (4)$$

Репрезентативна діаграма параметрів щільності, які використовуються в «Spacemate», представлена на рис. 1

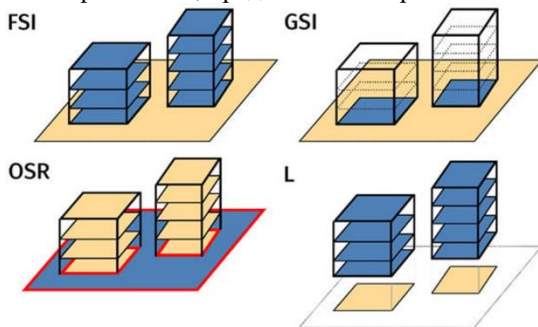


Рис. 1. Репрезентативна діаграма різних параметрів щільності, що використовуються в «Spacemate»

З цих параметрів можна вивести такі показники, як радіус відкритого простору (OSR) або простір, середня кількість поверхів або шарів (L) і розмір міських кварталів (w).

Основний результат дослідження щільності міської забудови було виражено у вигляді діаграми, що демонструє взаємозв'язок цих чотирьох характеристик у площині FSI-GSI. Значення основних параметрів забудови було отримано під час моделювання 46 ділянок міської забудови (рис. 2).

Морфотипи забудови: А – точкова малоповерхова, В - стрічкова малоповерхова, С- малоповерхова квартално-рядова, D - малоповерхова кварталного типу, Е - середньоповерхова рядова, F - середньоповерхова квартално-рядова, G - середньоповерхова квартална, Н - багатоповерховий точково-рядовий тип. Три основні морфотипи забудови кварталів: малоповерхова, середньої поверховості та багатоповерхова забудова.

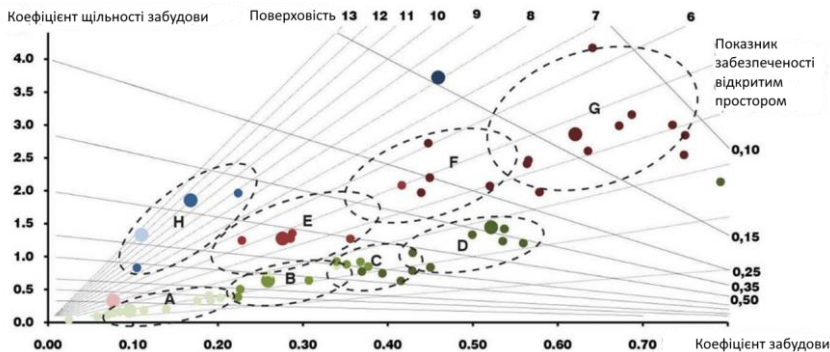


Рис. 2. Розподіл кластерів Spacematrix у площині FSI-GSI, [11]

На графіку по осі X відображено значення коефіцієнта GSI (індекс площі відкритих просторів), а по осі Y – значення коефіцієнта FSI (щільність забудови). Значення середньої поверховості та коефіцієнта забезпеченості зовнішнім простором показані діагональними лініями, що ділять графік на сектори. Це дозволяє швидше та наочніше (без виконання розрахунку за допомогою наведених вище формул) визначати середню поверховість та забезпеченість зовнішнім простором. Графік дозволяє за формою забудови визначити коефіцієнт щільності забудови та, відповідно, щільність населення.

Кількісні показники щільності, зібрані на основі відкритих даних для кварталів з характерними просторовими характеристиками забудови, дозволили виділити на діаграмі Spacemate вісім основних морфотипів забудови, а також три основні морфотипи забудови кварталів.

Зони з високим показником FSI та GSI (позначені кластерами з літерою «G») вказують на міські райони з середньоповерховими будівлями, де переважає периметральна забудова. На іншому боці кластеру розташовані міські райони з низьким FSI та GSI (позначені кластером «A»), сформовані одноповерховою забудовою із прибудинковими територіями. Кластери «H» з високим FSI, але низьким GSI, вказують на висотну забудову, оточену відкритими просторами [11].

Навпаки, міські райони з високим GSI, але низьким FSI (позначені кластером «D»), зазвичай складаються із малоповерхових будинків з невеликими садами, але тут також можуть розташовуватися промислові зони. Тестове моделювання засобами Spacemate дає просторову візуальну інформацію про різні впливи типології будівлі на потенціал ущільнення, а також про конструктивну можливість моделювання вільного простору. Поєднання діаграми Spacemate із містобудівною схемою дає найбільш конкретний та зрозумілий результат процедури аналізу забудови. Застосовуючи інструмент Spacematrix для опису щільності забудови (FSI)

при різних типах міської забудови на 1 гектар при однаковій щільності - 75 квартир загальною площею 100 м^2 на квартиру, отримуємо однаковий індекс FSI для всіх варіантів, але з різними значеннями GSI: для першого варіанту малоповерхової забудови індекс GSI відносно високий; для середньоповерхової забудови індекс GSI має оптимальне значення; для третього варіанту - високоповерхова забудова із низьким коефіцієнтом забудови. Хоча всі приклади забудови мають один і той же індекс FSI, їх позиція на діаграмі Spacematrix різниться через різні значення коефіцієнтів GSI, OSR і L. На рис. 3 наведено три приклади, наскільки по-різному може виглядати територія при одній і тій же щільності забудови - 75 квартир на гектар.

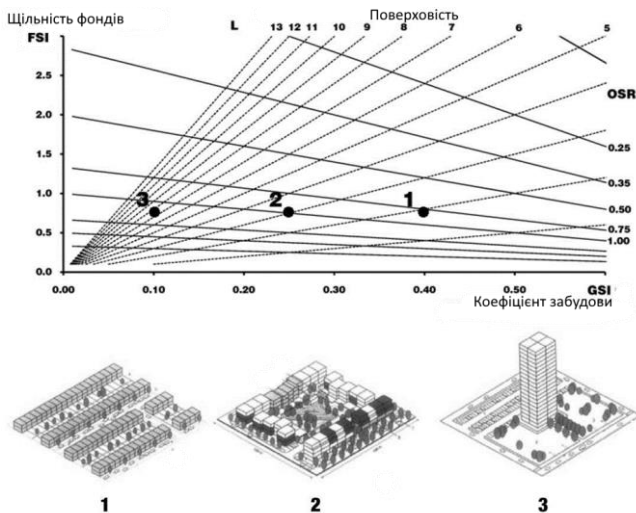


Рис. 3. Положення трьох варіантів забудови на діаграмі Spacematrix

Методика дозволяє також оцінювати поєднання щільності вулично-дорожньої мережі (N) з площею мережі та середньою шириною вулиці [12]. Також у Spacematrix можуть заноситись граничні параметри містобудівних регламентів, що дозволяє розрахувати можливий прибуток від будівництва нерухомості. На основі даних про площу забудови та поверховості можна визначити загальну житлову площу на території. Важливо, що коефіцієнт щільності забудови, коефіцієнт забудови, середня поверховість та коефіцієнт забезпеченості зовнішнім простором є взаємозалежними показниками. Знаючи два з них, за графіком можна визначити решту показників.

Окрім вищеперерахованих параметрів, методика Spacematrix дозволяє проводити оцінку будь-яких фізичних параметрів, дотично пов'язаних із описаними в матриці. До них можна віднести такі параметри, як інсоляція

та потреба у паркувальному просторі (пов'язане зі щільністю вулично-дорожньої мережі та щільністю забудови), проте для цього потрібно приведення описаних методик до діючих державних будівельних норм. Звичайно, ці багатомірні параметри щільності не можуть вичерпно описати місто, але вони все ж виражають набагато більше, ніж найпоширеніший в Україні показник міської забудови – щільність забудови.

Spacesyntax - це ще один аналітичний інструмент, розроблений Біллом Хіллером та його колегами з Університетського коледжу Лондона (Велика Британія), використовує графовий підхід для аналізу структури міської забудови і дозволяє розрахувати ступінь інтеграції вулично-дорожньої мережі між міськими кварталами за допомогою топологічної та геометричної відстані у поєднанні з метричними показниками.

Цей метод включає розрахунок конфігураційних просторових відносин у штучному середовищі та дозволяє обчислити ступінь інтеграції вулично-дорожньої мережі між міськими кварталами з погляду топологічної та геометричної відстані у поєднанні з метричними радіусами. Аналіз просторового синтаксису міста включає чотири аспекти. По-перше, це спосіб зображення міського простору. По-друге, це низка методів аналізу міста як зв'язаної мережі. По-третє, це набір методів спостереження, які вивчають, як ці просторові мережі співвідносяться з функціональними моделями, такими як переміщення, землекористування, диференціація територій, моделі міграції і соціальне благополуччя. По-четверте, Spacesyntax дозволив створити набір теорій про взаємозв'язки міських просторів з соціальними, економічними та когнітивними факторами, які впливають на них та формують їх. Spacesyntax дозволяє оцінювати рівень доступності, конективність та взаємодію різних зон міста, а також впливи на рух пішоходів та транспорту.

Дослідження Spacesyntax показали існування значної кореляції між пішохідним рухом та конфігурацією вуличної мережі. Наприклад, багатофункціональні райони часто розташовуються уздовж магістралей з високими показниками інтеграції вулично-дорожньої мережі та мають високу щільність забудови. Spacesyntax допомагає визначити рівень доступності та привабливості різних міських ділянок, а також прогнозувати потенціал розвитку в майбутньому [13].

Результати аналізу можна використовувати для виявлення вулиць або областей, які є основними місцями тяжіння або каталізаторами соціального та економічного життя. Також на основі результатів аналізу можна визначити потенційно успішні міські території. Цей метод використовувався в багатьох містах світу, що сприяло створенню обширної бази даних.

Практична апробація інструменту Spacesyntax була здійснена командою Space Syntax Limited при розробці просторового плану розвитку міста Астани (Казахстан).

Аналіз та проектування території інструментом Spacesyntax здійснюється за наступним алгоритмом:

1. Визначення шумового забруднення. На цьому етапі визначають найкращий напрямок для зростання нових районів міста. Насамперед аналізується ступінь шумового забруднення від прилеглих автомагістралей.

2. Визначення ризику повеней. На карти наносяться зони з високим рівнем ризику затоплення та підтоплення.

3. Визначення високоякісного ландшафтного та ґрунтового середовища. Важливо, щоб забудова не зачіпала зони з високоякісними ґрунтами та існуючими зеленими насадженнями, які будуть збережені та інтегровані в нову забудову..

4. Комбінування чутливих параметрів. Шляхом накладання отримують карту, яка відображає освоєні та неосвоєні ділянки досліджуваної території, пофарбовані в червоний і жовтий кольори відповідно.

5. Моделювання головної сітки вулиць за допомогою алгоритмів. Компанія Space Syntax використовувала агентне моделювання з метою отримати найкоротші та найпростіші лінії пересування від існуючої забудови до нових ділянок і, таким чином, вдосконалити існуючу та розробити нову вуличну мережу. Вторинні та третинні сітки вулиць визначають за алгоритмами оптимізації. На кожному етапі можна змінити налаштування щільності, коефіцієнти площі забудови, ширину та глибину ділянок для створення алгоритмами різних опцій кінцевого плану.



Рис. 4. Ілюстрація алгоритму на різних етапах

На кінцевому розробляється кілька типологій забудови. Більш комерційна – висока, щільна – виділена червоним кольором. Щільна житлова забудова відзначена помаранчевим, а менш щільні райони з віллами забарвлені у жовтий колір.

Аналіз для десятків міст методом Spacesyntax показав, що всі старі міста, що добре зарекомендували себе, мають схожі схеми просторового планування. Успішна модель у будь-якій міській зоні має ядро червоного простору.

Модель змішаного використання MXI (Mixed Use Index) є аналітичною моделлю, розробленою в Массачусетському технологічному інституті (MIT) і призначена для оцінки рівня функціонального розмаїття міського середовища. Вона базується на концепції змішаного використання земель, яка передбачає поєднання різних функціональних типів в одному місці, таких, як житлові, комерційні, офісні, рекреаційні та інші зони.

Міські райони, які мають лише одну функцію, наприклад, житлові райони, місця прикладання праці (промислові зони чи офісні парки) або зон відпочинку (розваги, такі як спорт, шопінг тощо), визначаються як монофункціональні (mono-functional). Міські території є бі-функціональними (bi-functional) там, де наявні дві з цих трьох функцій, і багатофункціональними, коли присутні всі три функції. Ван дер Хук розробив трикутну матрицю (рис. 5), в якій можна кількісно визначати ступінь монофункціональності по відношенню до багатофункціональності [14].

MXI використовує різні кількісні показники, такі, як площа, інтенсивність використання, розташування та розподіл різних функціональних типів на певній території міста. Ці показники аналізуються та оцінюються з метою визначення рівня розмаїття функцій у місті. Високий рівень MXI вказує на наявність різноманітних функціональних типів на території міста, тоді як низький рівень може свідчити про однотипність використання земель або відсутність різноманіття функцій.

Інший підхід до вимірювання функціонального балансу полягає у вивченні співвідношення лише двох функцій: житлової та нежитлової. Території з показником $MXI = 0$ можна вважати абсолютно нежитловими, при $MXI = 100\%$ - повністю заселеними. Відповідно, співвідношення 50/50 характеризує максимум функціональності [14]. Порівняльний аналіз щільності фондів, інтеграції мережі та функціонального балансу був проведений для північної частини Роттердама і описаний в роботі [13].

Результати проведеного аналізу показали, що існує кореляція між багатофункціональністю, щільністю та просторовою інтеграцією.

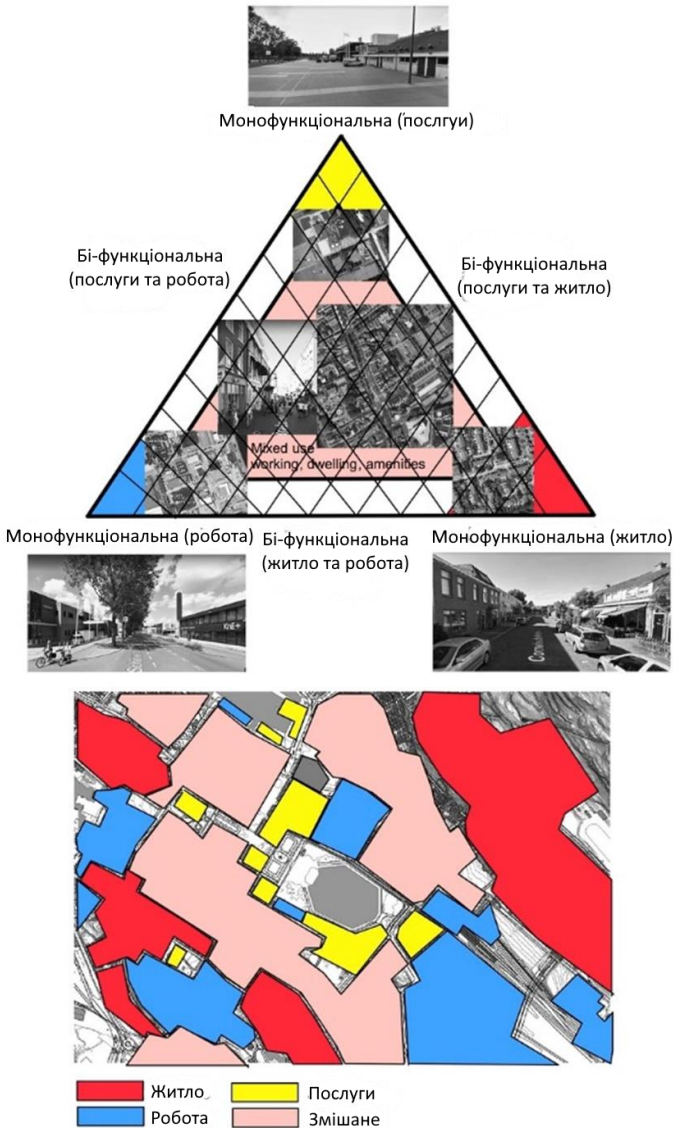


Рис. 5. Трикутник Mixed Use Index індексу змішаного використання, застосований до центру Бергена (Норвегія)

Зокрема, райони з високим рівнем просторової інтеграції (пов'язаність вулично-дорожньої мережі) та високою щільністю, зазвичай є

сильно урбанізованими та мають високий ступінь функціонального розмаїття. Райони з низькою щільністю та низькою просторовою інтеграцією, навпаки, відносяться до приміських зон і мають низький ступінь функціональної змішаності [13].

Цей метод корисний для візуалізації ступеня монофункціональності порівняно з багатофункціональністю міських районів. Іншими словами, аналіз МХІ показує ступінь різноманітності землекористування міських територій і є ефективним інструментом для оцінки потенціалу розвитку міських середовищ. Вона використовується для оцінки містобудівних проєктів та виявлення зон, які потребують перетворень. Однак, питання виникає, як ця комбінація моделей працює в забудові з низькою щільністю та обмеженнями, пов'язаними зі збереженням та використанням урбанізованих територій [15].

Висновки

У багатьох країнах, включаючи нашу, процес розробки міських стратегій та політик ґрунтується на аналітичній оцінці території, але такий підхід може містити високий ступінь суб'єктивності. Тому, для забезпечення більш об'єктивної оцінки, актуальним завданням є використання параметричних методів тестування. Серед таких методів, які відповідають критеріям цього завдання, можна виділити Spacematrix і МХІ.

Spacematrix і МХІ є потужними інструментами, які дозволяють розв'язувати безліч різних містобудівних завдань, таких, як аналіз міської забудови, оцінка розвитку міських територій, визначення потенціалу містобудівного розвитку та розробка стратегій для майбутнього розвитку міст. Вони дозволяють враховувати низку параметрів, таких, як розташування, доступність і забезпеченість інфраструктурою, густина населення, економічний потенціал та інші, що сприяє більш об'єктивному аналізу міських територій.

На жаль, в Україні використання цих методів є обмеженим і спорадичним, та є потенціал для подальшого вивчення та застосування цих інструментів у процесі розробки містобудівних стратегій та політик. Впровадження цих інструментів у процес розробки містобудівних стратегій дозволить забезпечити більш об'єктивний підхід до оцінки міських територій, зробити рішення щодо містобудівного розвитку більш фактично обґрунтованими та науково обґрунтованими. Це дозволить уникнути суб'єктивних впливів та випадковості при визначенні пріоритетів у розвитку міст та розробці міських стратегій.

Отже, застосування Spacematrix, Spacesyntax та МХІ як інструментів об'єктивного опису забудови міст може стати важливим кроком у розвитку науково обґрунтованого містобудування в Україні, сприяти розробці локальних містобудівних стратегій та запозиченні рішень між містами та

країнами, допомогти вдосконалити міські політики та стратегії для досягнення сталого розвитку міст.

References

1. DFC Strategic Framework | Detroit Future City: URL: <https://detroitfuturecity.com/resources/strategic-framework/> (дата звернення: 10.05.23).
2. Muratori, S., *Storia Urbanistica* (Rom), C. S. di. Architettura e civiltà in crisi: Centro Studi di Storia Urbanistica, 1963.
3. Cataldi, G., Maffei, G., Vaccaro, P. Saverio Muratori and the Italian school of planning typology. *Urban Morphology*. 2002. Vol. 6.
4. Cataldi, G., Formichi, F., città e del territorio, P. (Italy). M. della. Pienza forma urbis: materiali per il Museo della città e del territorio: Aión, 2007.
5. Idak Yu.V. Osnovy` teoriyi morfologiyi mista: dy`sertaciya na zdobuttya naukovogo stupenya doktora arhitektury` : 18.00.01 – teoriya arhitektury`, restavraciya pam'yatok arhitektury`: L`viv: Ministerstvo osvity` i nauky` Ukrainy`, Nacional`ny`j universy`tet «L`vivs`ka politexnika», 2020. 473 s.
6. Berghauser Pont, M., Haupt, P. A. The relation between urban form and density. *Urban Morphology*. 2007. Vol. 11. C. 62–65.
7. Pleshkanovs`ka A., Savchenko D. Epoxy` ta mista: Ky`yiv: Logos, 2019.
8. Yamu, C., Nes, A. Van. An Integrated Modeling Approach Combining Multifractal Urban Planning with a Space Syntax Perspective. *Urban Science*. 2017. Vol. 1, No. 4.
9. Kony`k, S. I. Ushhil`nennya zabudovy` tery`toriyi istory`chno sformovany`x mist (na pry`kladi L`vova): dy`sertaciya na zdobuttya naukovogo stupenya doktora filosofiyi : 191 – arhitektura ta mistobuduvannya: L`viv: Ministerstvo osvity` i nauky` Ukrainy`, Nacional`ny`j universy`tet «L`vivs`ka politexnika», 2021. 306с.
10. Berghauser Pont, M. Y., Haupt, P. A. Space, Density and Urban Form / 2009.
11. Rådberg, J. Towards a Theory of Sustainability and Urban Quality A New Method for Typological Urban Classification02.
12. Pont, M. B., Haupt, P. Spacematrix: Space, Density and Urban Form: NAI, 2010.
13. Nes, A., Berghauser Pont, M., Mashhoodi, B. Combination of Space syntax with spacematrix and the mixed use index: The Rotterdam South test case. *Anesthesiology*. 2012.
14. Hoek, J. van den. The MXI (Mixed-use Index) as Tool for Urban Planning and Analysis / 2008. 1–15 p.
15. Nes, A., Laag Yamu, C. van der. Introduction to Space Syntax in Urban Studies: 2021.

Література

1. DFC Strategic Framework | Detroit Future City: URL: <https://detroitfuturecity.com/resources/strategic-framework/> (дата звернення: 10.05.23).

2. Muratori, S., *Storia Urbanistica* (Rom), C. S. di. Architettura e civiltà in crisi: Centro Studi di Storia Urbanistica, 1963.
3. Cataldi, G., Maffei, G., Vaccaro, P. Saverio Muratori and the Italian school of planning typology. *Urban Morphology*. 2002. Vol. 6.
4. Cataldi, G., Formichi, F., città e del territorio, P. (Italy). M. della. Pienza forma urbis: materiali per il Museo della città e del territorio: Aión, 2007.
5. Ідак Ю.В. Основи теорії морфології міста: дисертація на здобуття наукового ступеня доктора архітектури : 18.00.01 – теорія архітектури, реставрація пам'яток архітектури: Львів: Міністерство освіти і науки України, Національний університет «Львівська політехніка», 2020. 473с.
6. Berghauser Pont, M., Haupt, P. A. The relation between urban form and density. *Urban Morphology*. 2007. Vol. 11. С. 62–65.
7. Плешкановська А., Савченко Д. Епохи та міста: Київ: Логос, 2019.
8. Yamu, C., Nes, A. Van. An Integrated Modeling Approach Combining Multifractal Urban Planning with a Space Syntax Perspective. *Urban Science*. 2017. Vol. 1, No. 4.
9. Коник, С. І. Ущільнення забудови території історично сформованих міст (на прикладі Львова): дисертація на здобуття наукового ступеня доктора філософії : 191 – архітектура та містобудування: Львів: Міністерство освіти і науки України, Національний університет «Львівська політехніка», 2021. 306с.
10. Berghauser Pont, M. Y., Haupt, P. A. *Space, Density and Urban Form* / 2009.
11. Rådberg, J. *Towards a Theory of Sustainability and Urban Quality A New Method for Typological Urban Classification*02.
12. Pont, M. B., Haupt, P. *Spacematrix: Space, Density and Urban Form: NAI*, 2010.
13. Nes, A., Berghauser Pont, M., Mashhoodi, B. *Combination of Space syntax with spacematrix and the mixed use index: The Rotterdam South test case. Anesthesiology*. 2012.
14. Hoek, J. van den. *The MXI (Mixed-use Index) as Tool for Urban Planning and Analysis* / 2008. 1–15 p.
15. Nes, A., Laag Yamu, C. van der. *Introduction to Space Syntax in Urban Studies*: 2021.

**ЗНИЖЕННЯ АГРЕСИВНОГО ВПЛИВУ ПРОТИОЖЕЛЕДНИХ
МАТЕРІАЛІВ НА АСФАЛЬТОБЕТОННЕ ПОКРИТТЯ ПРИ
ЗИМОВОМУ УТРИМАННІ АВТОМОБІЛЬНИХ ДОРІГ**

**REDUCTION OF THE AGGRESSIVE INFLUENCE OF ANTI-ICE
MATERIALS ON ASPHALT CONCRETE SURFACES DURING THE
WINTER MAINTENANCE OF AUTOMOBILE ROADS**

Фоменко О.О., асис. (Харківський національний автомобільно-дорожній університет), Седов А.В., к.т.н., доц. (Харківський національний автомобільно-дорожній університет)

Fomenko O.O., assistant (Kharkiv National Automobile and Road University), Siedov A.V., Ph.D., assoc. (Kharkiv National Automobile and Road University)

Проаналізовані причини зниження терміну служби дорожніх покриттів, що пов'язані з недостатньою корозійною стійкістю застосовуваних асфальтобетонів. Стійкість асфальтобетонного покриття по відношенню до дії агресивних середовищ визначається властивостями в'язучого, ступенем насичення і набрякання асфальтобетону, коефіцієнтом дифузії, стійкістю до агресивного середовища мінерального матеріалу. Одночасно дія динамічних навантажень сприяє ще інтенсивнішому проникненню агресивних середовищ всередину структури матеріалу. Зроблений висновок, що для підвищення довговічності асфальтобетонного покриття, крім додавання інгібіторів корозії в склад протиожеледних матеріалів, потрібно наносити на поверхню покриття просочувальний матеріал, який буде запечатувати мікротріщини в товщі асфальтобетонного покриття.

Factors affecting the service life of road surfaces are analyzed. The stability of an asphalt concrete coating in relation to aggressive environments is determined by the ability of bitumen to resist an aggressive environment, the degree of saturation and swelling in an aggressive environment, the diffusion coefficient, which characterizes the rate of penetration of the environment into the coating, the resistance of the mineral material to an aggressive environment, and the preservation of the strength of asphalt concrete. At the same time, the action of dynamic loads contributes to even more intense penetration of aggressive environments into the structure of the material and thereby significantly reduces the fatigue life of asphalt concrete. The diffusion process is especially intensified with an increase in the concentration of water-soluble substances, and the diffusing water is able to wash them out of the bitumen, giving it a cavernous structure at low temperatures. The analysis of the research made it possible to establish the following: the impact of aggressive environments of anti-icing materials largely depends on the concentration of the solution; an increase in the concentration of the

chloride solution to 10 % reduces the number of load cycles to failure by 6 times. The nature of the curves shows that at concentrations in the range from 0% to 5% there is a sharp decrease in the number of load cycles before failure. In the interval of 5-10%, this process slows down. However, depending on the number of freeze-thaw cycles and the consumption of the inhibitor additive, the qualitative picture of the influence of chloride concentration on the process of asphalt concrete destruction under cyclic loads changes. It was concluded that in order to increase the durability of the asphalt concrete coating, in addition to adding corrosion inhibitors to the composition of anti-icing materials, it is necessary to apply an impregnation material to the surface of the coating. The impregnation penetrates deep into the capillaries and pores of the asphalt concrete coating, where it fills the pores and voids. Impregnation prevents the destruction of asphalt concrete caused by the spillage of aggressive materials, including anti-icing reagents.

Ключові слова: хлористі протиожеледні матеріали, боротьба із зимовою слизькістю, асфальтобетонне покриття, довговічність.

Key words: chloride anti-icing materials, combating winter slippage, asphalt concrete coating, durability.

Довговічність є найважливішою характеристикою дорожніх асфальтобетонних покриттів. Термін служби дорожніх покриттів автомобільних доріг залежить від великої кількості факторів: інтенсивність і склад руху, конструкція дорожнього одягу, ґрунтові, гідрологічні та кліматичні умови. До основних причин зниження термінів служби асфальтобетонних покриттів відносяться деформації і руйнування, які виникають під комплексною дією напружень від транспортного навантаження і агресивних середовищ (найчастіше використання хлористих протиожеледних матеріалів), що пов'язано з недостатньою корозійною стійкістю асфальтобетонів.

До важливих критеріїв, які використовуються для прогнозування довговічності дорожніх покриттів, слід віднести втому та витривалість асфальтобетону, так як цей матеріал, перебуваючи в шарі покриття, піддається багаторазовим циклічним навантаженням, які призводять до накопичення незворотніх деформацій. При цьому суцільність шару з асфальтобетону не буде порушена, якщо розтягувальні напруження не перевищують допустимих значень, що встановлюються з урахуванням втомних явищ.

Стійкість асфальтобетонного покриття по відношенню до агресивних середовищ визначається адгезією бітуму до мінерального матеріалу, товщиною бітумної плівки, ступенем насичення і набрякання, що характеризують глибину проникнення середовища в покриття, стійкістю до агресивного середовища мінерального матеріалу, рівнем напруженого стану та збереженням міцності асфальтобетону [1, 2].

Аналіз досліджень [3] показує, що водонасичення негативно впливає на втомну довговічність асфальтобетону. Наприклад, у стандартного гарячого асфальтобетону типу «Б» після 30 діб водонасичення, кількість циклів навантаження, які призводять до руйнування, знижується на 30%. Після наступних 20 циклів заморожування-відтавання втомна довговічність знизилася більш, ніж на 50%.

Хімічні реагенти, що знаходяться у воді і потрапляють в покриття, взаємодіють із компонентами асфальтобетону та руйнують його структуру. Це призводить до зміни в груповому складі органічного в'язучого і вимивання розчинних продуктів реакції карбонату кальцію з наповнювача.

Відділення плівки бітуму сприяє зниженню гідроізоляційних властивостей асфальтобетонного покриття. Це сприяє посиленню проникаючої здатності протиожеледних реагентів вглиб асфальтобетонного покриття та інтенсифікації процесів руйнування (рис. 1) [2, 3].

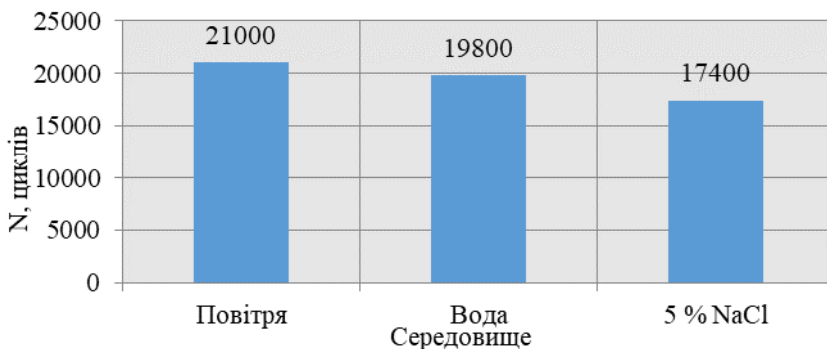


Рис. 1. Вплив агресивних середовищ на втомну міцність асфальтобетону

Аналіз властивостей асфальтобетону дає підстави стверджувати, що розчини хлористих протиожеледних реагентів впливають безпосередньо на межу розділу фаз системи «бітум – поверхня мінеральних часток», що призводить до порушення контактної взаємодії та зменшення діючих зв'язків у мікроструктурі асфальтобетону, тобто, корозійний розрив бітумної плівки з оголенням мінеральної поверхні.

Руйнування структури відбувається тим швидше, чим інтенсивніша дифузія. Процес дифузії особливо посилюється зі збільшенням концентрації водорозчинних речовин, причому вода, що дифундує, здатна вимивати їх з бітуму, надаючи йому при низьких температурах кавернозну структуру. Аналіз результатів досліджень [4] показав, що під впливом сольових розчинів відбувається розчинення і винос малостійких до даного середовища складових асфальтобетону. При одночасній дії поперемінного

заморожування-відтавання і агресивних сольових розчинів деструктивні процеси, що протікають в асфальтобетоні і його складових, істотно прискорюються [4, 5].

Відповідно до завдання досліджень були встановлені фактори, що надають найбільший вплив на руйнування дорожніх асфальтобетонних покриттів в зимовий період експлуатації: C – концентрація хлоридів у водному розчині; M – кількість циклів заморожування-відтавання; Q – витрата добавки інгібітору у відсотках від маси протижелезного матеріалу.

Всі зразки піддавали попередньому насиченню в воді і розчинах протижелезного матеріалу різної концентрації з добавкою суперфосфату в кількості 1-3 % від маси солі. Далі насичені зразки асфальтобетону піддавалися циклічному заморожуванню-відтаванню. Зразки поміщалися в морозильну камеру при температурі мінус 15 °С. Кожен цикл заморожування при температурі мінус 15 °С тривав 4 години. Відтавання зразків відбувалось в ванні в розчині протижелезного матеріалу, при температурі плюс 15-20 °С не менше 4 годин. Кількість циклів заморожування-відтавання – 25 і 50.

Отримані результати показують, що одночасна дія навантажень, розчинів хлористих протижелезних матеріалів і циклів заморожування-відтавання істотно впливає на процеси руйнування асфальтобетонних покриттів (рис. 2).

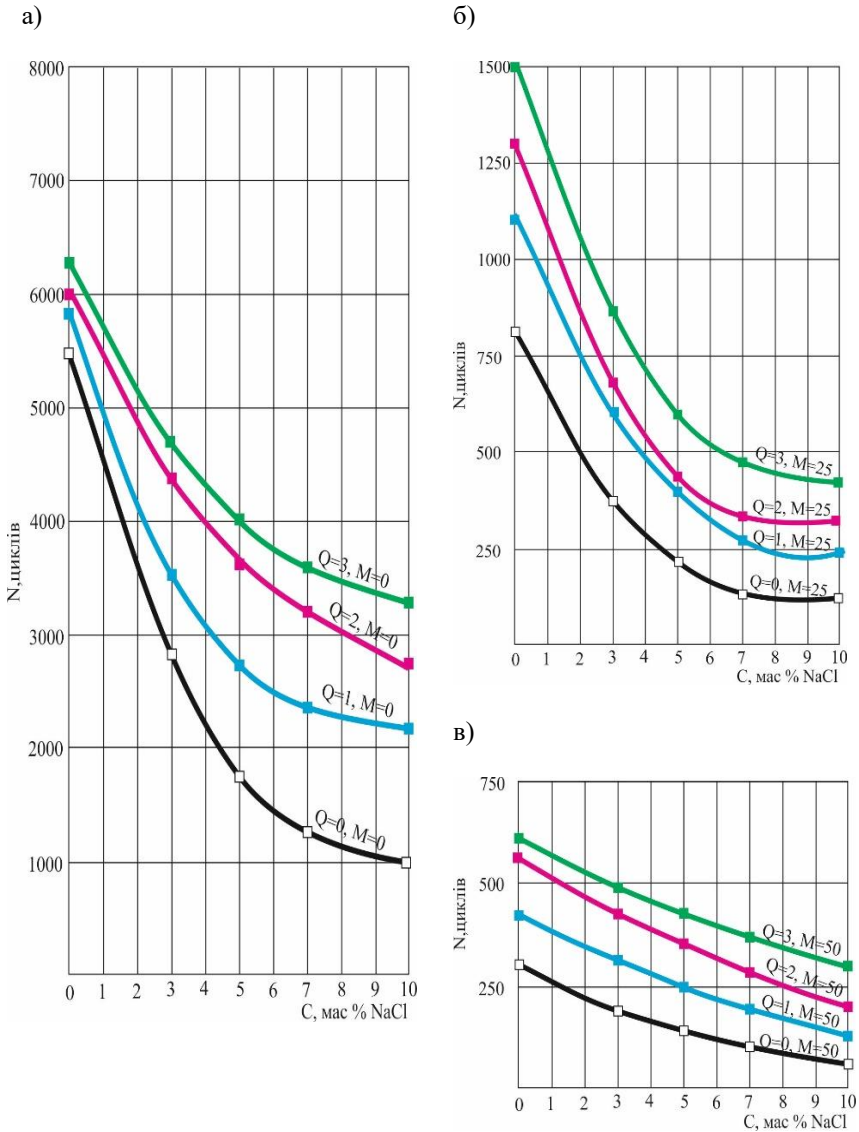
Аналіз дозволив встановити наступне: вплив розчинів протижелезних матеріалів, в значній мірі залежить від їх концентрації; зростання концентрації розчину хлориду натрію до 10 % знижує кількість циклів навантаження до руйнування в 6 разів.

При циклічному деформуванні зразків в розчинах хлоридів, агресивне середовище проникає в обсяг матеріалу по найбільш дефектним в структурному відношенні місцях, підвищується рухливість структурних елементів. Крім цього, розчини хлоридів перешкоджають закриванню тріщин при циклічних навантаженнях.

Це підтверджує той факт, що процес руйнування асфальтобетонних покриттів тісно пов'язаний з міграцією агресивних розчинів протижелезних матеріалів.

Характер кривих показує, що при концентраціях в інтервалі від 0 % до 5 % відбувається різке зниження кількості циклів навантаження до руйнування. В інтервалі 5-10 % цей процес сповільнюється.

Однак, в залежності від кількості циклів заморожування-відтавання і витрати добавки інгібітору, змінюється якісна картина впливу концентрації хлоридів на процес руйнування асфальтобетонного покриття при циклічних навантаженнях.



а) M=0, б) M=25, в) M=50

Рис. 2. Кількості циклів навантаження до руйнування залежно від концентрацій NaCl

Збільшення концентрації хлоридів з одночасним збільшенням кількості циклів заморожування-відтавання призводить до більш різкого зниження кількості циклів навантаження.

У 10 % розчині кількість циклів навантаження знижується у 18 разів.

У процесі багаторазового заморожування-відтавання асфальтобетону виникають напруги викликані різницею коефіцієнтів температурного деформування бітуму та кам'яного матеріалу.

Це призводить до виникнення мікротріщин в асфальтобетоні. Це призводить до ослаблення структурних зв'язків в асфальтобетоні, що полегшує його руйнування під дією транспортних навантажень.

Збільшення кількості циклів заморожування-відтавання до 50 циклів призводить до того, що кількість циклів навантаження знижується на 85 %.

Таким чином, можна зробити висновок, що для підвищення довговічності асфальтобетонного покриття, крім додавання інгібіторів корозії в склад протижелезних матеріалів, потрібно проводити поверхневу обробку покриття шляхом нанесення просочуючих матеріалів, на основі емульсій бітумних масел і смол, які не тільки будуть перешкоджати відділенню з верхнього шару частинок кам'яного матеріалу, а й будуть запечатувати мікротріщини в товщі асфальтобетонного покриття. Принцип дії просочуючих матеріалів на асфальтобетонне покриття, представлений на рис. 3 [6].

Позитивний ефект від застосування просочуючого матеріалу досягається при обробці покриття з показником водонасичення не менше 3 % або обробці покриття з незначним рівнем дефектності (сітка волосяних тріщин). Обробці можна піддавати як окремі ділянки так і всю поверхню покриття. Ефект від застосування просочувальних матеріалів полягає в захисті покриття від впливу несприятливих природно-кліматичних факторів, і як слід підвищенні корозійної стійкості, підвищенні стійкості до стирання і поліпшенні низькотемпературних властивостей асфальтобетону [6].

Регулярна обробка покриттів відновлює властивості бітуму в асфальтобетоні і уповільнює появу пошкоджень, збільшуючи міжремонтні терміни. Наприклад пропитка «ASP Chem-Crete» (Chem-Crete, Словаччина) складається зі спеціальної суміші окисленої бітумної емульсії, модифікованої за допомогою складу на основі силікону з високим вмістом вологи, і інших компонентів на органічному розчиннику. Просочувальний склад не містить мінерального матеріалу [7].

Просочення глибоко проникає в капіляри і пори асфальтобетонного покриття, де вона стає сполучною ланкою і заповнює пори і порожнечі. Просочення запобігає руйнуванню асфальтобетонного покриття, викликаного розливом нафтопродуктів та інших агресивних матеріалів, включаючи антижелезні реагенти.

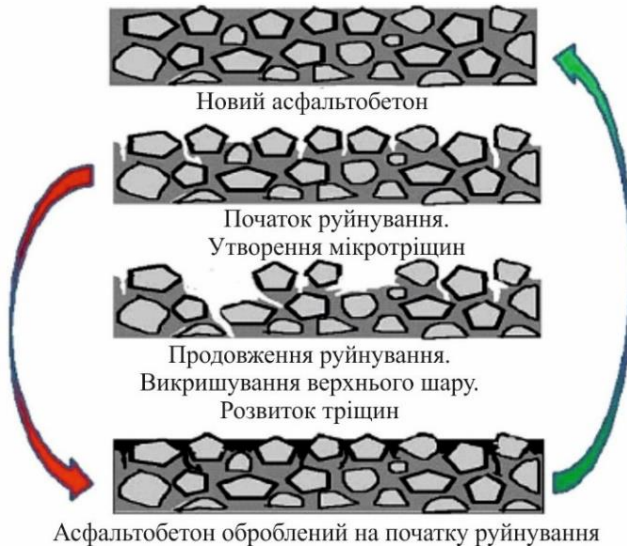


Рис. 3. Принцип дії просочуючих матеріалів

Просочення відштовхує всі рідкі речовини, нетоксичне і абсолютно безпечне для людей і навколишнього середовища (рис. 4) [7].



Рис. 4. Нанесення шару просочування «ASP Chem-Crete»

Крім цього, склад також герметизує дрібні тріщини і підвищує зчеплення пневматиків з покриттям, тому ASP збільшує тривалість життя покриття і скорочує витрати на його утримання, може змішуватися з дрібнозернистим піском для ремонту тріщин шириною до 6 мм, або з кам'яним матеріалом для ремонту невеликих ям [7].

References

1. Siedov A. V. Vplyv ahresyvnnykh seredovysheh protyozhelednykh materialiv na ruiniuvannya asfaltobetonnykh pokryttiv vid znakovminnykh temperatur ta tsyklichnykh zavantazhen [Tekst] / A. V. Siedov // Visnyk KhNADU. - Kharkiv: KhNADU, 2006. - № 34 (35. - S. 48-51.
2. Zhdaniuk V.K., Poiasnyk H.V., Shylenko M.I., Shrestkha R.B. Porivnialni doslidzhennia tryvaloї vodostiikosti asfaltobetoniv na osnovi mineralnykh materialiv riznoho pokhodzhennia // Avtomobilni dorohy i dorozhnie budyvnytstvo.- 2001.- Vyp. 62.- S.107-111.
3. Kolesnyk D.A., Mantopkin S.A. Otsinka stiikosti asfaltobetoniv do vplyvu volohy ta popereminnoho zamorozhuvannia-vidtavannia. Visnyk KhNADU. №79. 2017. S. 128-132
4. Ilin Ya. V. Obgruntuvannia i rozrobka neruiniuiuchoho deformatsiinoho metodu otsinky morozostiikosti asfaltobetonu: dys...kand. tekhn. nauk : 05.23.05 / Kharkivskyi natsionalnyi avtomobilno-dorozhnyi un-t. Kharkiv, 2020. 172 s.
5. Gauer P.K. Ermittlung von Verdichtungswilligkeit und Verformungswider – stand bituminoser Gemisihe im Laboratorium. Bitumen, 1975. P. 88–96..
6. Chekhov A. P. Zakhyst budivelnykh konstruksii vid korozii / A. P. Chekhov, V. M. Hlushchenko. – K. : Vyscha shkola, 1994. – 213 s.
7. CHEM-CRETE ASP® URL: <https://www.chem-crete.com/product/chem-crete-asp/> (data zvernennia: 11.04.2023).

Література

1. Сєдов А. В. Вплив агресивних середовищ протижелезних матеріалів на руйнування асфальтобетонних покриттів від знакозмінних температур та циклічних навантажень [Текст] / А. В. Сєдов // Вісник ХНАДУ. - Харків: ХНАДУ, 2006. - № 34 (35. - С. 48-51.
2. Жданюк В.К., Поясник Г.В., Шиленко М.І., Шрестха Р.Б. Порівняльні дослідження тривалої водостійкості асфальтобетонів на основі мінеральних матеріалів різного походження // Автомобільні дороги і дорожнє будівництво.- 2001.- Вип. 62.- С.107-111.
3. Колесник Д.А., Мантопкін С.А. Оцінка стійкості асфальтобетонів до впливу вологи та поперемінного заморожування-відтавання. Вісник ХНАДУ. №79. 2017. С. 128-132
4. Ільїн Я. В. Обґрунтування і розробка неруйнуючого деформаційного методу оцінки морозостійкості асфальтобетону: дис...канд. техн. наук: 05.23.05 / Харківський національний автомобільно-дорожній ун-т. Харків, 2020. 172 с.
5. Gauer P.K. Ermittlung von Verdichtungswilligkeit und Verformungswider – stand bituminöser Gemische im Laboratorium. Bitumen, 1975. P. 88–96..
6. Чехов А. П. Захист будівельних конструкцій від корозії / А. П. Чехов, В. М. Глушенко. – К. : Вища школа, 1994. – 213 с.
7. CHEM-CRETE ASP® URL: <https://www.chem-crete.com/product/chem-crete-asp/> (дата звернення: 11.04.2023).

**ОСОБЛИВОСТІ ВИКОРИСТАННЯ ОБ'ЄМНИХ ГЕОРЕШТОК ДЛЯ
ЗМІЦНЕННЯ УКОСІВ ЗЕМЛЯНОГО ПОЛОТНА
АВТОМОБІЛЬНИХ ДОРІГ**

**FEATURES OF THE USE OF VOLUME GEO-GRIDS FOR
STRENGTHENING THE SLOPES OF THE EARTH FABRIC OF
AUTOMOBILE ROADS**

Фоменко О. О., асис. (Харківський національний автомобільно-дорожній університет), Седов А. В., к.т.н., доц. (Харківський національний автомобільно-дорожній університет)

Fomenko O. O., assistant (Kharkiv National Automobile and Road University), Siedov A. V., Ph.D. in Engineering, Associate Professor (Kharkiv National Automobile and Road University)

Виконаний аналіз факторів, що впливають на процес руйнування укосів земляного полотна. Основним видом зміцнення укосів, є засів їх багаторічними травами. Але в даний час, для рішення цієї проблеми активно використовуються об'ємні геосинтетичні матеріали. Наявний досвід використання георешіток при зміцненні укосів характеризує даний матеріал як надійний і якісний, але нерідкі випадки неуспішних робіт. В результаті впливу потоку можуть статися локальні порушення цілісності кріплення. За результатами аналізу досліджень були сформовані рекомендації щодо використання матеріалів для заповнення осередків в залежності від гранично допустимих швидкостей потоку.

Factors affecting the process of destruction of slopes of the earth bed are analyzed. Destruction of slopes is more intense, the lower the strength of the soil and the steeper the slope. The main way of strengthening slopes is to sow them with perennial grasses. But it takes 1-2 years, and sometimes more, for the formation of turf, and during this period, as a result of abundant snowmelt and intense rains, the soil is washed away from the strengthening surface. But currently, bulk geosynthetic materials are actively used to solve this problem. The main characteristics are the breaking load of the tape and the strength of the seam as a percentage of the strength of the tape. The use of these materials to increase the stability of embankment slopes is based on the joint work of the layer and the soil in the shear zone. The existing experience of using geogrids in strengthening slopes characterizes this material as reliable and high-quality, but there are frequent cases of unsuccessful works. As a result of the impact of the destructive effect of rainwater and meltwater runoff, local violations of the integrity of the fastening may occur, and in some cases, damage to the body of the slope, which can lead to a loss of its stability and slipping. When creating an anti-erosion coating of slopes, not only plant soil is often used, but also crushed stone, the size of which depends on the geometric parameters of the geogrid itself. The choice of a specific geosynthetic material

with a certain size of lattice cells must be made depending on the purpose of using the material. According to the results of the analysis of the research, recommendations were formed on the approximate designation of the maximum permissible flow velocities depending on the material of the aggregate in the cells. It was established that the maximum allowable speed of the flow, which does not erode when filling geogrids with a certain material, increases by 30 % in relation to the allowable flow speed when using this material as reinforcement without geogrids.

Ключові слова: земляне полотно, інтенсивність випадання атмосферних опадів, укіс, георешітка, протиерозійна стійкість заповнювачів.

Key words: subsoil, rainfall intensity, slope, geogrid, anti-erosion resistance of aggregates.

Відомо, що поверхня укосів земляних споруд руйнується під дією води, вітру і різних атмосферних факторів, так само як і поверхня гірських порід в природному заляганні. Інтенсивність руйнування укосів залежить від міцності ґрунту земляного полотна і крутизни укосу. Вода, рухаючись по схилу руйнує поверхню укосу, утворюючи глибокі вимоїни (рис. 1). Також значних руйнувань можуть призвести потоки води, які течуть уздовж підшови укосу земляного полотна. Розмив ґрунту на поверхні укосу і підмив схилу в його нижній частині можуть викликати обвалення масиву ґрунту земляного полотна, що приведе до більш значних деформацій, захоплюючи тіло насипу [1].

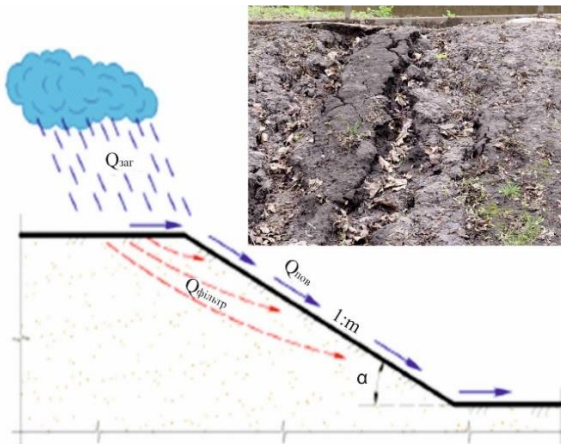


Рис. 1. Принципова схема водовідвідного укосу [1]

Значний вплив на розвиток ерозії надає інтенсивність випадання атмосферних опадів (короткочасні; періодичні; зливові; затяжні та т.п.). Розвиток ерозії виникає при випаданні дуже сильних короткочасних або тривалих злизових опадів (табл. 1).

Таблиця 1

Залежність поверхневого стоку і обсягів ґрунтів, які змиваються, від інтенсивності випадіння опадів

Інтенсивність випадання атмосферних опадів, мм/хв	Поверхневий сток, % кількості опадів	Змив ґрунтів, т/га
0,25	5,0	0,23
0,50	18,0	0,85
1,0	57,0	6,8
2,0	62,0	36

Основним видом захисту укосів земляного полотна від руйнувань і інфільтрації поверхневих вод в ґрунт, є засів їх травами. Одерновка укосів земляного полотна підвищує їх стійкість [2]. Для засіву застосовують суміші місцевих багаторічних трав. Але для утворення дерну потрібно 1-2 роки, а іноді і більше, а протягом цього періоду в результаті сніготанення та інтенсивних злив можуть відбуватися змиви ґрунту з поверхні укосів[1].

В даний час, для рішення цієї проблеми активно використовуються об'ємні геосинтетичні матеріали, що мають коефіцієнт відносного подовження при розриві не більше 10-15 %. Основними характеристиками є розривне навантаження стрічки і міцність шва в відсотках від міцності стрічки.

Застосування цих матеріалів для підвищення стійкості укосів насипу засноване на спільній роботі прошарку і ґрунту в зоні зсуву [3]. Геосинтетичні матеріали мають ряд переваг, таких як водостійкість, біостійкість, стійкість до впливу агресивних середовищ, стійкість до ультрафіолетового випромінювання, механічна стійкість, стійкість до циклів промерзання-відтавання, екологічність. Окремо варто відзначити таку властивість матеріалів, як довговічність [3]. Наявність перфорації в стінках осередків георешітки покращує міцність конструкції за рахунок переплітання коренів через стінки осередків (рис. 2).

Наявний досвід використання георешіток при зміцненні водовідвідних укосів характеризує даний матеріал як надійний і якісний, але нерідкі випадки неуспішних робіт. В результаті впливу руйнівної дії стоку дощових і талих вод можуть статися локальні порушення цілісності кріплення, а в деяких випадках і пошкодження тіла укусу, що може привести до втрати його стійкості і сповзанню (рис. 3). Завданням досліджень є визначення нерозмивних швидкостей потоків води з поверхні автомобільної дороги, з урахуванням матеріалу, яким заповнені осередки.

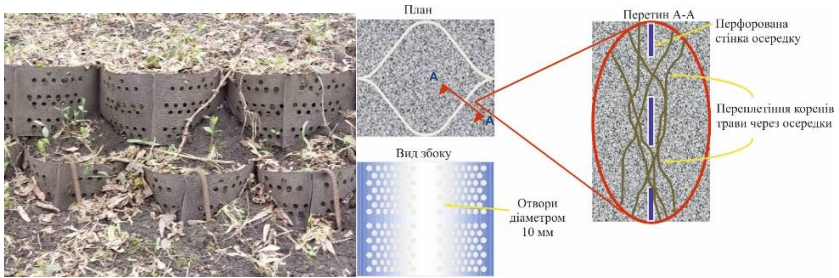


Рис. 2. Зміцнення схилу перфорованою георешіткою



Рис. 3. Вплив потоку на зміцнений укіс

В якості заповнювача георешітки можуть бути застосовані: рослинний ґрунт з посівом насіння трав, незв'язні мінеральні матеріали (щебінь, гравій), укріплені в'язчим, ґрунти, бетонні суміші (рис. 4).

При створенні протиерозійного покриття укосів часто застосовують не тільки рослинний ґрунт, но і щебінь, крупність якого залежить від геометричних параметрів самої георешітки.

Вибір конкретної георешітки з певним розміром осередків необхідно проводити в залежності від умов в яких планується застосовувати матеріал.

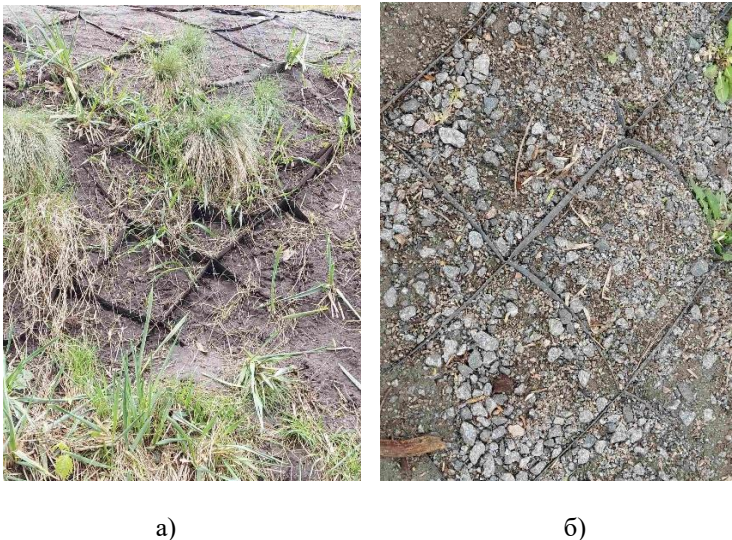


Рис. 4. Заповнення георешітки: а) рослинний ґрунт, б) щебінь

За результатами аналізу досліджень каналів, укріплених об'ємною полімерною георешіткою з кам'яним заповнювачем, які були проведені в канадському центрі внутрішніх вод в м. Берлінгтон (Онтаріо) [5], були створені рекомендації, згідно яких закладення укосів виїмок, напів-виїмок, насипів та напів-насипів, при наявності рослинності і довжини укосу до 12,0 м, допускається приймати не крутіше 1:2.

Так, георешітка з великими розмірами осередків буде найбільш доцільно використовувати на досить пологих схилах, а на крутих укосах слід застосувати георешітки з меншим розміром осередків. Також від крутизни укосу залежить вибір матеріалу, який потрібно використовувати для засипки осередків [4]. Максимальний розмір зерен мінерального матеріалу повинен бути не більше 40 мм при висоті георешітки менше 15 см і 70 мм – при висоті георешітки 15 см і більше.

Крім вибору мінерального матеріалу для заповнення георешітки і його фракції, слід звернути увагу, що при наявності перфорації в стінках осередків створюється внутрішній рух потоку з витратою $Q_{отв}$, відповідної пропускної здатності серії отворів [6]. Даний потік рухається в порах між наповнювачем і не робить впливу на верхній шар (рис. 5).

У результаті аналізу досліджень протиерозійної стійкості заповнювачів об'ємних георешіток в діапазоні середньої крупності $D_{50} \% = 15-40$ мм були запропановані значення гранично допустимих швидкостей потоку в разі застосування перфорованої стрічки георешітки (рис. 6) [6].

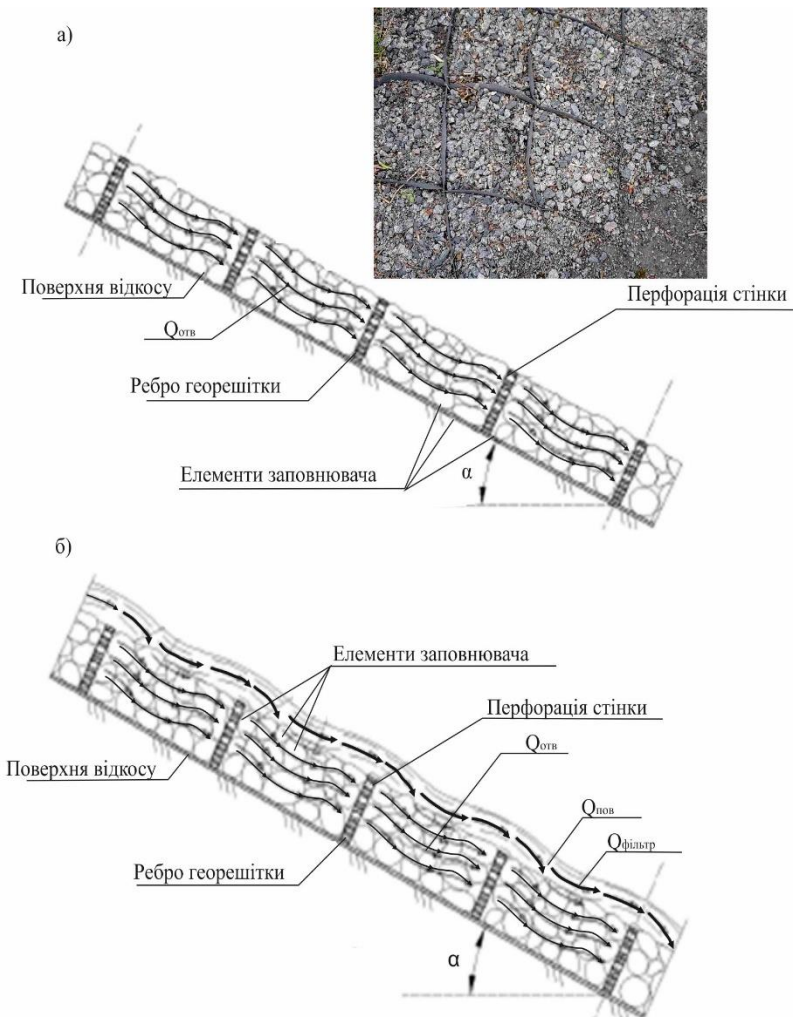


Рис. 5. Схеми стадій пропуску потоку через отвори стінок георешітки з перфорованої стрічкою: а – стадія руху потоку через пори заповнювача і отвори в георешітці; б – стадія швидкототу

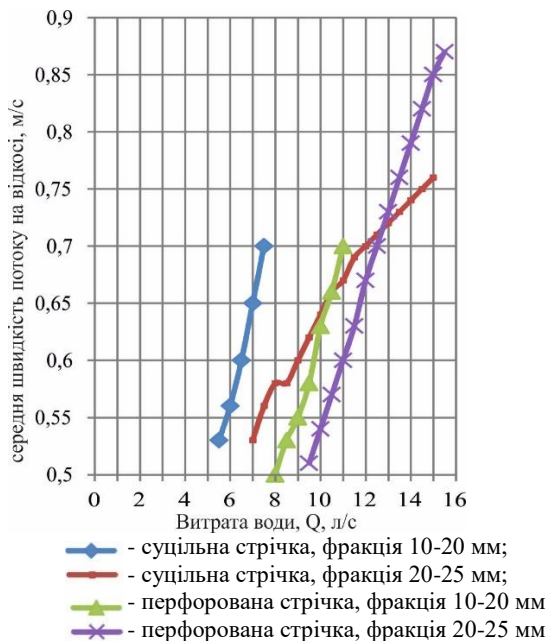


Рис. 6. Середня швидкість потоку на відкості

При дослідженні перфорованої стрічки виявлено підвищення стійкості заповнювача. Збільшення значень гранично допустимих швидкостей оцінюється в інтервалі від 3,4 % до 22,8 %.

За результатами аналізу досліджень були сформовані рекомендації по вибору матеріалів для заповнення осередків георешіток в залежності від гранично допустимих швидкостей потоку (табл. 2).

Таблиця 2
Рекомендовані умови застосування матеріалів для заповнення осередків при протиерозійному укріпленні укосів

Матеріал для заповнення осередків	Швидкість потоку, $V_{\text{доп}}$, м/с
Рослинний ґрунт з гідропосівом насіння трав	0,5
Укріплений ґрунт	1,2
Щебінь фракцій 40-60 мм	1,0
Щебінь фракцій 40-60 мм з додатковим зміцненням цементним розчином ($\gamma_3 \geq 1,95 \text{ т/м}^3$)	1,6
Бетонна суміш (7,5 см $\gamma_3 \geq 2,3 \text{ т/м}^3$) у верхній частині і щебінь (7,5 см $\gamma_3 \geq 1,7 \text{ т/м}^3$) в нижній	1,8
Бетонна суміш ($\gamma_3 \geq 2,3 \text{ т/м}^3$)	2,2

При узагальненні деякого об'єму результатів гідравлічних досліджень укосів, можна зробити висновок, що використання для зміцнення укосів об'ємних георешіток дозволяє збільшити гранично допустиму швидкість потоку, що не розмиває, на 30 % по відношенню до допустимої швидкості потоку при використанні в якості зміцнення такого же матеріалу але без георешіток.

References

1. Mkrtchian O. Heoinformatsiine modeliuвання protsesu skhylovoi erozii / O. Mkrtchian // Visnyk Ivivskoho universytetu. Seriiа heohrafichna. – 2004. – Vyp. 30. – S.188-193
2. Liutyi A. O. Biolohichni typy konstruksii ukriplennia ukosiv zemlianoho polotna zaliznyts / A. O. Liutyi // Zbirnyk naukovykh prats Ukrainsoi derzhavnoi akademii zaliznychnoho transportu. - 2013. - Vyp. 141. - S. 173-176. - Rezhym dostupu: http://nbuv.gov.ua/UJRN/Znpudazt_2013_141_33.
3. HEOMATERIALY. Heotekstyl. Reshityky. Membrany. Maty. URL: <https://www.vodaland.com.ua/file/builder/3lPxVtqZ65.pdf> (data zvernennia: 17.04.2023).
4. R V.2.3-218-02070915-495:2005. Rekomendatsii z konstruiuvannia i tekhnolohii pidvyshchennia stiikosti konusiv ta ukosiv zemlianoho polotna. [Chynnyi vid 2006-01-01]. Vyd. ofits. Kyiv : Derzhavna sluzhba avtomobilnykh dorih Ukrainy, 2005. 21 s.
5. The GEOWEB channel protection system. Technical overview / Presto Products Company. – Appleton, Wisconsin, USA, 1999. URL: http://www.tarsu.com/pdf/kanal_koruma_teknik_ayrinti.pdf (data zvernennia: 17.04.2023).
6. Bieliatynskiy A.O. Matematychnе modeliuвання protsesiv stoku /A.O. Bieliatynskiy // Avtoshliakhovyk Ukrainy. – K., 2002. – №5. – S.101-103.

Література

1. Мкртчян О. Геоінформаційне моделювання процесу схилової ерозії / О. Мкртчян // Вісник львівського університету. Серія географічна. – 2004. – Вип. 30. – С.188-193
2. Лютий А. О. Біологічні типи конструкцій укріплення укосів земляного полотна залізниць / А. О. Лютий // Збірник наукових праць Української державної академії залізничного транспорту. - 2013. - Вип. 141. - С. 173-176. - Режим доступу: http://nbuv.gov.ua/UJRN/Znpudazt_2013_141_33.
3. ГЕОМАТЕРІАЛИ. Геотекстиль. Решітки. Мембрани. Мати. URL: <https://www.vodaland.com.ua/file/builder/3lPxVtqZ65.pdf> (дата звернення: 17.04.2023).
4. Р В.2.3-218-02070915-495:2005. Рекомендації з конструювання і технології підвищення стійкості конусів та укосів земляного полотна. [Чинний від 2006-01-01]. Вид. офіц. Київ : Державна служба автомобільних доріг України, 2005. 21 с.
5. The GEOWEB channel protection system. Technical overview / Presto Products Company. – Appleton, Wisconsin, USA, 1999. URL: http://www.tarsu.com/pdf/kanal_koruma_teknik_ayrinti.pdf (дата звернення: 17.04.2023).
6. Белятинський А.О. Математичне моделювання процесів стоку /А.О. Белятинський // Автошляховик України. – К., 2002. – №5. – С.101-103.

**ВПЛИВ НАДМАЛИХ ДОЗ ПОВЕРХНЕВО-АКТИВНИХ РЕЧОВИН
НА МІЦНІСТЬ ГАЗОБЕТОНУ, ОТРИМАНОГО НА ПЕРГІДРОЛІ**

**THE INFLUENCE OF EXTRA-LOW DOSES OF SURFACTANTS ON
THE STRENGTH OF AERATED CONCRETE, OBTAINED ON
PERHYDROL**

Шишкін О.О., д.т.н., проф., завідувач кафедри технології будівельних виробів, матеріалів та конструкцій, Домнічев А.О. магістр, аспірант (Криворізький національний університет)

Shishkin O.O., Doctor of Engineering, Professor, head of the department of technology of construction products, materials and structures, Domnichen A.O. master's degree, postgraduate student (Kryvyi Rih National University)

Сучасні будівельні технології та їх стрімкий розвиток зумовлюють появу нових методів та способів створення будівельних матеріалів та керування їх властивостями. У статті показано результати дослідження впливу на властивості газобетону поверхнево-активних речовин, застосованих у надмалих дозах

In this work, traditional methods are used to study the degree of increase in volume, volume density, and strength of aerated concrete based on hydrogen peroxide. It was clearly noticed that the investigated properties change when the surface-active substances of various nature are introduced into the concrete in very small quantities. Thus, the use of an aliphatic surface-active substance in quantities of up to 0.001% of the mass of cement in the composition of concrete leads to an increase in its strength by 200% with a slight increase in bulk density of up to 12%. The use of a hydrophobic surface-active substance - carbohydrates in the amount of 0.0004% as a nanocatalyst leads to an increase in its strength by 80% with an almost unchanged bulk density. The difference in the influence of the investigated surface-active substances on the controlled properties of concrete is explained by the different nature of the interaction of these substances with water. In both cases, the phenomenon of hydrophobic hydration occurs. However, when using an amphiphilic surfactant, its active ion interacts with water according to the scheme of hydrophilic hydration. Two types of hydration occur at the same time, which is not observed when using carbohydrates. Conducted studies of electrical conductivity and the value of the hydrogen index of solutions of applied surface-active substances showed a change in the properties of the solutions due to displacement into the acidic region.

Research data show that the introduction of hydrogen peroxide into aerated concrete as nano modifiers of surfactants of various natures in extremely small concentrations leads to an increase in its strength by 80-200% with practically no

change in density, and therefore thermal conductivity. The bulk density varies from 0.8 g/cm³ to 1.11 g/cm³. The corresponding maximum stress varies from 0.3 MPa to 10.4 MPa, respectively.

Ключові слова: бетон, перекис водню, ПАВ, вуглеводи, міцність, густина, наномодифікатор.

Keywords: concrete, hydrogen peroxide, surfactants, carbohydrates, strength, density, nanomodifier

Постановка проблеми

На будівельні конструкції промислових будинків і споруд в процесі їх експлуатації впливає навколишнє середовище, змінюючи фізико-механічні властивості матеріалів, з яких виготовлені ці конструкції, що, як наслідок, змінює їхню довговічність. Це приводить до необхідності передбачати, при виготовленні і відновленні конструкцій будинків і споруд, заходи щодо зниження температурного впливу на них навколишнього середовища. Одними з ефективних матеріалів для захисту будівельних конструкцій від теплових впливів навколишнього середовища є матеріали, які мають високий опір теплопередачі, зокрема легкі й ніздрюваті бетони. Однак відомі ніздрюваті бетони мають підвищені власні деформації (набрякання й усадки), а також підвищене водопоглинання. найбільш важливим недоліком означених бетонів є відносно невелика міцність при стиску, що й обмежує їх застосування. Тому питання підвищення міцності при стиску зокрема ніздрюватих бетонів є нагальною проблемою в технології будівельних матеріалів.

Аналіз досліджень і публікацій

Основою отримання високоякісних бетонів, як щільного, так і ніздрюватого, є синтез високоякісного цементного каменю, який відрізняється високою дисперсністю складових і новотворів. На основі означеного цементного каменю створені всілякі високоякісні бетони шляхом уведення в його структуру додаткових складових таких як мікронаповнювачі [1-3], або повітряні пори [4]. Утворення останніх в структурі цементного каменю приводить до зменшення щільності бетону і його теплопровідності, обумовлюють зниження його міцності (у першу чергу при стиску), обмежуючі галузь його застосування. Очевидно, що основним шляхом підвищення міцності ніздрюватих бетонів є підвищення міцності цементного каменю, який формує перегородки між порожнинами. Цю задачу можна розв'язати підвищенням міцності означеного цементного каменю. Однак для отримання ніздрюватих бетонів [4],

доцільніше не використання в'язучих речовин високих марок, а застосування нанотехнологій [5,6], зокрема, теорії надмалих доз, як їхньої складової [7,8].

Наномодифікація структури бетонів за рахунок введення до їх складу мінеральних або органічних речовин у вигляді частинок дуже малих за розмірами (до 100 нм) [5,6] у надмалих дозах (від 0,0025% до 0,1%) [7,8] дозволяє одержати нові за структурою та властивостями бетони завдяки підвищеній активності наноматеріалів.

Наскільки нам відомо, у науковій літературі не було опубліковано докладних робіт з вивчення впливу виду та кількості поверхнево-активних речовин, які використовували як наномодифікатори газобетону, при використанні в якості утворювача газу перекису водню. Таким чином, метою даної роботи є вивчення впливу виду та кількості поверхнево-активних речовин, що використовуються як наномодифікатор газобетонів. У зв'язку з тим, що поверхнево-активні речовини або їх складові мають різні властивості по відношенню до води, слід визначити вплив на властивості бетону, як амфіфільних, так і суто гідрофобних поверхнево-активних речовин.

Виклад основного матеріалу

У цьому розділі представимо експериментальні методи підготовки зразків з метою охарактеризувати їх із використанням різних методів.

Для виготовлення бетону використовували портландцемент ПЦ П/Б–Ш–400, виробництва ПАТ «Хайдельберг цемент. Кривий Ріг» (Україна), у якості дрібного заповнювача – відсіяний річковий пісок, який мав максимальний розмір часток 0,63 мм. У якості міцелотворюючих ПАР (МПАР) застосовували лігносульфонат Sika-Plast-520 (ТМ «Sika») та суміші вуглеводнів (ВВ). У якості речовини, яка утворює газ для формування порожнин в бетоні, – перекис водню. Сухі компоненти бетонної суміші дозувалися в кількості, розрахованої згідно із планом експерименту, і перемішувалися в лабораторному змішувачі впродовж 1 хвилини з частиною води, яка складала 70% від розрахованої. Потім до означеної суміші додавали воду (30% від розрахованої) з розчиненою в ній МПАР та перекисом водню і перемішували ще в лабораторному змішувачі на протязі 1 хвилини. Виготовлення та випробування дослідних зразків виконували відповідно до вимог Державних стандартів України.

Аналіз зміни об'єму одержаного бетону (рис. 1) виявив його зміну щодо газобетонної суміші без поверхнево-активних речовин.

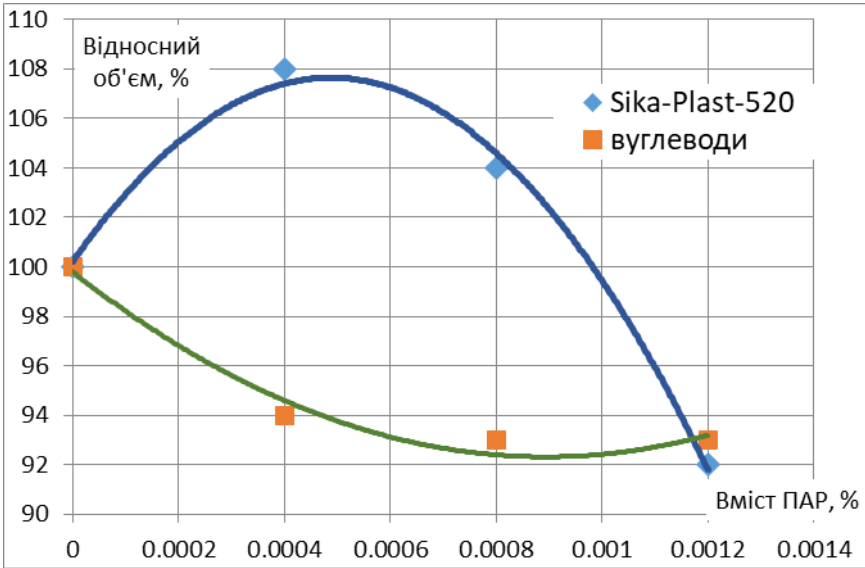


Рис. 1. Зміна об'єму бетону при введенні поверхнево-активних речовин

Так, при введенні до певної кількості як поверхнево-активної речовини вуглеводів відбувається збільшення обсягу суміші та зменшення при використанні поверхнево-активної речовини Sika-Plast-520.

Дещо інше явище спостерігається із впливом поверхнево-активних речовин (ПАР) на густину бетону (рис. 2).

Практично у всьому діапазоні зміни вмісту ПАР щільність бетону збільшується.

Дослідження міцності газобетону (рис. 3) показують, що концентрації ПАР, які забезпечують оптимум міцності бетону в стінках порожнин газобетону з найбільшою її величиною забезпечують максимальну міцність газобетону.

Необхідно відзначити, що при застосуванні в якості ПАР Sika-Plast-520 максимальна міцність газобетону відповідає його найбільшій щільності. Але збільшення міцності у цьому випадку досягає 200%, а збільшення щільності лише 12%, що має економічне обґрунтування.

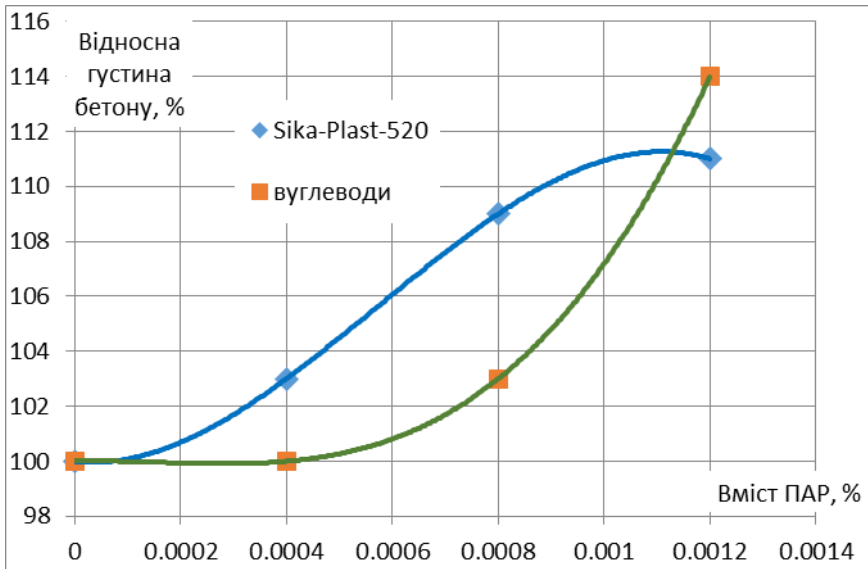


Рис. 2. Зміна густини газобетону

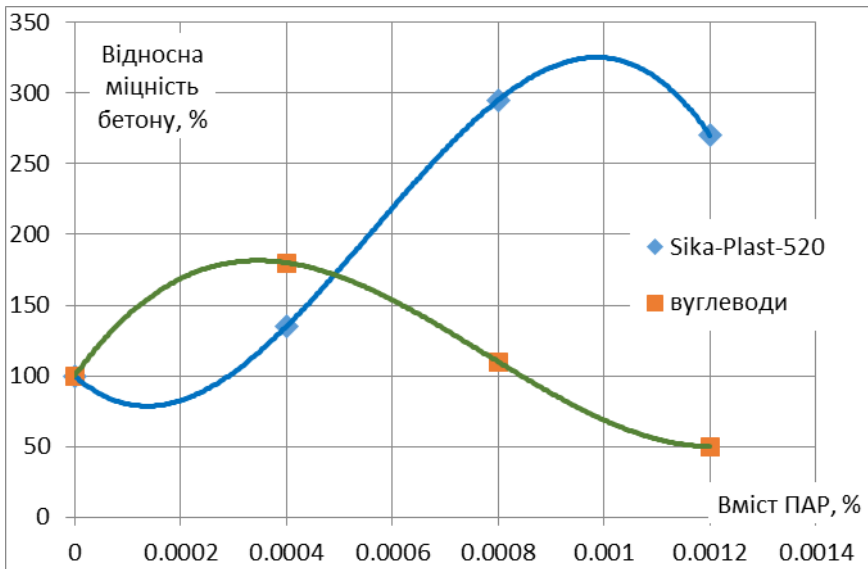


Рис. 3. Зміна міцності газобетону залежно від вмісту ПАР

У той же час, при застосуванні в якості ПАР вуглеводнів максимальна міцність газобетону відповідає його найменшій щільності. Збільшення міцності у цьому випадку досягає 80%, а зменшення щільності – 1-2%.

Висновки. Дані проведених досліджень показують, що введення до складу газобетону на перекису водню в якості наномодифікаторів поверхнево-активних речовин різної природи у понад малих концентраціях призводить до підвищення його міцності на 80-200% практично без зміни густини, а отже і теплопровідності. Об'ємна густина варіюється від 0,8 г/см³ до 1,11 г/см³. Відповідна максимальна напруга варіюється від 0,3 МПа до 10,4 Мпа, відповідно.

References

1. Termkhajornkit, P. Nawa T., Nakai M., Saito T. Effect of fly ash on autogenous shrinkage. *Cement and Concrete Research*. 2005. Vol. 35, Issue 3. P. 473–482.
doi: <https://doi.org/10.1016/j.cemconres.2004.07.010>
2. Yang, Y. Sato R., Kawai K. Autogenous shrinkage of high-strength concrete containing silica fume under drying at early ages. *Cement and Concrete Research*. 2005. Vol. 35, Issue 3. P. 449–456.
doi: <https://doi.org/10.1016/j.cemconres.2004.06.006>
3. Shishkin A., Netesa N., Netesa A. Determining the rational compositions of low-strength concretes. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*. 2019. 1/6 (97). 47-52.
doi: <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2019.156599>
4. Shyshkyна, A. A. Porystые reaktsyonnye poroshkovye betony. *Stroytelstvo unikalnykh zdaniy u sooruzheniy*. 2014. № 7 (23). S. 128–135
5. Teviashev, A. D. Shytykov E. S. O vozmozhnosti upravleniya svoistvamy tsementobetonov s pomoshchiu nanomodifykatorov. *Vostochno-Evropeyskiy zhurnalпередовыkh tekhnolohiy*. 2009. Т. 4, № 7 (40). S. 35–40.
6. Shyshkina, O. O. Shyshkin O. O. Doslidzhennia vplyvu nanokatalizu na formuvannia mitsnosti reaktsiinoho poroshkovoho betonu. *Skhidno-Ievropeyskiy zhurnal передovoykh tekhnolohii*. – 2016. – Т. 1, № 6 (79). – S. 55–60.
doi: <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2016.58718>
7. Shyshkina A. Shishkin A. Application of the easy concentration effect in concrete technology. *Innovative Technology in Architecture and Design (ITAD 2020)*. IOP Conf. Series: Materials Science and Engineering 907 (2020) 012038.
doi: <https://doi.org/10.1088/1757-899X/907/1/012038>
8. Derevianko V. N., Hryshko H. M., Moroz W. Yu. The effect of nanoadditives on the hydration of gypsum binding agents. *Collection of scientific works of UkrDUZT*, 2018, issue 178. 88-97
doi: <https://doi.org/10.18664/1994-7852.178.2018.138994>

Література

1. Termkhajornkit, P. Nawa T., Nakai M., Saito T. Effect of fly ash on autogenous shrinkage. *Cement and Concrete Research*. 2005. Vol. 35, Issue 3. P. 473–482.
doi: <https://doi.org/10.1016/j.cemconres.2004.07.010>
2. Yang, Y. Sato R., Kawai K. Autogenous shrinkage of high-strength concrete containing silica fume under drying at early ages. *Cement and Concrete Research*. 2005. Vol. 35, Issue 3. P. 449–456.
doi: <https://doi.org/10.1016/j.cemconres.2004.06.006>
3. Shishkin A., Netesa N., Netesa A. Determining the rational compositions of low-strength concretes. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*. 2019. 1/6 (97). 47-52.
doi: <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2019.156599>
4. Шишкіна, А. А. Пористые реакционные порошковые бетоны. *Строительство уникальных зданий и сооружений*. 2014. № 7 (23). С. 128–135
5. Тевяшев, А. Д. Шитиков Е. С. О возможности управления свойствами цементобетонов с помощью наномодификаторов. *Восточно-Европейский журнал передовых технологий*. 2009. Т. 4, № 7 (40). С. 35–40.
6. Шишкіна, О. О. Шишкін О. О. Дослідження впливу нанокаталізу на формування міцності реакційного порошкового бетону. *Східно-Європейський журнал передових технологій*. – 2016. – Т. 1, № 6 (79). – С. 55–60.
doi: <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2016.58718>
7. Shishkina A. Shishkin A. Application of the easy concentration effect in concrete technology. *Innovative Technology in Architecture and Design (ITAD 2020)*. IOP Conf. Series: Materials Science and Engineering 907 (2020) 012038
doi: <https://doi.org/10.1088/1757-899X/907/1/012038>
8. Derevianko V. N., Hryshko H. M., Moroz W. Yu. The effect of nanoadditives on the hydration of gypsum binding agents. *Collection of scientific works of UkrDUZT*, 2018, issue 178. 88-97
doi: <https://doi.org/10.18664/1994-7852.178.2018.138994>

**ВЛАСТИВОСТІ НАНОМОДИФІКОВАНОГО БЕТОНУ,
АРМОВАНОГО ТЕКСТИЛЬНОЮ АРМАТУРОЮ**

**PROPERTIES OF NANOMODIFIED CONCRETE REINFORCED
WITH TEXTILE REINFORCEMENT**

**Шишкіна О.О., к.т.н., доц. (Криворізький національний
університет)**

**Shyhkina O.O., Ph.D. in Engineering, Associate Professor (Kryvyi Rih
National University)**

Показано результати дослідження впливу надмалих доз поверхнево-активних речовин на міцність дрібнозернистого бетону, армованого текстильною арматурою

The results of research into the physical and mechanical properties of modified textile-reinforced concrete are presented. Two types of high-strength reinforcing cloths made of glass and carbon fiber were used for the production of samples. In combination with a cement matrix, reinforcing cloths form a new class of construction structures - textile-reinforced, which are currently one of the most promising materials for use in construction. Compared to traditional reinforced building structures, structures reinforced with textile reinforcement have a number of undeniable advantages, such as high corrosion resistance, lower weight, etc. At the same time, there are modern methods of improving the physical and mechanical properties of concrete, which consist in the application of the mechanism of action of ultra-low concentrations of both organic and inorganic substances, as well as a mixture of fine-grained concrete aggregates. It is obvious that these methods will make it possible to further improve the physical and mechanical properties of textile-reinforced structures. The main goal of the work is to determine the effect of cement matrix activation on the strength of structures reinforced with textile reinforcement, due to the use of ultra-small doses of surface-active substances and a mixture of small concrete aggregates. To achieve the goal, it is necessary to establish how the strength characteristics of textile-reinforced concrete depend on the structure and composition of the concrete matrix. As part of the study, the received samples were tested for transverse bending, their limits of bending and compressive strength, as well as the effectiveness of reinforcement, were determined. It has been proven that samples of modified concrete with textile reinforcement have higher strength characteristics compared to samples of unmodified concrete. In addition, the deformation behavior of textile-reinforced concrete was analyzed. It was determined that the advantage of such concrete is a greater residual bearing capacity, which allows preserving the integrity of the structure without destruction after extreme mechanical effects.

Ключові слова: текстильно-армований бетон, активований дрібнозернистий бетон, міцність, деформативність

Keywords: textile-reinforced structures, activated fine-grained concrete, strength, deformability

Постановка проблеми

На даний час високоміцні текстильно-армовані бетони знаходять нові застосування у будівництві [1-5]. В якості текстильної арматури в основному застосовуються високоміцні та високомодульні полотна, такі як скляні, базальтові, вуглецеві та ін. [1,2]. У поєднанні з бетонною матрицею вони утворюють новий клас будівельних конструкцій – текстильно-армовані, які сьогодні є одними з найперспективніших матеріалів для будівництва. У порівнянні з традиційно армованими будівельними конструкціями, текстильно-армовані мають низку незаперечних переваг, таких як висока корозійна стійкість, менша вага тощо. Тому такий вид армування може знайти ефективне застосування у різних конструкціях, які поєднують у собі легкість, малі габарити та міцність – наприклад, оболонки, перегородки, а також елементи підсилення при реконструкції бетонних та залізобетонних споруд та виготовленні відносно тонких конструкцій порівняно з традиційним залізобетоном. На додаток до всього цього текстильна арматура має значну гнучкість та неповне використання міцнісних характеристик через відносно незначне деформування та міцність бетонної матриці.

На відміну від дискретних армуючих волокнистих елементів, саме в текстильних полотнах широко реалізуються властивості їх складових. Механізм роботи текстильно-армованого композиту з цементною матрицею значно відрізняється від роботи аналогічного композиту на полімерній матриці через величину подовження цементної матриці, яка значно менша за подовження матеріалу, який застосовується для армування. Тому цементна матриця зруйнується раніше, ніж будуть повністю реалізовані деформативні та міцнісні властивості матеріалу армування.

Структура армуючих елементів зазвичай складається з осередків певної геометричної форми, яка може змінюватися, що сприяє проникненню цементної матриці. Від розмірів осередків полотна залежить величина ступеню цілісності матриці і, як наслідок, механічні властивості при однаковому об'ємі армування. Чим більший розмір осередку, тим

вища міцність на зріз матриці, що збільшує характеристики міцності композиту.

Аналіз останніх досліджень

За останні десятиліття розвитку текстильно-армованого бетону було присвячено значну кількість робіт. Зроблено системний підхід до вивчення композитних бетонних конструкцій [3].

У роботах [4–8] описані методи виготовлення і застосування текстильно-армованих конструкцій і посилених текстильно-армованими композитами бетонних конструкцій. Розглянуто залежність характеристик міцності композиту від структурних параметрів армуючих ровінгів і полотен [9-11]. У роботах [11-12] описуються результати застосування полімерів у текстильно-армованому бетоні та розглянуто можливість застосування вуглецевих волокнистих матеріалів і композитів на їх основі у бетонних конструкціях. У дослідженнях [13–16] вивчалися різні моделі, такі як комп'ютерна модель композитної конструкції з бетону, моделі, що описують поведінку конструкції під впливом тривалих навантажень і корозії. Існуючі способи підсилення залізобетонних конструкцій, включаючи підсилення композиційними матеріалами на основі вуглецевих волокон та полімерного в'язучого досліджені в роботі [17]. Збільшення міцності бетонних конструкцій може бути здійснено із застосуванням попередньо напружених текстильних полотен, а також модифікацією матриці мікронаповнювачами [18-21]. В цілому, технологія застосування армуючої сітки з високоміцних ровінгів має ряд переваг у порівнянні із залізобетоном.

У той же час із проаналізованих даних можна зробити висновок, що основними недоліками текстильно-армованих бетонів є значна різниця у міцності та деформативності бетонної матриці та текстильних полотен. Разом з тим, існують сучасні методи підвищення фізико-механічних властивостей бетонів [22-25], які полягають у застосуванні механізму дії надмалих концентрацій як органічних, так і неорганічних речовин. Означені методи вочевидь дозволять підвищити фізико-механічні властивості текстильно-армованих бетонів.

Основна мета роботи полягає у визначенні впливу на міцність текстильно-армованих бетонів модифікації цементної матриці застосуванням надмалих доз поверхнево-активних речовин. Для досягнення поставленої мети необхідно встановити, як характеристики міцності текстильно-армованого бетону залежать від величини надмалих доз поверхнево-активних речовин.

Виклад основного матеріалу

За основний показник якості текстильно-армованого бетону прийнята його міцність при згині. Для можливості порівняння із результатами

досліджень інших дослідників, за прототип були покладена методика досліджень, прийнята в роботі [26]. Відповідно до цієї методики, для виготовлення дослідних зразків текстильно-армованих бетонів використовувався дрібнозернистий бетон із максимальною фракцією дрібного заповнювача 0.63 мм (межа міцності при стиску у віці 28 днів 26 МПа). В якості модифікатора цементної матриці застосовано вуглеводні, які мають нейтральну реакцію, тобто не збільшують лужність системи та не сприяють додатковому руйнуванню скловолокон. Розміри форм прямокутного перерізу для виготовлення зразків склали 56×200×20 мм. У кожен зразок було закладено по 24 полотна в поздовжньому напрямку склополотна симетрично до середньої площини зразка. Відстань між крайніми опорами становила 150 мм. Для випробувань кожного з видів армування було виготовлено серію із 6 зразків, які були випробувані на поперечний згин у віці 28 днів.

За результатами випробувань була визначена величина межі міцності при згині.

На рис. 1 показаний вплив кількості вуглеводню в бетоні на зміну міцності при згинанні текстильно-армованого бетону.

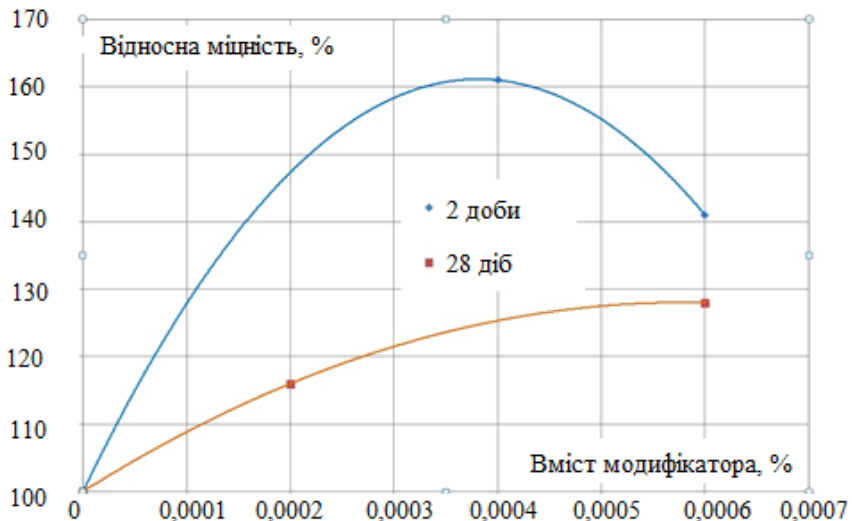


Рис. 1. Вплив вуглеводню на зміну міцності текстильно-армованого бетону

Аналізуючи отримані результати, можна зробити такі висновки. Межа міцності при згинанні неармованого бетону становить 5,2 МПа. Застосування армуючого полотна дає певний приріст у міцності: так, міцність зразків, армованих склоровінгами, досягає 9,5 МПа. Здатність зберігати форму та працездатність без руйнування при великих

деформаціях може знайти застосування у важливих областях, пов'язаних, наприклад, із сейсмостійкістю будівель і споруд.

Як показали експериментальні дані, ефективність застосування модифікатора бетону – вуглеводнів, при виробництві текстильно-армованих бетонів залежить від його кількості.

Зміну міцності при згині текстильно-армованого бетону в часі наведено на рис. 2.

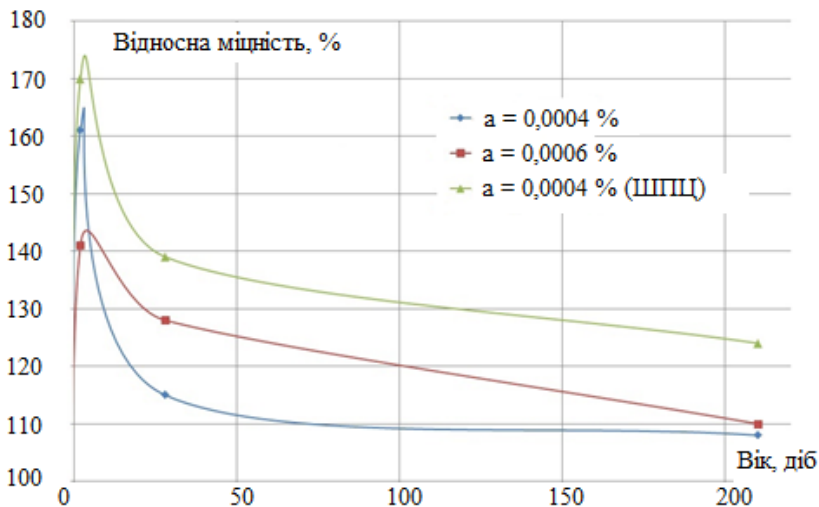


Рис. 2. Зміна міцності текстильно-армованих бетонів в часі (a – вміст модифікатора).

Для зразка модифікованого текстильно-армованого бетону на основі склоровінгів міцність при згинанні збільшилася у перші 7-12 діб на 70% з подальшим зменшенням ефективності (у віці 200 діб підвищення міцності бетону склало 10%). Найбільш ефективним виявилось застосування модифікації бетону на основі шлакопортландцементу.

Як показують результати дослідів (рис.2), ефективність застосування модифікатора, яка характеризується величиною відносної міцності, на протязі часу зменшується. Таким чином, застосування використаного модифікатора бетону при виготовленні текстильно-армованих бетонів ефективно в ранні терміни їх виготовлення і використання. Що особливо важливо при проведенні ремонтних робіт із підсиленням залізобетонних конструкцій.

Вплив активації бетону відбивається на величини найбільш суттєвого показника його міцності – міцності при згині (рис. 3).

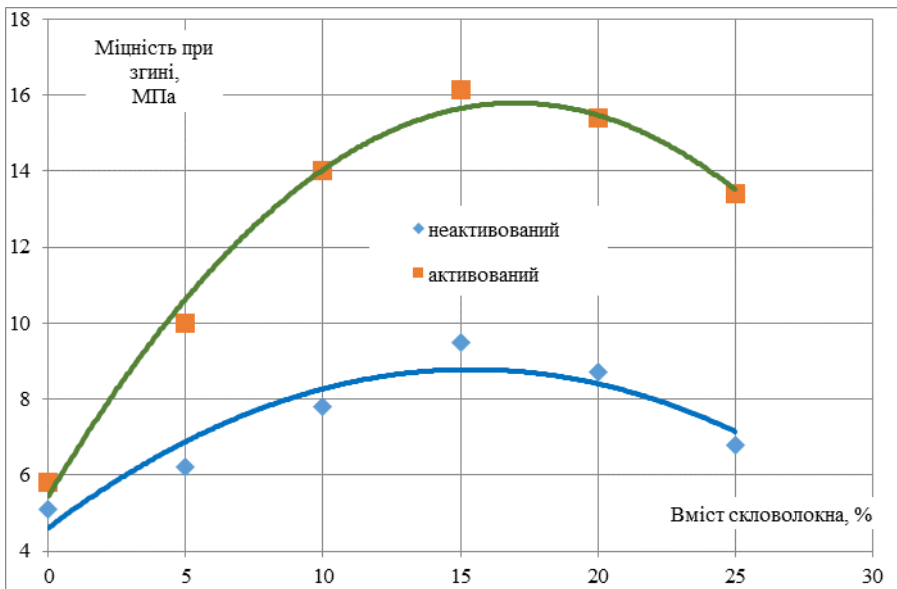


Рис. 3. Вплив активації бетону на величину його міцності при згині

Висновки

Показано, що текстильне армування збільшує міцність композиту у порівнянні з неармуваними бетонами. Ефективність текстильного армування підвищується застосуванням модифікації бетонної матриці. В якості модифікатора бетону доцільно застосовувати органічні речовини, які не дають лужної реакції у воді. Визначено, що зразки бетону, виготовлені з використанням модифікатора, мають більшу міцність при згині, ніж зразки бетону, виготовлені без використання модифікатора. Встановлено, що ефективність дії модифікатора бетону проявляється у перші терміни після виготовлення текстильно-армованого бетону. Досліджувана технологія модифікації текстильно-армованого бетону може бути використана при створенні різних конструкцій, що мають малу товщину та високі характеристики міцності, а також для зменшення терміну будівництва.

References

1. Biryukovich K.L., Biryukovich Yu.L. Biryukovich D.L. *Steklotsement v stroitelstve*. – K.: Budivelnik, 1986. 96.
2. Stolyarov O.N., Quadflieg T., Gries T. Effects of fabric structures on the tensile properties of warp-knitted fabrics used as concrete reinforcements. *Textile Research Journal*. 2015. 85(18). Pp. 1934–1945.

3. Löfgren I. Fibre-reinforced Concrete for Industrial Construction. Department of Civil and Environmental Engineering, Structural engineering. Chalmers University of Technology. Göteborg, Sweden. 2005. 276 p.
4. Hegger J., Voss S. Design methods for textile reinforced concrete under bending and shear loading. Proceedings of the 2nd International FIB Congress. Neapol, 5–8 June 2006. Pp. 1–12.
5. Lesovik V.S., Popov D.Yu., Glagolev Ye.S. Tekstil-beton – effektivnii armirovannii kompozit budushchego. Stroitelnie materialy. 2017. 3. p. 81–84.
6. Biryukovich K.L., Biryukovich Yu.L. Biryukovich D.L. Melkie suda iz steklotsementa i armotsementa. – L.: Sudostroenie, 1965. 164.
7. Voss S., Hegger J. Dimensioning of textile reinforced concrete structures. 1st International Conference Textile Reinforced Concrete (ICTRC). 2006. Pp. 1–10.
8. Voss S. Design methods for textile reinforced concrete. 6th International PhD Symposium in Civil Engineering. 2006. Pp. 1–8.
9. Peled A., Cohen Z., Pasher Y., Roye A., Gries T. Influences of textile characteristics on the tensile properties of warp knitted cement based composites. Cement & Concrete Composites. 2008. 30. Pp. 174–183.
10. Horstmann M., Shams A., Hegger J. Tragverhalten von Sandwichkonstruktionen aus textilbewehrtem Beton. 6 Kolloquium zu textilbewehrten Tragwerken (CTRS6). Gemeinsames Abschlusskolloquium der Sonderforschungsbereiche 528 (Dresden) und 532 (Aachen). Berlin, 19.09.2011–20.09.2011. Pp. 329–340..
11. Paikov A.V., Stolyarov O.N., Semenov S.G., Melnikov B.E. Struktura i svoystva tekstilno armirovannogo betona. Inzhenerno-stroitelnyy zhurnal, №7, 2015. 50-56
12. Kurlapov D.V., Kuvaev A.S., Rodionov A.V., Valeev R.M. Usilenie zhelezobetonnykh konstruksii s primeneniem polimernykh kompozitov. Inzhenerno-stroitelnyy zhurnal. 2009. №3. С. 17–21.
13. Keil A., Raupach M. Improvement of the Load-Bearing Capacity of Textile Reinforced Concrete by the Use of Polymers. Professor Yoshihiko Ohama Symposium. 12th International Congress on Polymers in Concrete. 2007. Pp. 873–881.
14. Parancheva N.V., Nazmeeva T.V. Usilenie stroitelnykh konstruksii s pomoshchyu uglerodnykh kompozitsionnykh materialov. Inzhenerno-stroitelnyy zhurnal. 2010.2. p.19–22.
15. Holler S., Butenweg C., Noh S.-Y., Meskouris K. Computational model of textile-reinforced concrete structures. Computers and Structures. 2004. 82. 1971–1979.
16. Orlowsky J. Modeling the long-term behavior of textile reinforced concrete. Proceedings of the 5th International PhD Symposium in Civil Engineering. Delft, the Netherlands. 16–19 June 2004. Pp. 155–163.
17. Orlowsky J., Antons U., Raupach M. Behaviour of Glass-Filament-Yarns in Concrete as a Function of Time and Environmental Conditions. Brittle Matrix Compositions 7. Elsevier Ltd. 2003. Pp. 233–241.
18. Orlowsky J., Raupach M. Modelling the loss in strength of AR-glass fibres in textile-reinforced concrete. Materials and Structures. 2006. 39. Pp. 635–643.
19. Ovchinnikov I.G., Valiev Sh.N., Ovchinnikov I.I., Zinovev V.S., Umirov A.D. Voprosi usileniya zhelezobetonnykh konstruksii kompozitami: Eksperimentalnie issledovaniya osobennosti usileniya kompozitami izgibaemikh zhelezobetonnykh konstruksii. Naukovedenie. 2012. 4. 7-12.

20. Reinhardt H.W., Kruger M., Grosse C.U. Concrete Prestressed with Textile Fabric. *Journal of Advanced Concrete Technology*. 2003. Vol. 1. №2. Pp. 231–239.
21. Oseikis R., Kichaite A., Skripyunas G., Yakovlev G.I. *Mekhanicheskie kharakteristiki i plastichnost armirovannogo steklovoloknom betona s modifitsirovannoi matritsei. Stroitelnie materialy*. 2018. 12. p. 27–33.
22. Peled A. Pretensioning of fabrics in cement-based composites. *Cement and Concrete Research* 2007. 37. Pp. 805–813.
23. Shyshkina A. Shyshkin A. Application of the easy concentration effect in concrete technology. *Innovative Technology in Architecture and Design (ITAD 2020). IOP Conf. Series: Materials Science and Engineering (2020) 907 012038*
24. Shyshkina A. Shyshkin A. Domnichev A. Concrete with a mixed aggregate and structured water *Norwegian Journal of development of the International Science*. 2020. 51 vol.1. 49-53
25. Shyshkina A. *Betoni visokoї mitsnosti dlya kompozitnikh materialiv. Visnik krivorizkogo natsionalnogo universitetu*. 2022. 54. 42-46
26. Volkova A.A., Paikov A.V., Stolyarov O.N., Semenov S.G., Melnikov B.E. *Struktura i svoystva tekstilno armirovannogo betona. Inzhenerno-stroitel'nyy zhurnal, №7, 2015. 50-55.*

Література

1. Бирюкович К.Л., Бирюкович Ю.Л. Бирюкович Д.Л. *Стеклоцемент в строительстве*. – К.: Будівельник, 1986. 96.
2. Stolyarov O.N., Quadflieg T., Gries T. Effects of fabric structures on the tensile properties of warp-knitted fabrics used as concrete reinforcements. *Textile Research Journal*. 2015. №85(18). Pp. 1934–1945.
3. Löfgren I. *Fibre-reinforced Concrete for Industrial Construction*. Department of Civil and Environmental Engineering, Structural engineering. Chalmers University of Technology. Göteborg, Sweden. 2005. 276 p.
4. Hegger J., Voss S. Design methods for textile reinforced concrete under bending and shear loading. *Proceedings of the 2nd International FIB Congress*. Neapol, 5–8 June 2006. Pp. 1–12.
5. Лесовик В.С., Попов Д.Ю., Глаголев Е.С. *Текстиль-бетон – эффективный армированный композит будущего // Строительные материалы*. 2017. № 3. С. 81–84.
6. Бирюкович К.Л., Бирюкович Ю.Л. Бирюкович Д.Л. *Мелкие суда из стеклоцемента и армоцемента*. – Л.: Судостроение, 1965. 164.
7. Voss S., Hegger J. Dimensioning of textile reinforced concrete structures. 1st International Conference Textile Reinforced Concrete (ICTRC). 2006. Pp. 1–10.
8. Voss S. Design methods for textile reinforced concrete. 6th International PhD Symposium in Civil Engineering. 2006. Pp. 1–8.
9. Peled A., Cohen Z., Pader Y., Roye A., Gries T. Influences of textile characteristics on the tensile properties of warp knitted cement based composites. *Cement & Concrete Composites*. 2008. №30. Pp. 174–183.
10. Horstmann M., Shams A., Hegger J. *Tragverhalten von Sandwichkonstruktionen aus textilbewehrtem Beton*. 6 Kolloquium zu textilbewehrten Tragwerken (CTRS6). Gemeinsames Abschlusskolloquium der Sonderforschungsbereiche 528 (Dresden) und 532 (Aachen). Berlin, 19.09.2011–20.09.2011. Pp. 329–340.
11. А., Пайков А.В., Столяров О.Н., Семенов С.Г., Мельников Б.Е. *Структура*

и свойства текстильноармированного бетона. Инженерно-строительный журнал, №7, 2015. 50-56

12. Курлапов Д.В., Куваев А.С., Родионов А.В., Валеев Р.М. Усиление железобетонных конструкций с применением полимерных композитов. Инженерно-строительный журнал. 2009. №3. С. 17–21.

13. Keil A., Raupach M. Improvement of the Load-Bearing Capacity of Textile Reinforced Concrete by the Use of Polymers. Professor Yoshihiko Ohama Symposium. 12th International Congress on Polymers in Concrete. 2007. Pp. 873–881.

14. Параничева Н.В., Назмеева Т.В. Усиление строительных конструкций с помощью углеродных композиционных материалов. Инженерно-строительный журнал. 2010. №2. С. 19–22.

15. Holler S., Butenweg C., Noh S.-Y., Meskouris K. Computational model of textile-reinforced concrete structures. Computers and Structures. 2004. №82. 1971–1979.

16. Orlowsky J. Modeling the long-term behavior of textile reinforced concrete. Proceedings of the 5th International PhD Symposium in Civil Engineering. Delft, the Netherlands. 16–19 June 2004. Pp. 155–163.

17. Orlowsky J., Antons U., Raupach M. Behaviour of Glass-Filament-Yarns in Concrete as a Function of Time and Environmental Conditions. Brittle Matrix Compositions 7. Elsevier Ltd. 2003. Pp. 233–241.

18. Orlowsky J., Raupach M. Modelling the loss in strength of AR-glass fibres in textile-reinforced concrete. Materials and Structures. 2006. №39. Pp. 635–643.

19. Овчинников И.Г., Валиев Ш.Н., Овчинников И.И., Зиновьев В.С., Умиров А.Д. Вопросы усиления железобетонных конструкций композитами: Экспериментальные исследования особенностей усиления композитами изгибаемых железобетонных конструкций. Науковедение. 2012. 4. 7-12.

20. Reinhardt H.W., Kruger M., Grosse C.U. Concrete Prestressed with Textile Fabric. Journal of Advanced Concrete Technology. 2003. Vol. 1. 2. Pp. 231–239.

21. Оцейкис Р., Кичайте А., Скрипкюнас Г., Яковлев Г.И. Механические характеристики и пластичность армированного стекловолокном бетона с модифицированной матрицей // Строительные материалы. 2018. 12. С. 27–33.

22. Peled A. Pre-tensioning of fabrics in cement-based composites. Cement and Concrete Research 2007. №37. Pp. 805–813.

23. Shyshkina A. Shyshkin A. Application of the easy concentration effect in concrete technology. Innovative Technology in Architecture and Design (ITAD 2020). IOP Conf. Series: Materials Science and Engineering (2020) 907 012038

24. Shyshkina A. Shyshkin A. Domnichev A. Concrete with a mixed aggregate and structured water Norwegian Journal of development of the International Science. 2020. №51 vol.1. 49-53

25. Шишкіна А. Бетони високої міцності для композитних матеріалів. Вісник криворізького національного університету. 2022. 54. 42-46

26. Волкова А.А., Пайков А.В., Столяров О.Н., Семенов С.Г., Мельников Б.Е. Структура и свойства текстильно-армированного бетона. Инженерно-строительный журнал, 7, 2015. 50-55.

МОНІТОРИНГ ВПЛИВУ РОЗРАХУНКОВИХ ХАРАКТЕРИСТИК ТРАНСПОРТНОГО ПОТОКУ НА АВТОМОБІЛЬНИХ ДОРОГАХ

MONITORING THE INFLUENCE OF THE CALCULATED CHARACTERISTICS OF THE TRAFFIC FLOW ON ROADS

Ярещенко Н.В., к.т.н., доц. (Харківський національний автомобільно-дорожній університет)

Yareshchenko N.V., Ph.D., Associate Professor (Kharkiv National Automobile and Road University)

На автомобільному транспорті об'єктом прогнозування та моніторингу є система "Людина - автомобіль – дорога". Всі компоненти системи впливають один на одного. Моніторинг за сукупністю компонентів цієї системи це комплексна система регламентованих нормами періодичних, безперервних, довгострокових спостережень, методів оцінювання і прогнозування розрахункових характеристик транспортного потоку на автомобільних дорогах з метою виявлення його негативних змін і вироблення рекомендації, щодо їх запобігання та усунення.

In road transport, the object of forecasting and monitoring is the system "Man-car-road". All components of the system influence each other. System component monitoring – a complex system regulated by the standards of periodic, continuous, long-term observations, methods of evaluation, and forecasting of the calculated characteristics of the traffic flow on roads to identify its negative changes and develop recommendations for their prevention, elimination, or weakening.

The article describes the prognostication of the mathematical model of the system "man-automobile-road" evolution is suggested.

This article suggests modeling the evolution system at the organizational stage that allows using the model's language. To give a qualitative estimation of the system "man-automobile-road" when they are closed.

The conducted research made it possible to propose the application of the methodology of the analysis of the functioning environment to build a toolkit for the evaluation and optimization of decisions regarding the impact of the calculated characteristics of the traffic flow and the identification of negative factors that affect the road.

Studies of changes and development of this system have shown that during the time interval of its existence, the system periodically goes through closed and open states in terms of organization.

The article describes the prognostication of the calculated characteristics of the traffic flow on roads of the system "man-automobile- road".

The subject of the study is the influence of the calculated characteristics of the traffic flow on roads.

The purpose is to develop a method for predicting design characteristics of the traffic flow on roads and detection of negative impact on roads.

And develop a method for predicting design characteristics of the traffic flow on roads and detection of negative impact on roads.

Materials and methods are the results of world and domestic scientific research, system analysis, mathematical modeling, and method of analysis of the functioning of the environment.

The conducted research has made the use of data envelopment analysis methodology to build assessment tools and optimize environmental solutions on the impact of calculated characteristics of the traffic flow on roads and detection of negative factors that affect the road.

Ключові слова: автомобільна дорога, розрахункові характеристики, математична модель, автомобіль, система.

Keywords: highway, calculated characteristics, mathematical model, automobile, system.

Вплив воєнних дій на території України значно вплинув на стан покриттів автомобільних доріг. Навантаження на автомобільні дороги та їх руйнування привило до того, що 25 тисяч кілометрів доріг пошкоджено, з яких 8,8 тисячі кілометрів – державних також зруйновано 326 мостів та шляхопроводів, 140 – на автошляхах державного значення. [1]

На автомобільному транспорті об'єктом прогнозування та моніторингу є система "Людина – автомобіль - дорога".

Об'єкт дослідження – система "Людина – автомобіль - дорога".

Предмет дослідження – вплив розрахункових характеристик транспортного потоку на автомобільних дорогах.

Мета – вивчення можливості застосування методу аналізу середовища функціонування для визначення і розробки методу прогнозування розрахункових характеристик транспортного потоку на автомобільних дорогах та виявлення негативного впливу на автомобільну дорогу.

Матеріалами й методами є результати світових і вітчизняних наукових досліджень, системний аналіз, математичне моделювання, метод аналізу функціонування середовища.

Проведені дослідження дозволили запропонувати застосування методології аналізу середовища функціонування для побудови інструментарію оцінювання та оптимізації рішень щодо впливу розрахункових характеристик транспортного потоку та виявлення негативних факторів, які впливають на автомобільну дорогу.

Дослідження змін та розвитку цієї системи показали, що в інтервалі часу її існування система періодично проходить замкнуті та розімкнуті в організаційному відношенні стани.

Методика прогнозування розрахункових характеристик, таких як навантаження, швидкість та інтенсивність руху дає можливість моніторингу цих розрахункових характеристик, з метою виявлення негативних змін та вироблення рекомендацій, щодо їх запобігання та усунення.

При розробці проектів та будівництва нової автомобільної дороги, чи реконструкції вже існуючої, необхідно наукове обґрунтування перспективних характеристик – навантаження, швидкостей та інтенсивності руху. [2]

Автомобільні дороги проєктуються на довгу перспективу. Відповідно [3] мінімальний перспективний період роботи капітального жорсткого дорожнього одягу складає 25 років. Відповідно з нормами розрахунковий період експлуатації дороги складає 20 років. [4] Це визначає потрібний термін прогнозування розрахункових характеристик транспортного потоку на автомобільних дорогах.

Система "Людина – автомобіль - дорога" складається з трьох компонентів

Перший компонент системи – людина. Вплив людини на систему, як окремого компонента, може характеризуватися через фактичне навантаження автомобіля, тобто навантаження, яке впливає на дорогу від рухомих засобів. Перейти від конструктивних навантажень до фактичних можна через коефіцієнт використання вантажопідйомності автомобіля. В даному випадку коефіцієнт використання вантажопідйомності відображає вклад людини в цю систему.

Другий компонент системи – автомобіль. Автомобіль може характеризуватися конструктивними навантаженнями, тобто навантаженням на вісь, які закладені заводом виробником. Конструктивні навантаження залежать від вантажопідйомності транспортних засобів та їх ваги. [5]

Третій компонент системи – дорога. Відображенням впливу автомобіля на дорогу є зміна розрахункових навантажень, оскільки останні характеризують можливості дороги по пропуску транспортних засобів певної ваги.

Дане експериментальне дослідження потрібно розглядати як певний етап в розробці прогнозної моделі визначення впливу розрахункових характеристик транспортного потоку на автомобільних дорогах з змінною стратегією на різних його ступенях.

Метою майбутніх досліджень є розроблення та впровадження комплексної основи, яка може виміряти відносну ефективність різних стратегій будівництва доріг та технічного обслуговування доріг під час їх експлуатації. Враховуючи численні входи, виходи та результати, що характеризують процес обслуговування доріг та неконтрольовані фактори,

такі як клімат, дорожній рух, тощо, і які впливають на продуктивність такого процесу.

Мета публікації полягає у вивченні можливості застосування методу аналізу середовища функціонування – методології порівняльного аналізу діяльності складних технічних, економічних і соціальних систем для визначення ефективних варіантів зменшення негативного впливу на автомобільні дороги.

Основна мета моніторингу розрахункових характеристик транспортного потоку полягає у керуванні впливом та мінімізації негативного впливу на автомобільні дороги.

Дані, зібрані методами моніторингу можуть бути введені у системи управління базами даних, де їх можна класифікувати, проаналізувати, візуалізувати та створити діючі відомості, що сприяють прийняттю обґрунтованих рішень. [7]

Перспективне планування розвитку транспортної інфраструктури неможливе без технічних характеристик компонентів автомобільного транспорту.[8] Розробка таких прогнозів потребує процесів, що прогнозуються.

Стосовно до автомобільного транспорту об'єктом прогнозування є стан системи "Людина – автомобіль - дорога".

Розроблена математична модель прогнозування розрахункових характеристик транспортного потоку, методики прогнозування параметрів стану компонентів системи.

Наступна робота є однією з ланок розробки прогнозу необхідних розрахункових характеристик транспортного потоку.

Для прикладу візьмемо одну з розрахункових характеристик транспортного потоку на автомобільних дорогах швидкість руху.

Для транспортного потоку початкова швидкість руху визначається як групова норма швидкості [5]

$$V_{ГН} = V_{r0} = \sum_{i=1}^I V_{Hi} d_i \quad (1)$$

де $V_{ГН}$ - групова норма швидкості руху;

V_{r0} - початкова швидкість руху транспортного потоку;

V_{Hi} - індивідуальна норма швидкості руху i -того автомобіля в транспортному потоці;

d_i - доля автомобілів i -того типу (марки) в транспортному потоці;

I - число автомобілів в транспортному потоці (групі).

Групова норма швидкості руху $V_{Гн}$ може розглядатися як початкова лише для даних дорожніх умов, для даної дороги. Якщо розглядати мережу доріг, то в якості початкової можна використовувати соціальну норму швидкості руху, яка визначається за формулою

$$V_{CH} = V_{C0} = \sum_{m=1}^M V_{ГHm} d_m \quad (2)$$

де V_{CH} - соціальна норма швидкості руху;

V_{C0} - початкова швидкість руху в мережі доріг;

$V_{ГHm}$ - групова норма швидкості руху транспортного потоку на m -тої дороги;

d_m - доля доріг m -того типу в структурі розглянутої мережі доріг;

M - число доріг в транспортної мережі.

Кінцева групова норма швидкості руху визначається як

$$V_{3Г} = V_{ГH} = \sum_{i=1}^I V_{Hci} d_i \quad (3)$$

Аналогічно кінцева соціальна норма швидкості руху дорівнює

$$V_{3C} = V_{CH} = \sum_{m=1}^M V_{3Гm} d_m \quad (4)$$

Розглянуті параметри моделі прогнозування швидкостей руху дозволяють представити цю модель у вигляді:

- для поодинокого автомобіля

$$V(t) = V_{H0}(1 - P_r) + V_{HC} P_r \quad (5)$$

- для транспортного потоку

$$V(t) = V_{ГH0}(1 - P_r) + P_r \sum_{i=1}^I V_{Hci} d_i \quad (6)$$

- для мережі доріг

$$V(t) = V_{ch0} (1 - P_r) + P_r \sum_{m=1}^M V_{3rm} d_m \quad (7)$$

Ця модель прогнозування швидкостей руху може бути використана для будь якої розрахункової характеристики транспортного потоку на автомобільних дорогах.

Це стосується також і навантаження на дорогу, що на даний час є дуже актуальним.

Навантаження на дорогу, які були запроектовані в довоєнний час, наразі не відповідають дійсності. Вони значно зросли. І це не може не впливати на стан дорожнього покриття.

Теоретичний розрахунок навантаження на вісь носить приблизний характер, тому потрібно враховувати, що отримані за його допомогою значення мають похибку приблизно 10 відсотків. [9]

У міжнародних перевезеннях питання нормативів навантаження на вісь вантажного автомобіля стоїть дуже гостро, тому що вантаж перевозиться через різні країни. Тому дорога на Міжнародних транспортних коридорах повинна бути такої якості, щоб витримувала будь яке навантаження.

Моніторинг впливу розрахункових характеристик транспортного потоку на автомобільних дорогах допоможе вирішити це питання.

За результатами дослідження доведено, що переваги моніторингу впливу розрахункових характеристик транспортного потоку полягають у його здатності покращувати якість автомобільних доріг, досліджуючи взаємозв'язок компонентів системи. Прогнозування розрахункових характеристик, таких як навантаження, швидкість та інтенсивність руху дає можливість моніторингу цих розрахункових характеристик виявити негативні зміни та виробити рекомендації, щодо їх запобігання та усунення.

References

1. <https://trans.info/ua/udar-po-dorogah-ukrayini-25-tis-km-zruynovano-bilshist-obyektiv-dovedetsya-buduvati-z-nulya-324170>
2. DBN V. 2.3 - 4. – 20000. Avtomobilni dorogi. Dergkom budivnitstva, architekturu ta gutlovyi politiku Ukrainu. Kuiv. OOO Alefa, 2000, -117 s.
3. Sobko V.M., Sidun U.V., Karasiova K.O., Proektuvania avtomobilnych dorog. Lvivska politechnica, 2019, - 228 s.

4. Stepura V.S., Belyatunskiy A.O., Kugal N.V. Osnovu eksploatacii avtomobilnich dorog I aerodromov. Kuiv, 2014, - 204 s.
5. Yareshchenko N.V. Dvogostrokove prognozuvania shvudkostey ruhu na avtomobilnuch dorogach, avtoref. dis. kand. techn. nauk, Kharkov, 1999, - 17 s.
6. Musienko I.V. Dvogostrokove prognozuvania rozrachunkovuh navantagen na avtomobilnuch dorogach, avtoref. dis. kand. techn. nauk, Kuiv, 2004, - 21 s.
7. Monitoring vpluvu avtomobilnuch dorjg Ukrainu na prurodne seredovushche. Koncha P.A., Sokolova N.M., Avtomobilni dorogi I dorogne budivnutstvo, №.112, - s.112-122
8. Kiyashko I.V., Storogenko M.S., Zinchenko V.M., Prusenko E.D. Organizacia, planuvania ta upravlinia, Navchalnuy posibnuk. Kharkiv, KHNADU, 2003, - 236 s.
9. Athanasius Nikola ides, Highway Engineering, CRC Press, 2017, - 924 s.

Література

1. <https://trans.info/ua/udar-po-dorogah-ukrayini-25-tis-km-zruynovano-bilshist-obyektiv-dovedetsya-buduvati-z-nulya-324170>
2. ДБН В.2.3-4-20000. Автомобільні дороги. Держком будівництва, архітектури та житлової політики України.- Київ, ООО, Алефа, 2000. – 117 с.
3. Собко Ю.М., Сідун Ю.В., Карасьова Л.О. Проектування автомобільних доріг. – Львівська політехніка, 2019,- 228 с.
43. Степура В.С., Белятинський А.О., Кужаль Н.В. Основи експлуатації автомобільних доріг і аеродромів. – Київ, 2014, - 204 с.
5. Автореферат Ярещенко Н.В. Довгострокове прогнозування швидкостей руху на автомобільних дорогах. – Харків, 1999, -17 с.
6. Автореферат Мусієнко І.В. Довгострокове прогнозування розрахункових навантажень на автомобільних дорогах. – Київ, 2004, -23 с.
7. Моніторинг впливу автомобільних доріг на природне середовище. Конча П.А., Соколова Н.М., Науковий журнал "Автомобільні дороги і дорожнє будівництво" №.112, - Київ, 2022, -112-122.
8. Кіяшко І.В., Стороженко М.С., Зінченко В.М., Прусенко Є.Д. Дорожнє виробництво. Організація планування та управління. Навчальний посібник. – Харків, 2003, -236 с.
9. Athanasius Nikola ides. Highway Engineering. CRC Press, 2017, -924 s.

**АЛГОРИТМ РОЗРАХУНКУ ЙМОВІРНОСТЕЙ ПЕРЕХОДУ
КОМПОНЕНТІВ СИСТЕМИ «ЛЮДИНА – АВТОМОБІЛЬ –
СЕРЕДОВИЩЕ РУХУ» З ФАКТИЧНОГО СТАНУ В ЗАДАНИЙ**

**ALGORITHM FOR CALCULATING THE PROBABILITIES OF THE
TRANSITION OF THE COMPONENTS OF THE SYSTEM «MEN –
CAR – ROAD ENVIRONMENT» FROM THE ACTUAL STATE TO THE
SPECIFIED ONE**

**Ярещенко Н. В., к.т.н., доц. (Харківський національний
автомобільно-дорожній університет)**

**Yareshchenko N. V., Ph.D., Associate Professor, (Kharkiv National
Automobile and Road University)**

Пропонується алгоритм по довгостроковому прогнозуванню розрахункових характеристик транспортного потоку на автомобільних дорогах для розробки техніко - економічних розрахунків при проектуванні автомобільних доріг та транспортних коридорів України.

The article proposes an algorithm for long-term forecasting of the calculated characteristics of the traffic flow for the development of technical and economic calculations in the design of highways and transport corridors in Ukraine.

At the current stage, given the existing man-made loads on the road and the environment, the future development of the transport system is important. For this, it is necessary to introduce measures to renew the road infrastructure, introduce new technologies, use production waste, and reduce emissions of harmful substances into the environment. In the practice of substantiating the calculated characteristics of highways, the method of evolutionary-probabilistic modeling is used, which allows for taking into account the qualitative changes of the transport system in the period forecasted in tBased ons of empirical data, a dynamic series of changes in the calculated characteristics of the traffic flow is constructed.

The empirical series of the development of the calculated characteristics of the traffic flow is equalized by the method of moving average or by the method of least squares.

The analysis of the smoothed dynamic series is performed. At the same time, the following are established:

- moments of the beginning and end of periods of the closed state of the system;*
- moments of the beginning and end of the periods of the open state of the system;*
- the term of closed and open state periods;*
- coefficients of growth of the calculated characteristics of the traffic flow in the periods of the closed and open state.*

The data is compared with the tabular data and the stages to which the empirical dynamic series belongs are established.

The moment of the end of the period in which the last point of the dynamic series is located is set.

Using the data, the terms of the following periods, the moments of their beginning and end, as well as the initial and final calculation characteristics for each period are predicted.

Ключові слова: автомобільна дорога, розрахункові характеристики, математична модель, автомобіль, система.

Keywords: highway, calculated characteristics, mathematical model, automobile, system.

На сучасному етапі, за існуючих техногенних навантажень на автомобільну дорогу та навколишнє середовище, є важливим в майбутньому розвиток транспортної системи. Для цього необхідно запроваджувати заходи щодо поновлення дорожньої інфраструктури, впровадження нових технологій, використання відходів виробництва, зменшення викидів шкідливих речовин у навколишнє середовище. [1]

В практиці обґрунтування розрахункових характеристик автомобільних доріг застосовується метод еволюційно-ймовірнісного моделювання, що дозволяє урахувувати якісні зміни транспортної системи в періоді, що прогнозується у часі. Пропонується алгоритм по довгостроковому прогнозуванню розрахункових характеристик транспортного потоку для розробки техніко - економічних розрахунків при проектуванні автомобільних доріг та транспортних коридорів України.

Алгоритм розрахунку ймовірностей переходу компонентів системи "Людина - автомобіль - середовище руху" з фактичного стану в заданий.

1. На основі емпіричних даних будується динамічний ряд зміни розрахункових характеристик транспортного потоку.
2. Емпіричний ряд розвитку розрахункових характеристик транспортного потоку вирівнюється за методом найменших квадратів.[2]
3. Виконується аналіз вирівняного динамічного ряду.[3]

При цьому встановлюються:

- моменти початку та закінчення періодів замкнутого стану системи ЛАСР;
- моменти початку та закінчення періодів розімкнутого стану системи ЛАСР;
- термін періодів замкнутого та розімкнутого стану (лаги станів);
- коефіцієнти приросту розрахункових характеристик транспортного потоку в періоди замкнутого та розімкнутого стану.

4. Дані порівнюють з табличними та встановлюються етапи, до яких відноситься емпіричний динамічний ряд.

5. Встановлюється момент закінчення періоду, в якому знаходиться остання крапка динамічного ряду.

6. Використовуючи дані прогноуються терміни наступних періодів, моменти їх початку та закінчення, а також початкові та кінцеві розрахункові характеристики для кожного періоду.

7. Розраховуються ймовірності переходу від початкової до кінцевої розрахункової характеристики транспортного потоку для кожного періоду, що прогноуються, замкненого стану системи ЛАСР по формулі

$$P_{\alpha} = M_0 C_0 e^{\lambda_1 t} + C_1 e^{\lambda_1 t} [M_1 \cos \beta t - M_2 \sin \beta t] + C_2 e^{\lambda_1 t} [M_2 \cos \beta t + M_1 \sin \beta t] - M_0 C_0 e^{\lambda_1 t_3} - C_1 e^{\lambda_1 t_3} [M_1 \cos \beta t_3 - M_2 \sin \beta t_3] - C_2 e^{\lambda_1 t_3} [M_2 \cos \beta t_3 + M_1 \sin \beta t_3] + 1, \quad (1)$$

де t_3 - тренд стану,

P_{α} – ймовірність.

У процесі розрахунку ймовірностей використовуються параметри моделі розвитку системи ЛАСР.

8. Розраховуються значення розрахункових характеристик транспортного потоку для кожного періоду, що прогноуються, замкненого стану системи ЛАСР по формулі

$$V_{\kappa}(t) = V_{\kappa 0}(1 - P_{\alpha}) + V_{\kappa 3} P_{\alpha}, \quad (2)$$

де $V_{\kappa 0}$ - початкова швидкість періоду замкненого стану;

$V_{\kappa 3}$ - кінцева швидкість періоду замкненого стану.

9. Розраховуються значення швидкостей руху для кожного періоду розімкненого стану, що прогноуються, системи ЛАСР по формулі:

$$V_{\kappa}(t) = V_{\kappa \Pi} + (V_{\kappa \text{К}} - V_{\kappa \Pi})t/T_p, \quad (3)$$

де $V_{\kappa \Pi}$ - початкова швидкість періоду розімкненого стану;

$V_{\kappa \text{К}}$ - кінцева швидкість періоду розімкненого стану;

T_p - термін періоду розімкненого стану (тренд стану);

t - час (рік в даному періоді).

10. Ймовірність P_d розраховується по формулі [4]

$$P_d = N_0 C_0 e^{\lambda_1 t} + C_1 e^{\lambda_1 t} [-N_1 \cos \beta t - N_2 \sin \beta t] + C_2 e^{\lambda_1 t} [-N_2 \cos \beta t + N_1 \sin \beta t] - N_0 C_0 e^{\lambda_1 t_3} - C_1 e^{\lambda_1 t_3} [N_1 \cos \beta t_3 + N_2 \sin \beta t_3] - C_2 e^{\lambda_1 t_3} [-N_2 \cos \beta t_3 + N_1 \sin \beta t_3] + 1, \quad (4)$$

де t_3 - тренд стану;

P – ймовірність дії фактору;

N_0 - середньодобова інтенсивність руху за рік, яка визначається по даних ділянки руху;

11. Прогноз фактичних швидкостей руху розрахункового автомобіля може бути виконаний за формулою

$$V = V_{пл}(1-P_{л}) + V_{пс}P_{л}, \quad (5)$$

де $P_{л}$ – ймовірність знаходження кожного з об'єктів поля сприйняття водія в небезпечному для руху стані [5].

Алгоритм розрахунку ймовірностей переходу компонентів системи "Людина - Автомобіль - Середа руху" з фактичного стану до заданого.

Алгоритм розрахунку ймовірностей $P(t)$ включає наступні операції:

1. Вводяться вхідні дані, які включають:

- коефіцієнти ваги компонентів системи

$$K_a^{(1)} = 0,6666; K_d^{(1)} = 0,16666; K_c^{(1)} = 0,16666;$$

$$K_{л}^{(2)} = 0,16666; K_{д}^{(2)} = 0,6666; K_c^{(2)} = 0,16666;$$

$$K_{л}^{(3)} = 0,6666; K_a^{(3)} = 0,16666; K_c^{(3)} = 0,16666;$$

- лаги замкненого стану t_3 ;

- початкові значення ймовірності $P_{л0}, P_{а0}, P_{д0}$.

2. Розраховуються коефіцієнти моделі розвитку системи за формулами:

$$m_0 = 1 + K_a^{(1)} K_{л}^{(2)} + K_d^{(1)} K_{л}^{(3)};$$

$$m_1 = 2K_a^{(1)} - K_d^{(1)} K_a^{(3)};$$

$$m_2 = 2K_d^{(1)} - K_d^{(2)} K_a^{(1)};$$

$$n_0 = m_0 + m_1 K_{л}^{(1)} + m_2 K_{л}^{(3)};$$

$$n_1 = m_0 K_a^{(1)} + m_1 - m_2 K_a^{(3)};$$

$$n_2 = m_0 K_d^{(1)} - m_1 K_d^{(2)} + m_2.$$

3. Розраховуються коефіцієнти неповного кубічного рівняння за формулами

$$p = -1/3[(n_1 K_d^{(1)} - n_2 K_a^{(1)}) / (K_a^{(1)} m_2 - K_d^{(1)} m_1)]^2 - (n_1 m_2 - n_2 m_1) / (K_a^{(1)} m_2 - K_d^{(1)} m_1);$$

$$q = 2[-(n_1K_d^{(1)} - n_2K_a^{(1)})/3(K_a^{(1)}m_2 - K_d^{(1)}m_1)]^3 - (n_1K_d^{(1)} - n_2K_a^{(1)}) (n_1m_2 - n_2m_1)/3(K_a^{(1)}m_2 - K_d^{(1)}m_1) - [(n_1(m_2 - K_d^{(1)}m_0) + n_2(K_a^{(1)}m_0 - m_1))/(K_a^{(1)}m_2 - K_d^{(1)}m_1) - n_0].$$

4. Розраховується дискримінант неповного кубічного рівняння за формулою

$$D = (p/3)^3 + (q/2)^2.$$

5. Розраховується дійсний корінь кубічного рівняння за формулою

$$\lambda_1 = (A+B) + (n_1K_d^{(1)} - n_2K_a^{(1)})/3(K_a^{(1)}m_2 - K_d^{(1)}m_1),$$

$$\text{де } A = [-q/2 + (D)^{1/2}]^{1/3};$$

$$B = [-q/2 - (D)^{1/2}]^{1/3}.$$

6. Розраховується дійсна частина комплексно-пов'язаних коренів за формулою

$$\alpha = -(A + B)/2 + (n_1K_d^{(1)} - n_2K_a^{(1)})/3(K_a^{(1)}m_2 - K_d^{(1)}m_1).$$

7. Розраховується кругова частота коливань за формулою

$$\beta = (A - B)/2 * (3)^{1/2}.$$

8. Розраховуються коефіцієнти моделі розвитку за формулами

$$M_0 = [1/(K_a^{(1)}m_2 - K_d^{(1)}m_1)][K_d^{(1)}\lambda_1^2 + m_2\lambda_1 + (m_2 - K_d^{(1)}m_0)];$$

$$M_1 = [1/(K_a^{(1)}m_2 - K_d^{(1)}m_1)][K_d^{(1)}(\alpha^2 - \beta^2) + m_2\alpha + (m_2 - K_d^{(1)}m_0)];$$

$$M_2 = [1/(K_a^{(1)}m_2 - K_d^{(1)}m_1)][2K_d^{(1)}\alpha\beta + m_2\beta];$$

$$N_0 = [1/(K_a^{(1)}m_2 - K_d^{(1)}m_1)][(K_a^{(1)}m_0 - m_1) - m_1\lambda_1 - K_a^{(1)}\lambda_1^2];$$

$$N_1 = [1/(K_a^{(1)}m_2 - K_d^{(1)}m_1)][(K_a^{(1)}m_0 - m_1) - m_1\alpha - K_a^{(1)}(\alpha^2 - \beta^2)];$$

$$N_2 = [1/(K_a^{(1)}m_2 - K_d^{(1)}m_1)][2K_a^{(1)}\alpha\beta + m_1\beta].$$

9. Розраховуються визначники моделі за формулою:

$$\Delta_0 = - (1 - e^{\lambda_1 t_3}) [M_1(1 - e^{\alpha t_3} \cos \beta t_3) + M_2 e^{\alpha t_3} \sin \beta t_3] [N_2(1 - e^{\alpha t_3} \cos \beta t_3) + N_1 e^{\alpha t_3} \sin \beta t_3] - (1 - e^{\lambda_1 t_3}) [N_1(1 - e^{\alpha t_3} \cos \beta t_3) - N_2 e^{\alpha t_3} \sin \beta t_3] [M_2(1 - e^{\alpha t_3} \cos \beta t_3) - M_1 e^{\alpha t_3} \sin \beta t_3] + (1 - e^{\alpha t_3} \cos \beta t_3) [M_2(1 - e^{\alpha t_3} \cos \beta t_3) - M_1 e^{\alpha t_3} \sin \beta t_3] N_0(1 - e^{\lambda_1 t_3})$$

$$\begin{aligned}
 & + (1 - e^{\alpha t_3 \cos \beta t_3}) [N_2 (1 - e^{\alpha t_3 \cos \beta t_3}) + N_1 e^{\alpha t_3 \sin \beta t_3}] M_0 (1 - e^{\lambda 1 t_3}) \\
 & - e^{\alpha t_3 \sin \beta t_3} M_0 (1 - e^{\lambda 1 t_3}) [N_0 (1 - e^{\alpha t_3 \cos \beta t_3}) - N_2 e^{\alpha t_3 \sin \beta t_3}] \\
 & - e^{\alpha t_3 \sin \beta t_3} N_0 (1 - e^{\lambda 1 t_3}) [M_1 (1 - e^{\alpha t_3 \cos \beta t_3}) + M_2 e^{\alpha t_3 \sin \beta t_3}]; \\
 \Delta_1 = & (1 - P_{r0}) [M_1 (1 - e^{\alpha t_3 \cos \beta t_3}) + M_2 e^{\alpha t_3 \sin \beta t_3}] [N_2 (1 - e^{\alpha t_3 \cos \beta t_3}) + N_1 e^{\alpha t_3 \sin \beta t_3}] \\
 + (1 - P_{r0}) & [N_1 (1 - e^{\alpha t_3 \cos \beta t_3}) - N_2 e^{\alpha t_3 \sin \beta t_3}] [M_2 (1 - e^{\alpha t_3 \cos \beta t_3}) - M_1 e^{\alpha t_3 \sin \beta t_3}] \\
 & - (1 - P_{d0}) [M_2 (1 - e^{\alpha t_3 \cos \beta t_3}) - M_1 e^{\alpha t_3 \sin \beta t_3}] (1 - e^{\alpha t_3 \cos \beta t_3}) \\
 & - (1 - e^{\alpha t_3 \cos \beta t_3}) (1 - P_{a0}) [N_2 (1 - e^{\alpha t_3 \cos \beta t_3}) + N_1 e^{\alpha t_3 \sin \beta t_3}] \\
 & + e^{\alpha t_3 \sin \beta t_3} (1 - P_{a0}) [N_1 (1 - e^{\alpha t_3 \cos \beta t_3}) - N_2 e^{\alpha t_3 \sin \beta t_3}] \\
 & - e^{\alpha t_3 \sin \beta t_3} (1 - P_{d0}) [M_1 (1 - e^{\alpha t_3 \cos \beta t_3}) + M_2 e^{\alpha t_3 \sin \beta t_3}]; \\
 \Delta_2 = & (1 - e^{\lambda 1 t_3}) (1 - P_{a0}) [N_2 (1 - e^{\alpha t_3 \cos \beta t_3}) + N_1 e^{\alpha t_3 \sin \beta t_3}] \\
 & + (1 - e^{\lambda 1 t_3}) (1 - P_{d0}) [M_2 (1 - e^{\alpha t_3 \cos \beta t_3}) - M_1 e^{\alpha t_3 \sin \beta t_3}] \\
 & - (1 - P_{r0}) [M_2 (1 - e^{\alpha t_3 \cos \beta t_3}) - M_1 e^{\alpha t_3 \sin \beta t_3}] N_0 (1 - e^{\lambda 1}) \\
 & - (1 - P_{r0}) [N_2 (1 - e^{\alpha t_3 \cos \beta t_3}) + N_1 e^{\alpha t_3 \sin \beta t_3}] M_0 (1 - e^{\lambda 1}) \\
 & + e^{\alpha t_3 \sin \beta t_3} M_0 (1 - e^{\lambda 1 t_3}) (1 - P_{d0}) - e^{\alpha t_3 \sin \beta t_3} N_0 (1 - e^{\lambda 1 t_3}) (1 - P_{a0}); \\
 \Delta_3 = & - (1 - e^{\lambda 1 t_3}) [M_1 (1 - e^{\alpha t_3 \cos \beta t_3}) + M_2 e^{\alpha t_3 \sin \beta t_3}] (1 - P_{a0}) \\
 & - (1 - e^{\lambda 1 t_3}) [N_1 (1 - e^{\alpha t_3 \cos \beta t_3}) - N_2 e^{\alpha t_3 \sin \beta t_3}] (1 - P_{a0}) \\
 & - (1 - e^{\alpha t_3 \cos \beta t_3}) (1 - P_{a0}) N_0 (1 - e^{\lambda 1 t_3}) + (1 - e^{\alpha t_3 \cos \beta t_3}) (1 - P_{a0}) M_0 (1 - e^{\lambda 1 t_3}) \\
 & - (1 - P_{r0}) M_0 (1 - e^{\lambda 1 t_3}) [N_1 (1 - e^{\alpha t_3 \cos \beta t_3}) - N_2 e^{\alpha t_3 \sin \beta t_3}] \\
 & + (1 - P_{r0}) N_0 (1 - e^{\lambda 1 t_3}) [M_0 (1 - e^{\alpha t_3 \cos \beta t_3}) + M_2 e^{\alpha t_3 \sin \beta t_3}].
 \end{aligned}$$

10. Розраховуються довільні постійні моделі

$$C_0 = \Delta_1 / \Delta_0,$$

$$C_1 = \Delta_2 / \Delta_0,$$

$$C_2 = \Delta_3 / \Delta_0.$$

11. Розраховуються ймовірності переходу компонентів системи з фактичного стану в заданий за формулою

$$\begin{aligned}
 P_r = & P_{r0} + C_0 (e^{\lambda 1 t} - e^{\lambda 1 t_3}) + e^{\alpha t} [C_1 \cos \beta t + C_2 \sin \beta t] \\
 & - e^{\alpha t_3} [C_1 \cos \beta t + C_2 \sin \beta t] + (1 - P_{r0});
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 P_a = & P_{a0} + M_0 C_0 e^{\lambda 1 t} + C_1 e^{\alpha t} [M_1 \cos \beta t - M_2 \sin \beta t] \\
 & + C_2 e^{\alpha t} [M_2 \cos \beta t + M_1 \sin \beta t] - M_0 C_0 e^{\lambda 1 t_3} \\
 & - C_1 e^{\alpha t_3} [M_1 \cos \beta t_3 - M_2 \sin \beta t_3] - C_2 e^{\alpha t_3} [M_2 \cos \beta t_3 + M_1 \sin \beta t_3] + (1 - P_{a0});
 \end{aligned}$$

$$P_d = P_{d0} + N_0 C_0 e^{\lambda_1 t} + C_1 e^{\alpha t} [N_1 \cos \beta t + N_2 \sin \beta t] + C_2 e^{\alpha t} [-N_2 \cos \beta t + N_1 \sin \beta t] - N_0 C_0 e^{\lambda_1 t_3} - C_1 e^{\alpha t_3} [N_1 \cos \beta t_3 + N_2 \sin \beta t_3] - C_2 e^{\alpha t_3} [-N_2 \cos \beta t_3 + N_1 \sin \beta t_3] + (1 - P_{d0}).$$

Цей алгоритм може застосовуватися для всіх розрахункових характеристик транспортного потоку компонентів системи "Людина - автомобіль - середовище руху", таких як навантаження, інтенсивність та швидкість руху. За результатами досліджень доведено, що алгоритм по довгостроковому прогнозуванню розрахункових характеристик транспортного потоку може застосовуватися для розробки техніко - економічних розрахунків при проектуванні автомобільних доріг та транспортних коридорів України.

References

1. Sobko V.M., Sidun U.V., Karasiova K.O., Proektuvania avtomobilnych dorog. Lvivska politechnica, 2019, - 228 s.
2. Filchakov P.F. Dovidnik z vischoy matematiki. Dumka. 1972. -3743 s.
3. Klepenko V.U., Golez V.L., Vischa matematika v prikladaj I zadachaj. Navchalniy posibnik. Vidavniztvo Zentr uchbovoy literature. 2021. 594 s.
4. Bidyuk P.I., Gogiy O.P. Imoviriano – statistichni metodi modeluvaniy I prognozuvaniy. CHDU. Mikolaiv. 2014. - 440 s.
5. Gavrilov E. V., Gridin A.M., Rypujin V.M. Sistemne proektuvania avtomobilnij dorog. Vid. ASB. 1998. -138 s.

Література

1. Собко Ю.М., Сідун Ю.В., Карасьова Л.О. Проектування автомобільних доріг. – Львівська політехніка, 2019. - 228 с.
2. Фільчаков П.Ф. Довідник з вищої математики. Думка. 1972. - 3743 с.
3. Клепенко В.Ю., Голєць В.Л., Вища математика в прикладах і задачах. Навчальний посібник. Видавництво Центр учбової літератури. 2021. - 594 с.
4. Бідюк П.І., Гожий О.П. Ймовірно – статистичні методи моделювання і прогнозування. ЧДУ. Миколаїв. 2014 р., - 440 с.
5. Гаврилов Е.В., Грідін А.М., Ряпухін В.М. Системне проектування автомобільних доріг. Вид. АСБ, 1998 р., - 138 с.

З М І С Т

Бондаренко О.В., Майстренко О.Ф.	Аналіз системи коефіцієнтів, що використовуються для визначення розрахункового сейсмічного навантаження в нормативних документах для проектування.....	3
Бондарський О.Г., Ужегова О.А.	Дослідження моделі термопружного стану оболонкової системи «конус-циліндр».....	13
Бондарський О.Г., Дробишинець С.Я., Лучинець С.А., Ротко С.В., Ужегова О.А.	Технічне обстеження залізобетонних конструкцій.....	22
Бровко Д.В., Герасимова К.В., Настич О.Б.	Вплив залізовміщуючих речовин на властивості газобетону.....	33
Гомон Св.Св., Свиридюк О.Б.	Область застосування та перспективи використання LVL-композитів в Україні.....	42
Дзюбинська О.В., Дзюбинський А.В., Смаль М.В.	Теоретичні аспекти планування та управління логістичними системами використання відходів на рівні територіальних громад.....	51
Добровольська О.Г., Чудновський П.Б.	Застосування ефективних технологій відновлення мереж транспортування води у післявоєнний період	58
Drapaliuk M.	Cechy rozwiązań technologicznych zapewniających wzrost efektywności energetycznej budynków mieszkaniowych	68
Заякін Д.К., Мікуліч О.А.	Особливості застосування чисельних методів для аналізу напруженого стану пористих будівельних матеріалів.....	76

Карюк А.М.	Теплова надійність стін житлових будівель у регіонах України.....	84
Костюк Т.А., Кас'яненко К.В., Кислюк Д.Я.	Дослідження впливу матеріалів проникної дії для відновлення і ремонту будівель і споруд ТМ NAVIKON.....	92
Ксьоншкевич Л.М., Барабаш І.В., Синій С.В., Крантовська О.М., Мостовий С.М.	Дослідження міцності багатокомпонентного литого бетону для реконструкції та модернізації об'єктів теплопостачання міста.....	101
Мікуліч О.А., Коменда Н.В., Войтюк І.М.	Оцінка ефективності вібропоглинальних властивостей пінистих матеріалів на основі симуляційного аналізу.....	109
Мудрий І.Б.	Зниження витрат при плануванні будівельних майданчиків.....	117
Павліков А.М., Гарькава О.В.	Гранична деформативність бетону в згинальних перearмованих елементах.....	124
Пасічник Р.В., Ротко С.В., Лучинець С.А., Пасічник О.С.	Автоматизований розрахунок плити на пружній основі на додаткове навантаження.....	135
Пиріг Я.І.	Дослідження впливу добавки Selenizza на властивості дорожнього бітуму.....	141
Plahotny G.N., Chernieva O.S.	Features of the combined impact of griven compaction piles and the associated subsoils.....	151
Ротко С.В., Парфентьева І.О., Пасічник Р.В., Ужегова О.А., Чапюк О.С.	Перевірка міцності стін та основ укриття для розробки плану реконструкції головного корпусу Волинської обласної дитячої клінічної лікарні.....	162
Рубан-Головчук З.М., Рубан М.З.	Актуальність використання унікальних муралів в архітектурі сучасного міста.....	171

Сєдов А.В., Фоменко О.О.	Дослідження причин передчасного руйнування залізобетонних елементів мостів та шляхопроводів при використанні хлористих протижелезних матеріалів.....	183
Смоляр А.М., Мірошкіна І.В.	Методика зміцнення виробів із скла за допомогою створення областей напружень стиску.....	192
Уль А.В., Мельник Ю.А., Мельник О.В.	Кількісні інструменти вимірювання та класифікації міського простору.....	201
Фоменко О.О., Сєдов А.В.	Зниження агресивного впливу протижелезних матеріалів на асфальтобетонне покриття при зимовому утриманні автомобільних доріг.....	217
Фоменко О.О., Сєдов А.В.	Особливості використання об'ємних георешіток для зміцнення укосів земляного полотна автомобільних доріг.....	226
Шишкін О.О., Домнічев А.О.	Вплив надмалих доз поверхнево-активних речовин на міцність газобетону, отриманого на пергідролі.....	234
Шишкіна О.О.	Властивості наномодифікованого бетону, армованого текстильною арматурою.....	241
Ярещенко Н.В.	Моніторинг впливу розрахункових характеристик транспортного потоку на автомобільних дорогах.....	250
Ярещенко Н.В.	Алгоритм розрахунку ймовірностей переходу компонентів системи «людина – автомобіль – середовище руху» з фактичного стану в заданий	257

Наукове видання

Сучасні технології та методи розрахунків у будівництві

Збірник наукових праць

Випуск 19

Видається двічі на рік

Верстка С.В. Ротко

Матеріали друкуються в авторській редакції. За стилістику і орфографію статей відповідальність несуть автори

Підписано до друку 23 травня 2023 р.

Формат 60 × 84 1/16. Папір офсетний

Умовн.друк.арк. 16,69. Обл. вид. арк. 16,45. Тираж 100 пр. Зам. № 71

Відділ іміджу та промоції Луцького національного технічного університету, 43018, м. Луцьк, вул. Львівська, 75

Друк – Вежа-Друк. Зам. № 71

(м. Луцьк, вул. Шопена, 12, тел. (+380) 66 936 25 49.

Свідоцтво Держ. комітету телебачення та радіомовлення України

ДК № 4607 від 30.08.2013 р