

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ  
ЛУЦЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

Сучасні технології  
та методи розрахунків у будівництві

Збірник наукових праць

Випуск 10

Луцьк – 2018

У збірнику висвітлюються результати експериментально-теоретичних досліджень будівельних матеріалів і конструкцій, технологій їхнього виготовлення та експлуатації, теорії опору елементів будівельних конструкцій зовнішнім впливам, методів їхнього розрахунку.

Призначений для наукових працівників, спеціалістів проектних установ і виробничих підприємств будівельної галузі, докторантів, аспірантів і студентів вищих навчальних закладів.

#### **Редакційна колегія:**

Головний редактор - **Шваб'юк В.І.**, д.т.н., професор (Луцький НТУ);

Заступник редактора - **Максимович В.М.**, д.ф.-м.н., професор (Луцький НТУ);

Відповідальний секретар - **Андрійчук О.В.**, к.т.н. (Луцький НТУ);

**Бабич Є.М.**, д.т.н., професор (Національний університет водного господарства та природокористування); **Белятинський А.О.**, д.т.н., професор (Національний авіаційний університет); **Богаткевич Януш**, доктор інженерії (Люблінська політехніка, Польща); **Бондарський О.Г.**, к.т.н., доцент (Луцький НТУ); **Делявський М.В.**, д.т.н., професор (Луцький НТУ); **Жданюк В.К.**, д.т.н., професор (Харківський національний автомобільно-дорожній університет); **Іванченко Г.М.**, д.т.н., професор (Київський національний університет будівництва і архітектури); **Карась Славомір**, доктор інженерії (Люблінська політехніка, Польща); **Максимович О.В.**, д.т.н., професор (НУ "ЛП"); **Наумов В.С.**, д.т.н., професор (Краківська політехніка, Польща); **Пастернак Я.М.**, д.ф.-м.н., доцент (Луцький НТУ); **Пустюльга С.І.**, д.т.н., професор (Луцький НТУ); **Савенко В.Я.**, д.т.н., професор (Національний транспортний університет); **Солодкий С.Й.**, д.т.н., професор (Національний університет "Львівська політехніка"); **Трач В.М.**, д.т.н., професор (НУВГП); **Ужегова О.А.**, к.т.н., доцент (Луцький НТУ).

Технічний секретар – **Ужегов С.О.**

Зареєстрований Державною реєстраційною службою України (свідоцтво серія КВ, № 20340-10140Р від 31.05.2013 р.).

Включений Міністерством освіти і науки України до переліку наукових фахових видань України (Наказ МОН України, № 747 від 13.07.2015 р.).

Матеріали збірника рекомендовані до друку на засіданні Вченої ради Луцького НТУ (протокол № 4 від 26 грудня 2018 р.).

**Адреса редакції:** 43018, м. Луцьк, вул. Потебні, 56, Луцький НТУ, кафедра будівництва та цивільна інженерії, e-mail: Zbirnukfbd@gmail.com, <http://bf.lntu.edu.ua/fakultet/zbirnuk.html>, телефон (0332) 26-24-60

УДК 539.3

**ПРО ДЕЯКІ ОСОБЛИВОСТІ ВИКОРИСТАННЯ МЕТОДУ  
СКІНЧЕННИХ РІЗНИЦЬ ПРИ РОЗРАХУНКУ ОБОЛОНОК  
ДОВІЛЬНОЇ ФОРМИ В ПРЯМОКУТНИХ КООРДИНАТАХ**

**ABOUT SOME FEATURES OF THE USE OF THE METHOD OF  
FINAL DIFFERENCES FOR THE CALCULATION OF SHELLS  
OF DIFFERENT FORMS IN DIRECT COORDINATES**

**Андрушков В.І., к.т.н., доцент, Тинчук С.О., к.т.н., доцент (НУВГП,  
м. Рівне)**

**Andrushkov V.I., Ph.D., associate professor, Tynchuk S.O., Ph.D.,  
associate professor (National University of Water and Environmental  
Engineering, Rivne)**

У статті розглядаються деякі особливості використання методу скінченних різниць при запису часткових похідних системи диференціальних рівнянь моментної теорії непологих оболонок в переміщеннях для точок серединної поверхні оболонки, які знаходяться в безпосередній близькості від її кутів.

Equilibrium equations for shells of arbitrary shape in displacements contain, in addition to partial derivatives of the desired displacement functions, also variable coefficients, which depend on the coordinates of its points and the geometry of the middle surface.

When calculating by the finite difference method, it is difficult to write high-order partial derivatives for points located near the corners of the shell. This leads to the appearance of unknown values of displacements and the values of variable coefficients in the fringe points, and therefore, the need to use certain boundary conditions for the angle of the shell. In addition, if the boundary conditions for moving the contour points of the shell are unknown, then the equilibrium equations should also be written for them. But in this case additional unknowns appear again.

It is advisable to obtain such expressions for these derivatives in finite differences, which would not include the values of the function at

the above-mentioned boundary points. The solution to this problem is presented in the materials of this article.

To achieve this goal, we used some possible representations of high-order partial derivatives in finite differences, described in the works of Professor P.M. Varvak. On the basis of this, expressions of partial mixed derivatives were obtained for the point of the middle surface of the shell at various locations relative to the corners of the shell.

A method for calculating shells was proposed, taking into account all the above-mentioned features, namely: the basic equilibrium equations of the shell in displacements should be written only for its internal nodes; to them it is necessary to add equations that display the conditions on its contour, made up in finite differences. When writing the latter, it is necessary to take into account that the first derivatives of the functions can be written in one-sided differences with the same error as for the central differences.

Taking into account all these proposals, the finite-difference method reduces the solution of differential equilibrium equations of the shell in displacements to the solution of a system of linear algebraic equations in which the desired displacements at the nodes of the computational grid are unknown.

Ключові слова: оболонка, диференціальні рівняння, прямокутні координати, часткова похідна, скінченна різниця

Keywords: shell, differential equations, rectangular coordinates, partial derivative, finite difference

Як показано в роботах [1,2,3], задача про розрахунок оболонок довільної форми зводиться до вирішення системи трьох диференціальних рівнянь рівноваги в переміщеннях зі змінними коефіцієнтами. Для її вирішення доцільно скористатися числовим методом скінченних різниць. Так як ця система рівнянь містить не тільки часткові похідні від шуканих функцій переміщень, а й змінні коефіцієнти, які є диференціальними виразами, то скінченно-різницевий запис необхідно поширити на ті й інші.

Скориставшись виразами похідних більш високих порядків, описаних у роботі [4], отримаємо наближені записи для похідних від шуканих функцій в  $I$ -тій точці оболонки (рис.1). Деякі з них представлені в табл.1.

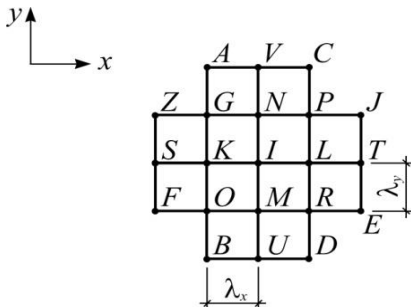


Рис.1. Шаблон-сітка для I-тої точки оболонки

Таблиця 1

Представлення деяких похідних від функції  $f$  в I-тій точці

№ п/п	аналітичне	в скінченних різницях (рис.1)
1	$\frac{\partial f}{\partial x} = (f_{,1})_I$	$\frac{1}{2\lambda_x}(f_L - f_K)$
2	$\frac{\partial f}{\partial y} = (f_{,2})_I$	$\frac{1}{2\lambda_y}(f_N - f_M)$
3	$\frac{\partial^2 f}{\partial x^2} = (f_{,11})_I$	$\frac{1}{\lambda_x^2}(f_L - 2f_I + f_K)$
4	$\frac{\partial^2 f}{\partial y^2} = (f_{,22})_I$	$\frac{1}{\lambda_y^2}(f_N - 2f_I + f_M)$
5	$\frac{\partial^2 f}{\partial x \partial y} = (f_{,12})_I$	$\frac{1}{4\lambda_x \lambda_y}(f_O + f_P - f_G - f_R)$
6	$\frac{\partial^4 f}{\partial x^3 \partial y} = (f_{,1112})_I$	$\frac{1}{4\lambda_x^3 \lambda_y}(f_J + f_F - f_Z - f_E + 2f_G + 2f_R - 2f_P - 2f_O)$
7	$\frac{\partial^4 f}{\partial x \partial y^3} = (f_{,1222})_I$	$\frac{1}{4\lambda_x \lambda_y^3}(f_C + f_B - f_A - f_D + 2f_G + 2f_R - 2f_P - 2f_O)$

Але виникають певні складнощі при запису часткових похідних  $\frac{\partial^4 f}{\partial x^3 \partial y}$  і  $\frac{\partial^4 f}{\partial x \partial y^3}$  для  $I$ -тої точки, що знаходиться в безпосередній близькості від кута прямокутного плану оболонки (рис.2).

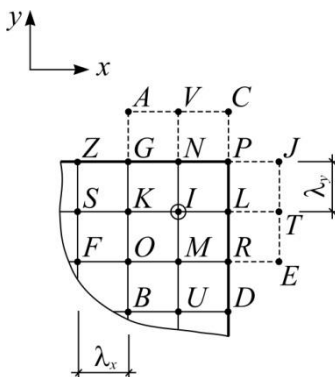


Рис.2. Шаблон-сітка для  $I$ -тої точки біля кута оболонки

Справа в тому, що при розрахунку методом скінченних різниць виникає необхідність в заміні невідомої функції в точках поза контуром оболонки через значення її в точках на контурі і в середині контуру.

Якщо вищезгадані часткові похідні для  $I$ -тої кутової точки записати через оператори, наведені в табл.1, то з'являться значення функції в точках  $C$  і  $J$  поза контуром оболонки (рис.2).

Щоб замінити їх через значення в середніх точках, необхідно використовувати граничні умови для кута оболонки, що іноді є небажаним.

Тому доцільно отримати такі вирази для цих похідних у скінченних різницях, які б не містили вищезазначених точок поза контуром.

З цією метою на додаток до оператора для змішаної похідної другого порядку

$$\left(\frac{\partial^2 f}{\partial x \partial y}\right)_I = \frac{1}{4\lambda_x \lambda_y} (f_O + f_P - f_G - f_R) \quad (1)$$

запишемо ще можливі два варіанти, наведені в роботі [5]:

$$\left(\frac{\partial^2 f}{\partial x \partial y}\right)_I = \frac{1}{2\lambda_x \lambda_y} (f_K + f_L + f_M + f_N - 2f_I - f_G - f_R); \quad (2)$$

$$\left(\frac{\partial^2 f}{\partial x \partial y}\right)_I = \frac{1}{2\lambda_x \lambda_y} (f_K + f_L + f_M + f_N - 2f_I - f_O - f_P). \quad (3)$$

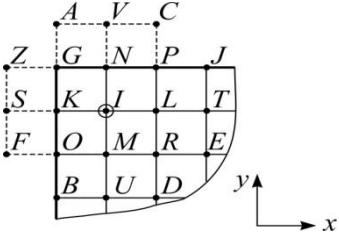
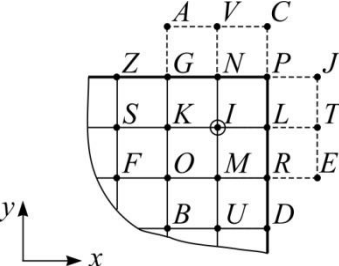
Використовуючи (1), (2) і (3), а також дані табл.1 для **I**-тої точки (рис.2), отримуємо такі вирази часткових похідних:

$$\begin{aligned} \left(\frac{\partial^4 f}{\partial x^3 \partial y}\right)_I &= \left[\frac{\partial^2}{\partial x \partial y} \left(\frac{\partial^2 f}{\partial x^2}\right)\right]_I = \left[\frac{\partial^2}{\partial x \partial y} \left(\frac{f_L - 2f_I + f_K}{\lambda_x^2}\right)\right]_I = \\ &= \frac{1}{2\lambda_x^3 \lambda_y} (f_F + f_T - f_S - f_E + 2f_K + 2f_R - 2f_L - 2f_O); \end{aligned} \quad (4)$$

$$\begin{aligned} \left(\frac{\partial^4 f}{\partial x \partial y^3}\right)_I &= \left[\frac{\partial^2}{\partial x \partial y} \left(\frac{\partial^2 f}{\partial y^2}\right)\right]_I = \left[\frac{\partial^2}{\partial x \partial y} \left(\frac{f_N - 2f_I + f_M}{\lambda_y^2}\right)\right]_I = \\ &= \frac{1}{2\lambda_x \lambda_y^3} (f_V + f_B - f_A - f_U + 2f_M + 2f_G - 2f_N - 2f_O). \end{aligned} \quad (5)$$

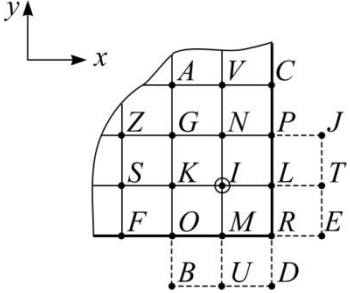
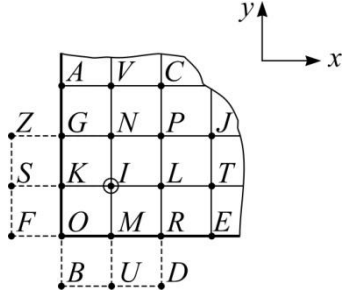
Аналогічно можна отримати вирази таких змішаних часткових похідних для **I**-тої точки при інших розташуваннях її щодо кутів оболонки (табл.2).

Часткові похідні в залежності від місця розташування точки **I**

Розташування точки <b>I</b>	$\frac{\partial^4 f}{\partial x^3 \partial y}, \quad \frac{\partial^4 f}{\partial x \partial y^3}$
	$\frac{\partial^4 f}{\partial x^3 \partial y} \Big _I = \frac{f_F + f_T - f_S - f_E + 2f_K + 2f_R - 2f_L - 2f_O}{2\lambda_x^3 \lambda_y}$ $\frac{\partial^4 f}{\partial x \partial y^3} \Big _I = \frac{f_U + f_C - f_D - f_V + 2f_R + 2f_N - 2f_M - 2f_P}{2\lambda_x \lambda_y^3}$
	$\frac{\partial^4 f}{\partial x^3 \partial y} \Big _I = \frac{f_F + f_T - f_S - f_E + 2f_K + 2f_R - 2f_L - 2f_O}{2\lambda_x^3 \lambda_y}$ $\frac{\partial^4 f}{\partial x \partial y^3} \Big _I = \frac{f_V + f_B - f_A - f_U + 2f_M + 2f_G - 2f_N - 2f_O}{2\lambda_x \lambda_y^3}$



Продовження таблиці 2

	$\left. \frac{\partial^4 f}{\partial x^3 \partial y} \right _I = \frac{f_S + f_J - f_Z - f_T + 2f_G + 2f_L - 2f_K - 2f_P}{2\lambda_x^3 \lambda_y}$
	$\left. \frac{\partial^4 f}{\partial x^3 \partial y} \right _I = \frac{f_S + f_J - f_Z - f_T + 2f_G + 2f_L - 2f_K - 2f_P}{2\lambda_x^3 \lambda_y}$
	$\left. \frac{\partial^4 f}{\partial x \partial y^3} \right _I = \frac{f_U + f_C - f_D - f_V + 2f_R + 2f_N - 2f_M - 2f_P}{2\lambda_x \lambda_y^3}$

Слід зробити акцент ще на одній проблемі, яка може мати місце при розрахунку.

Якщо з граничних умов переміщення контурних точок заздалегідь невідомі, то в цьому випадку систему рівнянь рівноваги оболонки в переміщеннях варто було б записати і для контурних точок. Але тоді це призведе до появи в точках поза контуром оболонки невідомих значень переміщень і виникне необхідність визначення там величин змінних коефіцієнтів, які входять до складу рівнянь.

Щоб уникнути цього, можна поступити наступним чином: основні рівняння рівноваги оболонки в переміщеннях записуємо тільки для її внутрішніх вузлів; до них повинні бути додані рівняння, що відображають граничні умови і складені теж в скінченних різницях, але з однією особливістю. Справа в тому, що згідно з [6] можна записати вирази перших похідних для контурних точок через односторонні різниці з такою ж похибкою, що й для центральних різниць, представивши їх, наприклад, для точки **I** (рис.3), в наступному вигляді:

$$\left(\frac{\partial f}{\partial x}\right)_I = \frac{1}{2\lambda_x}(-3f_I + 4f_L - f_T), \quad (6)$$

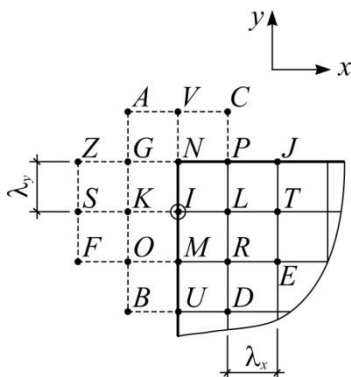


Рис.3. Шаблон-сітка для **I**-тої точки на контурі оболонки

а для точки **P** (рис.3):

$$\left(\frac{\partial f}{\partial y}\right)_P = \frac{1}{2\lambda_y} (3f_P - 4f_L + f_R). \quad (7)$$

Саме таку форму запису слід застосувати для перших похідних від функцій переміщень, що входять у рівняння деяких статичних умов на контурі оболонки.

Таким чином, при використанні операторів, наведених у табл.1 і 2, та односторонніх форм запису перших похідних для граничних умов задачі (6) і (7), метод скінченних різниць зводить рішення диференціальних рівнянь рівноваги оболонки в переміщеннях [1,2,3] до рішення системи лінійних алгебраїчних рівнянь, невідомими в яких є значення шуканих переміщень у вузлах розрахункової сітки.

1. Андрушков В.И., Рассказов А.О. К расчету в перемещениях оболочек произвольной формы. – Прикладная механика. 1981. 17. №11. С.118-121.

2. Андрушков В.І., Русий Є.М. Методика розрахунку оболонок змінної товщини на підставі гіпотези прямих вертикалей. - Вісник НУВГП / Збірник наукових праць. – Рівне: Вид-во НУВГП, 2011. – Випуск 1(53). – Технічні науки. – С.165-170

3. Андрушков В.І. Про один підхід до розрахунку оболонок довільної форми в прямокутних координатах з урахуванням неоднорідності її матеріалу по серединній поверхні. - Збірник наукових праць «Сучасні технології та методи розрахунків у будівництві». - Луцьк: Вид-во Луцького НТУ, 2017.- Випуск 6. С.9-15)

4. Варвак П.М., Варвак Л.П. Метод сеток в задачах расчета строительных конструкций. – М., Стройиздат, 1977. 160 с.

5. Варвак П.М., Рябов А.Ф. Справочник по теории упругости (для инженеров-строителей). - Киев, «Будівельник», 1971. 418 с.

6. Канторович Л.В., Крылов В.И. Приближенные методы высшего анализа. – М.: Физматгиз, 1962. 708 с.

УДК 691.32

## АКТИВАЦІЯ ЗАЛІЗОВМІСНИХ НАПОВНЮВАЧІВ ДЛЯ БЕТОНІВ

## ACTIVATION OF IRON-CONTAINING AGGREGATES FOR CONCRETES

**Астахова Н.В., к.т.н., доц., (Криворізький національний університет, м. Кривий Ріг)**

**N.V. Astakhova, PhD, assoc. prof., (Kryvyi Rih National University, Kryvyi Rih)**

У статті розглядається активація залізовмісних наповнювачів силікатами натрію. Активація залізовмісних мінеральних комплексів силікатами натрію при помелі підвищує їх гідравлічну активність, яка являється однією з важливіших характеристик якості мінеральних добавок.

The necessity to carry considerable amounts of repairing to increase lifespan of industrial buildings and structures that require suspension of operations entails drop in production. Due to this, concretes for repairing building constructions should have a high rate of forming physical and mechanical properties.

Besides, use of Portland cements for concrete production results in not only increased costs of the concrete but also its increased deformability. To include repairing elements into reinforcing construction performance, concretes of the elements should possess low deformability, primarily low settling capacity.

Thus, obtaining concretes capable of reaching the required physical and mechanical properties at decreased consumption of Portland cement receives topicality.

Hydraulic activity of an aggregate and composition of newgrowths resulted during its activation are taken as a criterion of the activating impact of the aggregate on cement brick properties. Considering the fact that iron-based zeolite-like minerals results from the system " $Fe_2O_3 - SiO_2 - CaO - Na_2O$ " – alkali reaction, Kryvyi Rih GZK wastes (" $FeO - Fe_2O_3 - SiO_2 - CO_2$ ") are used as source materials for aggregate

production. Sodium silicates in the form of aqueous solutions (liquid glass) are used as an activating reagent.

Aggregates are obtained through milling GZK wastes with their simultaneous activation by sodium silicates.

Aggregate property change is controlled by hydraulic activity of the aggregate which is determined by the amount of lime bound by it.

It is experimentally proved that mineral complexes represented by the system " $FeO - Fe_2O_3 - SiO_2 - CO_2$ " binds lime. During activation the surface of the obtained mineral powder is saturated with chemically active minerals of the zeolite group that precondition its increased hydraulic activity. The resulted liquid phase is an iron silicate alkaline colloidal solution.

**Ключові слова:** активація, наповнювач, відходи ГЗК, силікати натрію, гідравлічна активність.

**Key words:** activation, aggregate, GZK wastes, sodium silicates, hydraulic activity.

Необхідність виконання значних обсягів ремонтних робіт із подовження термінів експлуатації промислових будівель і споруд, виконання яких найчастіше пов'язано з припиненням основного виробництва, спричиняє за собою зниження випуску продукції. Тому бетони, які використовують для ремонту будівельних конструкцій, повинні мати високу швидкість формування фізико-механічних властивостей.

Крім того, використання для виробництва бетонів портландцементу призводить не тільки до підвищення вартості бетону, але й до підвищення його деформативності, а для забезпечення залучення ремонтних елементів у роботу конструкцій, які підсилюють, бетони цих елементів повинні мати низьку деформативність, і в першу чергу – низьку усадку.

Це пояснюється тим, що підвищена усадка ремонтного бетону призводить до зниження міцності його контакту з матеріалом конструкції, яку підсилюють, аж до порушення цього контакту. Підвищена ж деформативність ремонтного бетону під дією зовнішнього навантаження не дозволить перерозподілити ці зусилля між підсилюваною конструкцією і підсилюючим бетоном.

Таким чином, отримання бетонів, які здатні швидко досягати потрібних фізико-механічних показників, при зниженій витраті портландцементу являється актуальною задачею.

Накопичений досвід наукових досліджень дозволяє виділити два основних напрямки при вирішенні проблеми зниження витрати цементу в технології бетонів: перший – технологічний, за рахунок вдосконалення технології приготування, подачі та ущільнення бетонної суміші, прискорення та оптимізації режимів твердіння, активації цементів; другий – фізико-хімічний, за рахунок вдосконалення структури та складу цементу включенням до його складу нових ефективних компонентів.

Метою дослідження є отримання малоцементного бетону, що володіє високою швидкістю формування фізико-механічних властивостей, шляхом модифікації його структури активованими залізистими цеолітами мінеральними комплексами, що представляють собою систему « $FeO - Fe_2O_3 - SiO_2 - CaO - CO_2$ » різного ступеня дисперсності і залізосилікатним лужним колоїдним розчином.

Для досягнення поставленої мети необхідно вирішити наступну задачу: дослідити вплив залізосилікатного лужного колоїдного розчину та активованого залізистими цеолітами наповнювача, що представляє собою систему « $FeO - Fe_2O_3 - SiO_2 - CaO - CO_2$ », на властивості портландцементу.

У якості критерію активуючого впливу наповнювача на властивості цементного каменю, згідно з [1], використовувалась його гідралічна активність, яка є однією із важливих характеристик якості мінеральних добавок, а також склад новоутворень, отриманих у процесі його активації. Враховуючи, що згідно з [2], цеолітоподібні мінерали на основі заліза утворюються при взаємодії системи « $Fe_2O_3 - SiO_2 - CaO - Na_2O$ » з лугами, в якості вихідних речовин для отримання наповнювачів використовувалися відходи криворізьких гірничозбагачувальних комбінатів, які представляють собою систему « $FeO - Fe_2O_3 - SiO_2 - CO_2$ ». В якості активуючого реагенту використовувалися силікати натрію, які використовували у вигляді водного розчину – рідкого скла.

Отримання наповнювача здійснювали помелом вихідних речовин при одночасній їх активації. При активації наповнювача, в якості активуючої речовини використовували силікати натрію.

Зміну властивостей наповнювача контролювали за його гідравлічною активністю, яку визначали за кількістю зв'язаного ним вапна.

В умовах експерименту при отриманні наповнювача з одночасною його активацією силікатами натрію спостерігається збільшення його гідравлічної активності.

У результаті експерименту також були порівняні значення гідравлічної активності наповнювача з відходів криворізьких гірничозбагачувальних комбінатів залежно від його питомої поверхні (табл. 1).

Таблиця 1

Гідравлічна активність наповнювача з відходів ГЗК при його активації

Залізовмісний наповнювач	Гідравлічна активність, мг/г, при питомій поверхні наповнювача, м <sup>2</sup> /кг			
	300	400	500	600
Відходи ГЗК	7,2	8,0	9,5	10,4

Для встановлення причин підвищення гідравлічної активності отриманого наповнювача при його активації силікатами натрію, був проведений рентгенофазовий аналіз після його термічної обробки впродовж однієї години за температури  $98 \pm 2$  °С у водному розчині силікатів натрію.

Результати цього аналізу (рис. 1) показали, що відходи ГЗК являються активними по відношенню до з'єднань лужних металів.

Це підтверджується тим, що при взаємодії силікатів натрію з відходами ГЗК утворюються такі мінерали групи цеолітів (рис. 1):

- рибекит  $Na_2 \cdot Fe^{2+} \cdot Fe^{3+} \cdot Si_4O_{11}(OH)_2$  ( $d=0,309, 0,253, \mathbf{0,217}, 0,166, 0,131$  нм), який вочевидь являється продуктом реакції магнетиту ( $Fe^{3+}_2 Fe^{2+}O_4$ ), який входить в склад наповнювача, і силікатів натрію;

- шабазит  $Na_2 \cdot [Al(Fe) \cdot Si_2O_6]_2 \cdot 6H_2O$  ( $d=0,93; \mathbf{0,435}; 0,362; 0,324; 0,293$  нм), який вочевидь являється продуктом реакції вюститу, який входить в склад наповнювача, і силікатів натрію.

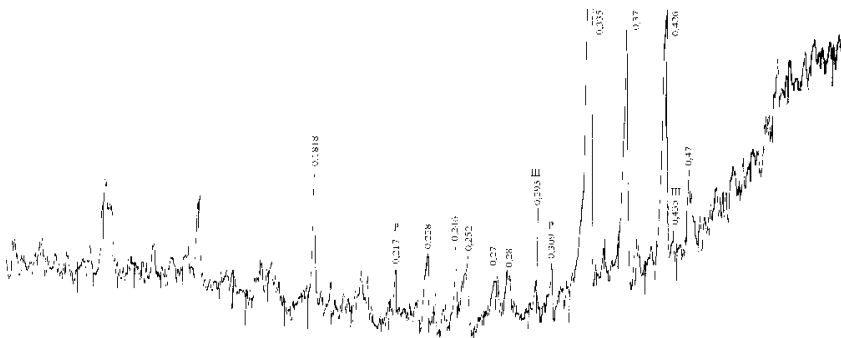


Рис. 1. Рентгенограма наповнювача з відходів ГЗК, активованого силікатами натрію

Ш – шабазит, Р – рибекит

Утворення зазначених мінералів підтверджується наявністю відповідних ліній, а також відсутністю ліній сидериту та магнетиту, та зниженням інтенсивності ліній вюститу на рентгенограмі каменю, отриманого при взаємодії з силікатами натрію наповнювача з активованих відходів ГЗК. Ці данні узгоджуються з результатами досліджень, які раніше були отримані в роботі [2].

Аналіз рідини, яка утворилася при активації залізовмісних речовин силікатами натрію, показав, що вона за своїми властивостями відповідає гідрозолу та має лужну реакцію (табл. 2).

Найменшу величину водневого показника має гідрозоль, який отриманий при співвідношенні компонентів в серії 10. Це свідчить про те, що в даному випадку найбільша кількість натрію зв'язується в нерозчинні з'єднання, якими являються залізисті цеоліти (рис. 1), які утворилися на поверхні залізовмісного наповнювача.

Як показали результати хімічного аналізу, в гідрозолі отриманому при активації відходів ГЗК рідким склом, містяться комплексні іони  $Fe(OH)_4^-$ ,  $Fe(OH)_5^{2-}$ ,  $Fe(OH)_6^{3-}$ , кремнекисневі комплексні іони  $\equiv Si - O^-$  та іони натрію, що повністю відповідає даним досліджень [3]. Тобто даний гідрозоль представляє собою



заліzosилікатний колоїдний розчин, стабілізатором якого є електроліт – іони натрію.

Таблиця 2

Величина водневого показника розчину

Шифр серії	Співвідношення залізовмісний компонент: рідке скло	Співвідношення залізовмісний компонент: силікати натрію	Кількість залізовмісного компонента, г	Кількість рідкого скла, мл	Величина водневого показника рідини, рН
00	0 : 1	0	-	100	14
05	1 : 0,5	0,1	100	40	12,4
10	1 : 1	0,2	100	80	12,0
20	1 : 2	0,4	100	160	12,8
30	1 : 3	0,6	100	240	13,6

Мікроскопічним аналізом встановлено, що після активації силікатами натрію поверхня часток наповнювача, отриманого з відходів ГЗК, стає пухкою.

Таким чином підтверджено, що мінеральні комплекси, які представляють собою систему « $FeO - Fe_2O_3 - SiO_2 - CO_2$ », зв'язують луг. При цьому, в процесі активації поверхня отриманого мінерального порошку насичується хімічно активними мінералами групи цеолітів, які й зумовлюють його підвищену гідралічну активність. Рідка фаза, що утворилася при цьому, представляє собою заліzosилікатний лужний колоїдний розчин.

1. Волженский А.В. Минеральные вяжущие вещества. [Текст] / А.В. Волженский // – М.: Стройиздат, 1986. – 464 с.

2. Шишкин А.А. Бетоны на основе шламов обогащения железных руд и щелочного компонента. / А. А. Шишкин // Дис. канд. техн. наук. Кривой Рог, 1989. - 177 с.

3. Кривенко П.В. Специальные шлакощелочные цементы. [Текст] / П.В. Кривенко // - Київ: Будівельник, 1992. - 192 с.

УДК 692 .721

## **ІННОВАЦІЙНІ ТЕХНОЛОГІЇ ЗАСТОСУВАННЯ ЗЕЛЕНОЇ ПОКРІВЛІ ПРИ ПРОЕКТУВАННІ БУДІВЕЛЬ І СПОРУД**

### **DESIGN FEATURES OF CREATING A GREEN ROOF**

**Вакулюк Я.Є.** студентка (ЗНТУ м. Запоріжжя), **Щербина Л.В.,**  
к. т. н., доцент (ЗНТУ м. Запоріжжя)

**Vakulyuk Y.E.** student (ZNTU Zaporozhye), **Shcherbyna L.V.,**  
Ph.D., senior lecturer (ZNTU Zaporozhye)

У статті описані нові технології для створення й експлуатації зелених покрівель та експериментальних досліджень їхніх елементів, розроблено схеми комплектуючих зелених конструкцій при розвитку сучасних населених пунктів.

Today, energy efficiency of the roof is achieved not only by the use of building and finishing materials, but also through landscaping. The main problems of modern Urbotsenozy are the lack of green zones and the impossibility of their creation through the consolidation of development; a strong reduction of biodiversity up to the complete loss of certain species of plants and animals, leading to environmental imbalances. The way out of the situation is the use of alternative forms of landscaping, which do not require much space, but they perform the necessary sanitary-hygienic and ecological and biological functions. One of these types is roofing landscaping. In most energy efficiency studies, green roofs only consider their building components. However, if the leading green roof designers (for example, ZinCo) investigate the thermal insulation properties of green roofing constructions, the research is mainly commercial in nature, aimed at advertising and increasing demand for services and materials from a particular firm and manufacturer. The purpose of the work is to determine the increase in the efficiency of green constructions to improve the environmental situation, energy efficiency and safety of human life. Determination of the main directions of scientific research of green constructions in order to increase the efficiency of their use. Get acquainted with different types of landscaping. Perform a systematic analysis of the advantages and

disadvantages of using a green roof. The system approaches of the analysis of innovative technologies for creation of a roof, which include economic, ecological and engineering aspects of construction and operation of roof coverings, are developed. The method of setting the green roof is proposed. Two main ways of landscaping are defined: extensive and intensive. Through comparison of structural elements, it has been established that the most effective in use is an extensive method of landscaping. A systematic analysis of the advantages and disadvantages of using a green roof in the concept of the development of modern cities is carried out.

Ключові слова: енергоефективність, зелена покрівля, екстенсивна покрівля, інтенсивна покрівля.

Keywords: energy efficiency, green roof, extensive green roof, intensive green roof.

**Вступ.** Однією з сучасних тенденцій житлового будівництва є розробка та конструювання будівель, у яких комфорт планувальних рішень поєднувався б з екологічністю і енергоефективністю.

Практично половина споживання енергії у розвинених країнах припадає на житлові будинки. Тому одним із основних методів ресурсозбереження стає поліпшення енергоефективності будівель. Інноваційним напрямком у будівництві є створення т.зв. енергоефективних будинків.

**Аналіз останніх досліджень і публікацій.** Енергозбереження та енергоефективність будівель і споруд розглядаються у роботах таких вчених: Карп І.Н. [1], Счастливая Ю.Ю. [2]; можливі варіанти конструктивних рішень «зеленої покрівлі» розкриваються у роботі Титова Н. П. [3].

**Постановка мети і завдання досліджень.** Основне завдання сучасних прийомів проектування полягає у підвищенні енергетичної ефективності будівель і споруд. Під енергетичною ефективністю будівлі розуміють загальну енергоефективність, виражену одним або декількома чисельними показниками, які враховують:

- кліматичні параметри;
- відповідну теплоізоляцію будівлі;

–технічні характеристики та обладнання, внутрішні тепловиділення і мікроклімат, що впливають на потребу в енергії.

У найближчому майбутньому практично всі будівлі, за стандартами, повинні будуть відповідати тим чи іншим нормам енергоефективності.

**Методика досліджень.** Одним із прийомів, що сприяє підвищенню енергоефективності та екологічності будівель і споруд є "озеленення"[1]. Прийоми "озеленення" будівель і споруд характеризуються тим, що в структурі будівель використовуються живі рослини. В основному, використання зелених насаджень пов'язано з затінюванням будівель зовні та поліпшенням якості повітря всередині приміщень. У сучасних проектах рослини застосовуються також, як елемент теплоізоляції зовнішніх стін, і для зниження температури усередині будівель. Архітекторами, які активно користуються такими прийомами, є: BRT Architekten, Stefan Behnisch, Ken Yeang, Norman Foster.

**Результати досліджень.** Дах із травою замість традиційного покрівельного покриття – не ексцентрична марнотратна затія, а цілком практичне рішення. Зелена покрівля – інноваційна технологія, що має багато переваг: підвищує ефективність інженерних рішень, дозволяє отримати економічні пріоритети при експлуатації, а також покращує зовнішній вигляд будівлі.

Зелені покрівлі володіють характеристиками, які не тільки не поступаються звичайним, а й перевершують їх. Так, економія на опаленні взимку та на кондиціонуванні влітку окупає, так скажемо, не найнижчу вартість зведення зеленої покрівлі. Високі показники по гідроізоляції і теплоізоляції роблять систему зелених покрівель ідеальним рішенням завдання зведення екологічної, довговічної і дуже надійної покрівлі.

Слід зазначити, що улаштування таких дахів не тільки красиво, але і практично. Зелена покрівля має триваліший термін служби, ніж виконана із застосуванням бітумних або полімерних матеріалів. Застосування зеленої покрівлі без додаткових витрат дозволяє:

- захистити від перегріву і УФ-випромінювання покрівельні матеріали, значно збільшуючи їх довговічність;
- знизити температуру повітря в містах у літній час (в середньому, до 10°C);

- виключити виділення небезпечних для здоров'я людини летючих речовин і з'єднань з бітумних покрівельних матеріалів;
- знизити забруднення повітря (рослини на даху здатні вловлювати з потоків повітря, що проходять над поверхнею даху, до 50% пилу та знижувати концентрацію шкідливих мікроорганізмів);
- забезпечити надходження кисню (газон площею 150 м<sup>2</sup> виділяє за рік кисню, якого достатньо для дихання ста чоловік);
- знизити загальний шумовий фон від 2 до 10 дБ;
- підвищити за рахунок повільного випаровування вологи з ґрунту вологість повітря у містах, що благотворно впливає на здоров'я людини;
- виключити швидке поширення вогню по поверхні покрівлі при пожежах.

У зелених стандартах LEED, BREEAM, DGNB наявність зелених покрівель вважається компенсаційним заходом у рамках будівництва, що підтримує і відновлює біорізноманіття, яке перешкоджає забрудненню повітря і зменшує викиди парникових газів. Застосування комплексу цих заходів дозволяє набрати значну кількість балів і підвищити рейтинг будівлі при сертифікації.

«Зелені дахи» відповідають екологічним викликам сучасності, не лише прикрашають місто, а й суттєво скорочують витрати електроенергії. У жарку погоду зберігають прохолоду у приміщенні, а взимку є гарними теплоізоляторами. Крім того, зелень на дахах очищує повітря й вбирає дощові опади, розвантажуючи тим самим міську дренажну систему (звісно, де вона є). Технологія зеленої покрівлі дозволяє створити сад в умовах обмеженої площі земельної ділянки.

На тлі глобальних кліматичних змін у світі розвинені країни, зокрема Північної Америки та Європи, включають до своїх екопрограм озеленення дахів, особливо в мегаполісах. Наприклад, активно розвиваються зелені покрівлі в таких містах, як Копенгаген, Париж, Лондон, Берлін, Франкфурт-на-Майні, Нью-Йорк тощо. Одним із лідерів озеленення покрівель є німецька компанія ZinCo [5], головний офіс якої розташований неподалік від Штутгарта. З 1986 по 2009 рік в цьому місті облаштували 66 000 м<sup>2</sup> зелених дахів.

В Україні технологія «зелених дахів» ще не досягла великих масштабів, так як за кордоном, проте її проектування постійно збільшується, так наприклад в Києві з'являються арт-кластери (арт-забуд ПЛАТФОРМА, G13) [2].

Пасивне енергозбереження, виражене в істотних теплоізоляційних властивостях зеленої покрівлі (перешкода нагрівання покрівлі та збереження тепла в будинку), іміджеві та соціальні переваги є стимулом для розвитку архітектурно-конструктивних прийомів улаштування зелених покрівель. Для озеленення застосовуються кліматично стійкі рослини, придатні для посадки в конкретному регіоні. Таким чином, рекультивация не потрібна навіть в умовах суворих зим півночі або спекотного літа півдня.

Система озеленення може бути впроваджена на кожній пласкій покрівлі на будь-якій стадії будівництва. Необхідні умови: наявність бітумної або полімерної протикореневої гідроізоляції і здатність несучої конструкції витримувати незначне додаткове навантаження (при екстенсивному ґрунтопокривному озелененні  $100 \text{ кг/м}^2$  у стані водонакопичення).

Виділяють два типи зелених покрівельних систем: екстенсивна та інтенсивна [4]. Основні відмінності: вартість, товщина земляного покриву, вимоги до догляду та вибору рослин.

Екстенсивні зелені дахи дешевші та легші, ніж інтенсивні. Цей тип використовують для неексплуатованих дахів. Товщина шару рослинного субстрату становить 5-15 см. Склад субстрату може варіюватися, але найчастіше його виготовляють із рослинного ґрунту з добавками піску, керамзиту, торфу та органічних добавок. Рослини для цього типу покрівельної системи повинні бути витривалими та невисокими. Найчастіше використовують для озеленення килимові посухостійкі рослини. Їх поливають і удобрюють тільки в перший рік експлуатації даху для вкорінення. Надалі досить періодично прополювати від бур'янів і перевіряти покрівельну мембрану. Екстенсивна система може бути використана як на плоских, так і на скатних дахах.

Інтенсивна система встановлюється на плоскому даху. Переважно так облаштовують експлуатований тип покрівлі, де можуть розміщуватися доріжки та зони відпочинку. Якщо надійність конструкції дозволяє, то може бути встановлений

басейн. Ґрунтовий шар глибший, ніж у екстенсивного даху, і становить 15-500 см, завдяки чому можна вирощувати рослини, чагарники та навіть невисокі дерева. Обслуговування зелених дахів з інтенсивною системою вимагає більших затрат: потрібно передбачити систему поливу, рослини потребують спеціального догляду.

Можливий варіант комбінації на одному даху інтенсивної та екстенсивної систем. Аналіз конструктивних особливостей зелених покрівель показав, що проектування передбачає розробку «пирога» залежно від типу покрівлі (м'яка, черепична, плоска, похила та ін.); розрахунок вузлів примикання до вертикальних поверхонь для конкретного типу даху; підбір будівельних матеріалів і рослин; можливості її обігріву в зимовий час. Зелена покрівля – конструкція, що вимагає використання високоякісних тепло- та гідроізоляційних матеріалів. Особливу увагу при її проектуванні та будівництві слід приділити вибору гідроізоляції, який диктується особливостями застосовуваної конструкції. На прийняття рішення про застосування тієї чи іншої моделі впливають, в тому числі, і кліматичні чинники.

В основному «зелені дахи» проектують із шести шарів [3]. Можливі варіанти конструктивних рішень наведено на схемі (рис. 1). Щорічно випускаються нові матеріали, які вдосконалюють усталені конструктивні схеми організації покрівель, а також подовжують довговічність. Однак основні принципи залишаються незмінними. Наприклад, для розміщення саду на експлуатованій покрівлі житлового будинку необхідно встановити парапет висотою не менше 1,2 м, передбачити правильний ухил покрівлі для відводу води та внутрішній водостік. Крім цього, важливо передбачити захист рослин від вивітрювання і захисну зону для них, за необхідності посилити несучу здатність основи покрівлі, передбачити пристосування для захисту коріння і поділу різних шарів, використовувати в складі конструкції пароізоляцію, теплоізоляцію і заходи щодо водозахисту всієї системи.

Для проектування зеленого даху потрібен комплект вихідних матеріалів, що включає в себе ситуаційний план забудови, план даху із зазначенням несучих елементів, водостоків, джерел водо- та електропостачання, конструктивні деталі основи, а також розрахунок навантажень. Провідну роль при проектуванні зеленої

покрівлі відіграє правильне розташування водостоків і водовідведення, організації дренажної системи.

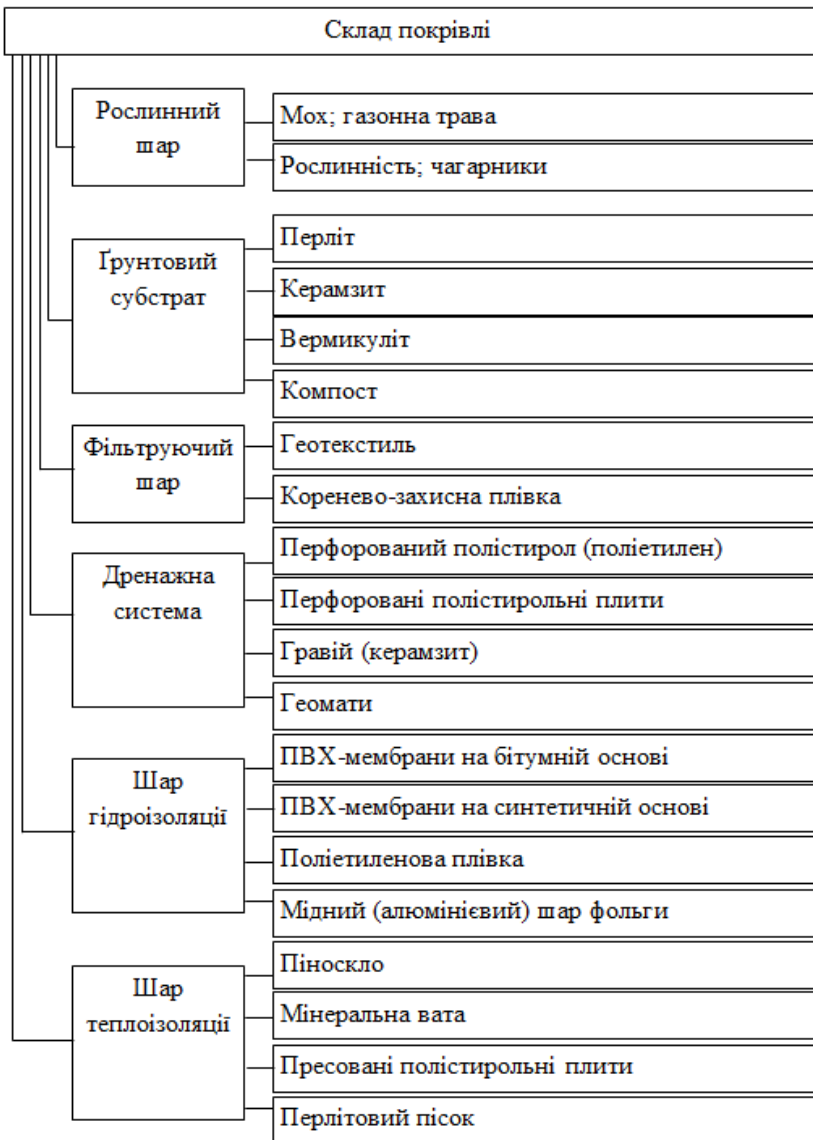


Рис.1. Схема можливих варіантів конструктивних рішень



У завданні на проектування зазвичай вказується тип озеленення, включаючи види рослин, а також розраховується гранична вартість кошторису.

При сьогоднішніх темпах урбанізації та зростання міст, коли у природного середовища забирається все більше простору, тема озеленення особливо актуальна та цікава. Незважаючи на досить високі первинні вкладення, озеленення покрівлі дозволяє істотно заощадити в процесі експлуатації.

**Висновки.** Озеленення покрівель житлових будинків – відмінний спосіб благоустрою території, районів, будинків, а також поліпшення екологічної обстановки міста, це не стільки модне віяння, скільки по-справжньому виправданий проект. Дах – це більше, ніж просто «конструктивний елемент» для захисту будівель і споруд. Вони надають індивідуальності окремим будівлям і цілим районам. Крім того, дахи все більше сприймаються замовником, як незайняті площі. Зелена покрівля – це соціально-орієнтований концепт, спрямований проти втрат житлового простору, що надає нового значення і цінності поняттю «ландшафт даху». Природа повертається у житлове, рекреаційне, виробниче середовище і стає «зеленим елементом» цього середовища.

### **Література**

1. Карп И.Н. Энергосбережение в Украине: проблемы и пути решения / И. Н. Карп // Энерготехнологии и ресурсосбережение. – 2004. – № 4, С. 3–13.
2. Счастливая Ю.Ю. Зелёное строительство: как европецы экономят на тарифах. URL: <https://www.facepnews.ua/columns/2016/310153/>
3. Титова. Н. П. Сады на крышах / Н. П. Титова. – Москва: Олма-Пресс Гранд, 2002. – 27 с.
4. Stroyukrs. Види зелених покрівель: екстенсивні та інтенсивні. URL: <http://stroyukrs.ru/budinok-i-dacha/6522-vidi-zelenih-pokrivel-ekstensivni-ta-intensivni.html>
5. ZinCo. Сад на даху: як озеленюють покрівлі в Україні та Світі. URL: <http://zinco.com.ua/uk/blog/green-roof-ukraine-world>

УДК 624.012.454

**ЗАЛЕЖНІСТЬ МІЖ ВЕЛИЧИНОЮ ЗАЗОРІВ БОЛТОВИХ  
ОТВОРІВ ТА ПОКАЗНИКАМИ МІЦНОСТІ БОЛТОВОГО  
З'ЄДНАННЯ КОМПОЗИТНИХ ПРОФІЛІВ (GFRP)**

**DEPENDENCE BETWEEN CLEARING HOLES'  
DIMENSION AND TOUGHNESS INDECES OF BOLT JOINTS  
FOR GFRP COMPOSITE CROSS-SECTIONS**

**Валовой О.І., к.т.н., проф., Єрьоменко О.Ю., к.т.н., доц., Валовой М.О., к.т.н., доц., Афанасьєв В.В., к.т.н., доц., Герб П.І., к.т.н., доц., Кобзар С.С., студент (Криворізький національний університет, м. Кривий Ріг)**

**Valovoi O.I., PhD, Prof., Eremenko A.U., PhD, Assoc. Prof., Valovoi M.O., PhD, Assoc. Prof., Afanasev V.V., PhD, Assoc. Prof., Gerb P.I., PhD, Assoc. Prof., Kobzar S.S., Stud. (Kryvyi Rih National University, Kryvyi Rih)**

Наведено узагальнені результати аналізу існуючих експериментальних даних впливу зазорів болтових отворів на несучу здатність болтових з'єднань композитних профілів (GFRP).

The summarized analyses results are set out for the existing experimental data of the clearing holes' influence on the bolt joints' bearing ability of composite cross-sections (GFRP).

Corrosion of metal and metal items is the main reason of premature structural failure and ability of a structure to perform satisfactory. The solution is in the using of materials which are inert to moisture effect or other causing corrosion factors. At present in Ukraine there are no specification documents to bring under regulation the using of composite cross-sections and the ways of their combination in the construction.

Among the types of composite materials joints are the following: solid (glue, molding, welded); mechanical (bolt, rivet, needle, cross-linking); combined (clay mechanical).

Bolt joints are the most durable. They provide maintainability of the item. Bolt joints are widely used in construction.

The conducted research allows distinguishing the following basic types of the destruction of the bolt joints of composites, which are exposed to tensile / compressive forces:

- destruction of the weakened material of the composite during stretching;
- destruction due to the cutting of composite material;
- punching of the composite material with a bolt;
- destruction due to cracking with stretching;
- destruction due to jamming;
- destruction of a bolt.

It is stated that destruction due to jamming is more acceptable because it is not of a sudden nature and allows us to take measures to prevent possible consequences. The realization of the latter is possible, taking into account a number of parameters of the connected elements.

One such parameter is the change in the density of the size for bolt holes. An optimally determined gap width between the bolt and the connecting material allows achieving ductile fracture of the joint, which is more acceptable than fragile, sudden destruction.

The fracture mode and specifics of the single-bolted joint's on-load operation of GFRP plates are studied. It is stated that the dimension of the clearing holes from 0 mm to 3 mm does not affect on the final toughness of joint.

At the same time, the clearing of the hole enlarging decreases the stress at the beginning of fracture by 24%. It is defined that optimal dimension of the clearing hole to provide adequate toughness and plastic fracture mode is the hole of opening distance equal to 1-2 mm.

Ключові слова: композитний профіль, болтове з'єднання, міцність, зсув, зминання.

Keywords: FRP-Profiles, bolted joint, strength, shear, bearing.

**Вступ.** Корозія металу та виробів з нього є основною причиною передчасної втрати несучої здатності та придатності до нормальної експлуатації конструкцій. Використання матеріалів, інертних по відношенню до впливу вологи чи інших чинників, які викликають корозію, є шляхом вирішення даної проблеми. До таких матеріалів відносять композитні профілі, які в нашій країні представлені переважно склопластиковими профілями (GFRP). Використання

останніх у світі збільшується переважаючими темпами [1]. В той же час актуальним залишається питання розробки надійних способів поєднання композитних профілів між собою, створення бази типових рішень, щодо означеної проблематики. На теперішній час у нашій країні відсутні нормативні документи, які б регламентували використання композитних профілів в будівництві та способів їх поєднання між собою.

**Аналіз останніх досліджень.** GFRP є найбільш розповсюдженою формою пластикових композитних профілів. Останні складаються зі склоровінга та композитної матриці, які поєднуються в готовий виріб за допомогою процесу пултрузії. Типова структура композитного профілю показана на рис. 1.

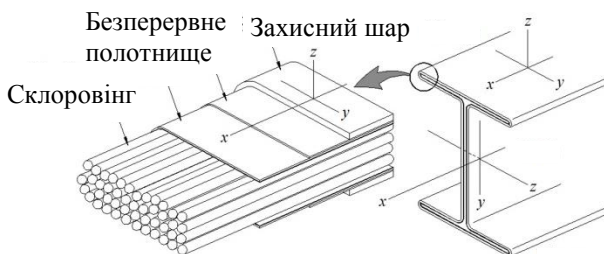


Рис. 1. Структура композитного профілю

Проведені дослідження [2, 3] дозволяють виділити наступні переваги композитних профілів порівняно з металевими: високі питомі міцність та жорсткість, підвищені показники витривалості, корозійна стійкість, низька теплопровідність, немагнітність, низькі витрати на утримання.

Розрізняють такі типи з'єднань композитних матеріалів між собою [4, 5]:

- суцільні (клеєві, формовочні, зварні);
- механічні (болтові, заклепкові, голчасті, зшивні);
- комбіновані (клейомеханічні).

Болтові з'єднання вирізняються найбільшою міцністю. Вони забезпечують ремонтпридатність виробу та отримали найбільше розповсюдження в будівництві.

Проведені раніше дослідження [6-8] дозволяють виділити такі основні види руйнувань болтового з'єднання композитів, які зазнають впливу розтягуючих/стискачих зусиль:

1. Руйнування за ослабленим матеріалом композиту при розтяганні (рис. 2, а);
2. Руйнування внаслідок зрізу матеріалу композиту (рис. 2, б);
3. Продавлювання матеріалу композита болтом (рис. 2, в);
4. Руйнування від сколювання з розтяганням (рис. 2, г);
5. Руйнування від зминання (рис. 2, д);
6. Руйнування болта (рис. 2, е).

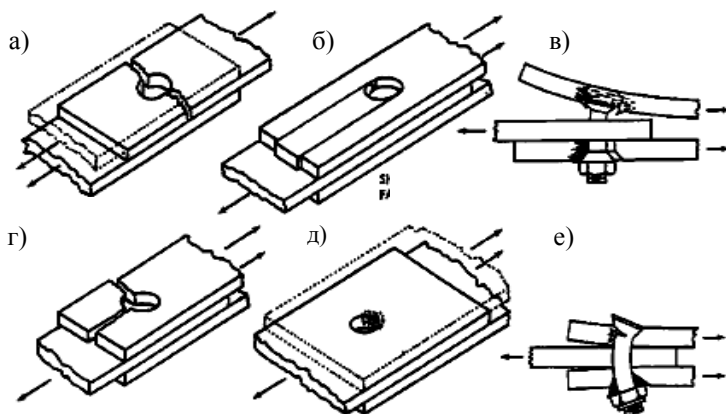


Рис. 2. Схеми руйнування болтових з'єднань композитів GFRP [6]

Встановлено, що руйнування внаслідок зминання є більш прийнятним, оскільки не носить раптового характеру і дає можливість вжити заходів з упередження можливих наслідків. Тобто, проектувати болтове з'єднання потрібно таким чином, щоб руйнування відбулося за схемами, наведеними на рис. 2, б чи 2, д. Досягнення останнього можливе, якщо враховувати ряд параметрів елементів, що з'єднуються, таких як геометричні розміри елементів, відстані між болтами, відстані від середини отвору до зовнішніх граней, зусилля обтиску, що створюються болтом, послідовність розміщення болтів, розмір отворів [6-14].

Серед перелічених факторів зміна щільності розміру отворів під болти може призводити до крихкого руйнування композиту при щільному розташуванні болта або до надмірного рухливого

з'єднання при великих отворах. Оптимально визначена величина зазору між болтом і з'єднувальним матеріалом дозволяє досягти пластичного руйнування з'єднання, що є більш прийнятним, ніж крихке, раптове руйнування.

**Постановка мети та задач досліджень.** Проведений у відкритих джерелах інформації пошук вітчизняних експериментальних даних чи нормативної літератури, щодо впливу діаметрів отворів болтового з'єднання композитів на характер їх руйнування, не дав результатів. Визначення оптимального співвідношення даних характеристик є актуальним питанням розв'язку методів розрахунку виробів із композитних профілів.

**Методика досліджень.** Зважаючи на викладене вище, було проведено узагальнення та аналіз експериментальних відомостей закордонних дослідників [9-14] щодо впливу співвідношення діаметру болта та діаметру отвору на характер роботи та руйнування одноболтового з'єднання композитів.

**Результати досліджень.** Надалі розглядаються результати досліджень, отримані в роботі [9], як більш репрезентативні. В даній роботі аналізу підлягали одноболтові з'єднання окремих прямокутних пластин склопластика (GFRP). Геометрію з'єднувальних елементів та відстані від отворів до їх зовнішніх граней було підібрано таким чином, щоб виключити можливість руйнування за ослабленим перерізом (рис. 2, а) чи сколювання композиту (рис. 2, г). Було використано металеві болти, щоб уникнути можливості руйнування з'єднання від зрізу болта. Змінним фактором виступив діаметр отвору для розташування болта, в той час як діаметр болта залишався незмінним. Різниця між отвором і діаметром болта, залежно від серії, становила 0-3мм і змінювалася з кроком 0,5мм. Маркування зразків за серіями та відповідні їм характеристики зразків наведено в таблиці 1.

Зразки випробовувалися на універсальній випробувальній машині розтягуючим осьовим зусиллям. Поєднання пластин GFRP було виконано таким чином, щоб навантаження діяло вздовж волокон.

Особливості роботи під навантаженням та характер руйнування зразків відображав специфічні властивості склопластиків (рис. 3).

Таблиця 1

Характеристики дослідних зразків [9]

Маркування зразків	Геометричні характеристики				Кількість зразків
	Товщина GFRP пластины $t$ , мм	Діаметр болта $d_b$ , мм	Діаметр отвору $d_o$ , мм	$\Delta d$ , мм	
A-C0.0	10	10	10	0	3
A-C0.5			10.5	0.5	3
A-C1.0			11	1.0	3
A-C1.5			11.5	1.5	3
A-C2.0			12	2.0	3
A-C2.5			12.5	2.5	3
A-C3.0			13	3.0	3

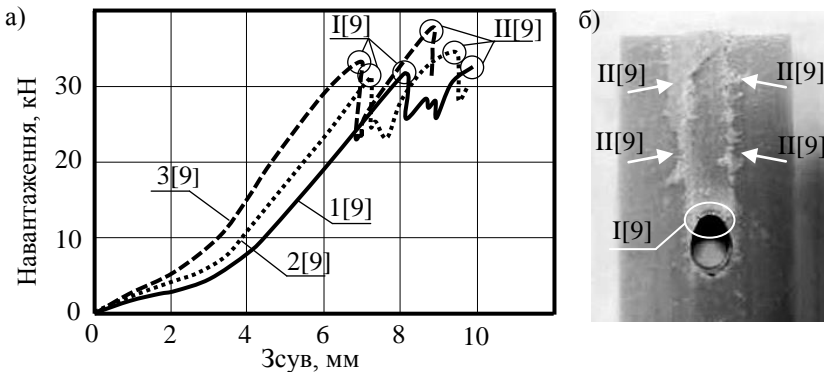


Рис. 3. Характер роботи зразків під навантаженням 9]: а) – залежність навантаження-зсув дослідних зразків; б) – загальний вигляд зруйнованого зразка; I – початок руйнування від локального змінання; II - остаточне руйнування від зсуву (зрізу); 1 - A-C1.0; 2 - A-C2.0; 3 - A-C3.0

Як видно з рис. 3, навантаження початкового рівня викликали деформації з'єднання, які наростали за лінійною залежністю. Нелінійність на початку роботи пояснюється початковими деформаціями на величину, яка відповідає проміжку між поверхнею болта та отвором. Подальше збільшення навантаження призводило до змінання частини матеріалу GFRP під боковою поверхнею болта

(ділянка I, рис. 3). Даний процес відбувається внаслідок роздроблення композиту матриці та проминання склоровінгу, що відповідає типу руйнування, наведеному на рис. 2, д. Цьому етапу роботи зразків відповідає низхідна крива залежності навантаження-зсув (рис. 3,а). Надалі відбувається незначне зростання несучої здатності, пов'язане з перерозподілом зусиль у з'єднанні (висхідна крива між ділянками I та II, рис. 3,а). При цьому формуються поздовжні тріщини, які беруть початок біля бокових граней болта, простягаючись до кінця пластини в напрямку дії навантаження (рис. 3,б), що відповідає режиму руйнування, наведеному на рис. 2,б. Зростання навантаження призводить до руйнування внаслідок зсуву (зрізу) з втратою несучої здатності з'єднання (ділянка II, рис. 3). Схожий характер руйнування болтових з'єднань односпрямованих композитів відмічають і інші дослідники [8, 12, 14].

У роботі [9] запропоновано етап роботи з'єднання, який відповідає ділянці I, називати місцевою втратою несучої здатності, а ділянці II – структурним (остаточним) руйнуванням з'єднання.

У таблиці 2 наведено значення зусиль, які відповідають місцевій втраті несучої здатності дослідних зразків та їх структурному руйнуванню.

Таблиця 2

Показники несучої здатності болтового з'єднання GFRP [9]

Серія зразків	Навантаження, яке відповідає місцевій втраті несучої здатності, кН	Навантаження, яке відповідає структурному руйнуванню, кН
A-C0.0	32.25	35.97
A-C0.5	28.59	38.62
A-C1.0	29.00	38.56
A-C1.5	29.81	35.44
A-C2.0	29.64	35.95
A-C2.5	25.37	38.65
A-C3.0	24.63	37.19

Аналіз таблиці 2 вказує на те, що зміна діаметру отвору болтового з'єднання GFRP не призводить до зменшення загальної міцності з'єднання. Так, величини зовнішнього навантаження, при яких відбувалося структурне руйнування зразків, відрізняються не



більше, ніж на 7%. Крім того, відсутня чітка залежність зміни величини руйнівного навантаження від величини проміжку між болтом і боковою поверхнею матеріалу GFRP. При цьому спостерігається чітка залежність зменшення величини зусилля місцевої втрати несучої здатності зі збільшенням діаметру отвору. Різниця даних показників склала близько 24%.

Наведені в таблиці 2 результати вказують на те, що при мінімальній величині зазорів отворів болтів (зразок А-С0.0) стадія структурного руйнування (35.97 кН) починається практично відразу після стадії місцевої втрати несучої здатності (32.25). Останнє свідчить про крихкий, раптовий характер руйнування.

З огляду на сказане, можна зробити висновок, що оптимальним є величина зазору в межах 1,0-2,0мм. Так, зразки А-С1.0, А-С1.5, А-С2.0 мають високі показники місцевої та загальної міцності, при цьому забезпечено пластичний характер руйнування з'єднання.

**Висновки.** Проведений загальний [8, 10-14] та опосередкований [9] аналіз існуючих досліджень впливу величини зазору болтових отворів на міцність з'єднання дозволяє зробити такі висновки:

- зміна величини зазору болтових отворів не впливає на загальну структурну міцність болтового з'єднання GFRP [9, 11];
- збільшення величини зазору болтових отворів призводить до зменшення величини зусилля місцевої втрати несучої здатності болтового з'єднання GFRP (збільшення зазору з 0 мм до 3 мм призвело до зменшення даного зусилля на 24% [9]);
- мінімальна величина зазору (0 мм) призводить до крихкого характеру руйнування з'єднання [8, 9, 12];
- оптимальною з точки зору показників міцності та характеру руйнування зразків є величина зазору болтового отвору, яка знаходиться в межах 1,0-2,0 мм [8, 9, 11].

Наведені висновки можуть бути використанні при проектуванні болтових з'єднань GFRP елементів, але вони потребують уточнення шляхом проведення додаткових експериментальних досліджень.

1. L. Ascione, J.-F. Caron, P. Godonou, K. Van Ijsselmuijden, J. Knippers, T. Mottram, M. Oppe, M. G. Sorensen, J. Taby, L. T. Editors, E. Gutierrez, S. Dimova, and S. Denton, Prospect for New Guidance in the Design of Frp. 2016.

2. Karbhari, V. M., and Zhao, L. (2000). Use of composites for 21st century civil infrastructure. *Computer Methods in Applied Mechanics and Engineering*, 185, 433-454.
3. Wang M., Zhang Z., Li Y., Li M., Sun Z. (2008). Chemical Durability and Mechanical Properties of Alkali-proof Basalt Fiber and its Reinforced Epoxy Composites. *Journal of Reinforced Plastics and Composites* 27(4), 393-407.
4. Семин, М. И. Расчеты соединений элементов конструкций из полимерных материалов на прочность и долговечность [Текст]: моно-графия / М. И. Семин. – М.: МАДИ, 2016. – 92 с.
5. Park, J.S, Lee, S, Joo, H.J, Yoon, S.J, 2009, 'Experimental and analytical investigations on the bolted joints in pultruded FRP structural members', *International Institute for FRP in Construction for the Asia-Pacific Region*, pp 395-400.
6. Hart-Smith, L. J. (1996a). "Analysis methods for bolted composite joints subjected to in-plane shear loads," *Proc., AGARD 83rd Structures and Materials Panel: Bolted/Bonded Joints in Polymeric Composites, Specialist Meeting, Florence, Italy, September 2-3. McDonnell Douglas Corp. Paper MDC 96K-0086.*
7. Hassan, N. K., Mohamedien, M. A., and Rizkalla, S. H. (1997). "Rational model for multibolted connections for GFRP members." *J. Composites for Constr.* 1(2), 71-78.
8. Turvey, G. J. (1998). "Single-bolt tension joint tests on pultruded GRP plate: Effects of tension direction relative to pultrusion direction" *Composite Struct.*, 42(4), 341-351.
9. Sang-Pyuk Woo, Sun-Hee Kim, Soon-Jong Yoon, and Wonchang Choi, "Effect of Bolt-Hole Clearance on Bolted Connection Behavior for Pultruded Fiber-Reinforced Polymer Structural Plastic Members," *International Journal of Polymer Science*, vol. 2017, Article ID 8745405, 12 pages, 2017.
10. Li G, Wu X, Zhang C, Hu H, Zhang Y, Zhang Z. Theoretical simulation and experimental verification of C/SiC joints with pins or bolts. *Mater Des* 2014;53:1071-6.
11. T. A. D. Tajeuna, F. Lregeron, S. Langlois, and M. Demers, "Effect of geometric parameters on the behavior of bolted GFRP pultruded plates," *Journal of Composite Materials*, vol. 50, no. 26, pp. 3731-3749, 2016.
12. Y. Xiao and T. Ishikawa, "Bearing strength and failure behavior of bolted composite joints (part I: Experimental investigation)," *Composites Science and Technology*, vol. 65, no. 7-8, pp. 1022-1031, 2005.
13. G. Kelly and S. Hallström, "Bearing strength of carbon fibre/epoxy laminates: Effects of bolt-hole clearance," *Composites Part B: Engineering*, vol. 35, no. 4, pp. 331-343, 2004.
14. M.A. McCarthy, V. P. Lawlor, W. F. Stanley, and C. T. McCarthy, "Bolt-hole clearance effects and strength criteria in single-bolt, single-lap, composite bolted joints," *Composites Science and Technology*, vol. 62, no. 10-11, pp. 1415-1431, 2002.

УДК 692

**РОЗРАХУНОК БАГАТОПРОЛІТНОЇ МОНОЛІТНОЇ  
ЗАЛІЗОБЕТОННОЇ ПЛИТИ ПЕРЕКРИТТЯ У ФІЗИЧНО  
НЕЛІНІЙНІЙ ПОСТАНОВЦІ ЗА ДОПОМОГОЮ  
ПК ЛІРА-САПР**

**CALCULATION OF A MULTI-SPAN MONOLITHIC  
REINFORCED CONCRETE FLOOR SLAB IN A PHYSICALLY  
NONLINEAR FORMULATION IN THE PC LIRA-SAPR**

**Вінцюк М.В., магістр, Самчук В.П., к.т.н., доц., Кислюк Д.Я.,  
к.т.н., доц. (Луцький національний технічний університет, м. Луцьк)**

**M. Vintsyuk, master, V. Samchuk, Ph.D. in Engineering, Associate  
Professor, D. Kysluk, Ph.D. in Engineering, Associate Professor, (Lutsk  
National Technical University, Lutsk)**

Під час розрахунку будівельних конструкцій нормативні документи рекомендують враховувати нелінійні характеристики матеріалів. У публікації досліджено роботу багатопролітної монолітної залізобетонної плити перекриття у фізично нелінійній постановці за допомогою ПК «ЛІРА-САПР».

When calculating building structures normative documents recommend to take into account the nonlinear characteristics of materials. In the publication the research of work of multi-pass monolithic reinforced concrete slab in a physically non-linear setting with the help of PC "LIRA-SAPR" was performed.

The calculation of a monolithic multi-pass reinforced concrete slab was carried out by three methods, which are available in PC "LIRA-CAD", namely: linear calculation, physical-nonlinear calculation and calculation by the method of "engineering nonlinearity". As a result, it can be seen that in nonlinear methods, taking into account the change in stiffness, the stresses in the plate increase. When physically nonlinear calculations, we get an opportunity to analyze the width of the opening, the depth and the nature of the formation of cracks. Application of the method "engineering nonlinearity" allows you to see how the rigidity of the plate varies depending on the selected reinforcement.

**Ключові слова:** фізична нелінійність, нелінійний розрахунок, плита перекриття, розрахунок будівельних конструкцій.

**Keywords:** physical nonlinearity, nonlinear calculation, floor slab, calculation of building constructions.

**Постановка проблеми.** Розрахунок будівельних конструкцій повинен якомога достовірніше враховувати умови роботи об'єкта та його напружено-деформований стан. У задачах, які розв'язуються в лінійній постановці, приймається лінійна залежність між силами, що діють на конструкцію, і переміщеннями її вузлів, а в основі фізичних рівнянь, як правило, лежить узагальнений закон Гука. Для певного класу задач таке припущення не відповідає дійсності. Наприклад, бетон характеризується нелінійною залежністю між напруженнями та деформаціями, навіть при невеликих навантаженнях. Така нелінійність називається фізичною.

Врахування нелінійної роботи конструкцій дозволяє виявляти додаткові резерви несучої здатності, знижувати їх матеріаломісткість, моделювати процеси життєвого циклу конструкцій – процес навантаження, процес зведення, процес зміни НДС у часі, а також розраховувати стійкість до прогресуючого обвалення.

У зв'язку з цим, актуальними є дослідження роботи монолітних залізобетонних конструкцій, зокрема плит перекриття, у фізично нелінійній постановці за допомогою сучасних розрахункових комплексів з метою порівняння й аналізу результатів лінійного та нелінійного розрахунків.

**Аналіз останніх досліджень.** Для розрахунку та конструювання будівельних конструкцій широко використовуються програмні комплекси, серед яких особливої уваги заслуговують ПК «ЛІРА-САПР» і «SCAD».

Опису їх функціональних можливостей присвячено чимало робіт, зокрема [1], [2] та [3], проте актуальними залишаються питання, пов'язані з оглядом та аналізом методів нелінійного розрахунку, які дозволяють проводити уточнене проектування будівельних конструкцій, яке, у свою чергу, підвищить надійність будівельних конструкцій і знизить їх вартість.

**Мета дослідження:** виконати розрахунок монолітної багатопролітної залізобетонної плити перекриття у лінійній постановці, з урахуванням фізичної нелінійності, а також з

використанням вбудованої у ПК ЛІРА-САПР функції «інженерна нелінійність» та проаналізувати отримані результати.

**Вклад основного матеріалу.** Конструктивні характеристики плити (рис. 1) та вхідні дані:

- клас бетону С16/20,  $f_{cd} = 11,5 \text{ МПа}$ ;
- висота перерізу плити  $h = 0,07 \text{ м}$ ;
- клас арматури А400С,  $f_{yd} = 365 \text{ МПа}$ .

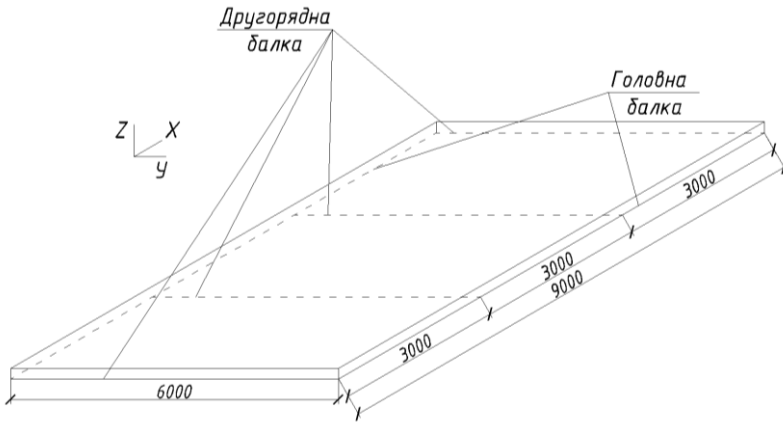


Рис. 1. Схема монолітної плити

За допомогою лінійного розрахунку були визначені вертикальні переміщення вузлів плити, зусилля, а також підбране армування.

Лінійний розрахунок плити та підбір арматури проводився відповідно до ДБН В.2.6-98:2009.

Результати лінійного розрахунку представлені на рис. 2 – 4. Фізична нелінійність зумовлена урахуванням нелінійної залежності між компонентами узагальнених напружень і деформацій та характеризує роботу матеріалу конструкції у пружнопластичному стані.

У ПК ЛІРА-САПР для вирішення фізично нелінійних задач використовується нелінійний процесор і кроковий або кроково-ітераційний метод.

У фізично нелінійних задачах відсутня лінійна залежність між напруженнями та деформаціями. Матеріал конструкції підпорядковується нелінійному закону деформування (нелінійна пружність). Закон деформування може бути симетричним і несиметричним – з різними межами опору розтягу та стиску. Задачі з такими умовами вирішуються кроковим методом.

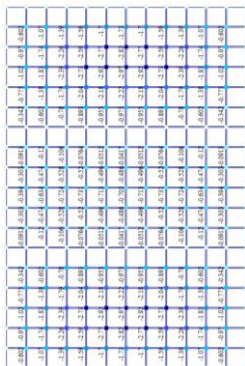


Рис. 2. Переміщення плити по осі Oz, мм

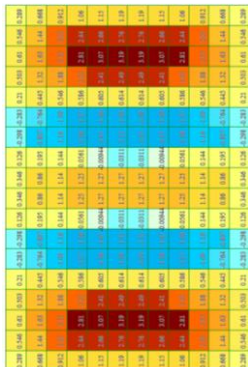


Рис. 3. Мозаїка напружень по Mx, мм

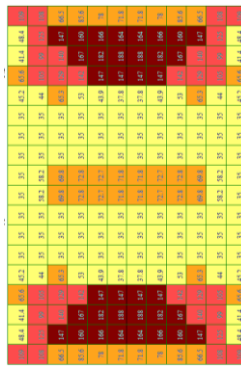


Рис. 4. Нижнє армування плити по осі X, мм<sup>2</sup>

При вирішенні задач, у яких моделюється пружно-пластична робота матеріалу, що описується діаграмою Прандтля, застосовується кроково-ітераційний метод.

Нелінійний процесор реалізує кілька методів для вирішення нелінійних задач різних типів:

- кроковий метод;
- метод січних;
- ітераційний метод,

та пропонує декілька законів нелінійного деформування матеріалів:

- трилінійний закон деформування;
- кусочно-лінійна залежність  $\sigma$ - $\epsilon$ ;
- експоненціальна залежність;
- закон деформування Генієва;

- експоненціальна залежність для залізобетону з нормативної міцністю;
- експоненціальна залежність для залізобетону з розрахунковою міцністю.

Для проведення розрахунку з врахуванням фізичної нелінійності матеріалів у нашому випадку був обраний кроковий метод та експоненціальна залежність між напруженнями та деформаціями. Армування плити приймалося визначене за лінійним розрахунком (рис. 5 – 7). Також були задані закони деформування матеріалів (рис. 8, 9) і згенеровано нелінійну форму навантажень.

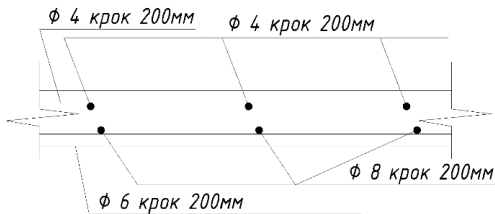


Рис. 5. Армування плити в площині уОz в крайніх прольотах

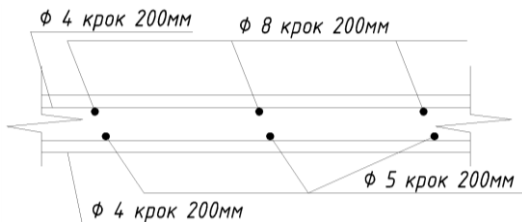


Рис. 6. Армування плити в площині уОz в середньому прольоті

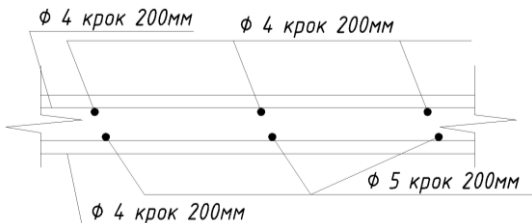


Рис. 7. Армування плити в площині уОz над опорами

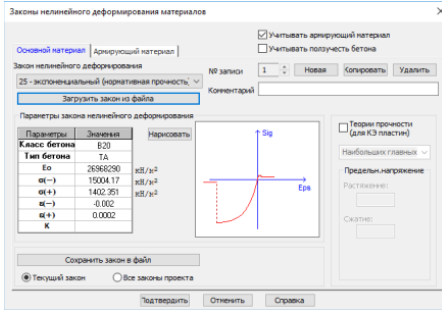


Рис. 8. Закони деформування бетону

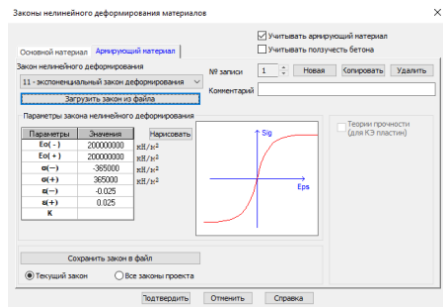


Рис. 9. Закони деформування арматури

Результати розрахунку з урахуванням фізичної нелінійності представлені на рис. 10 – 14.



Рис. 10. Переміщення вузлів по O<sub>x</sub>, мм

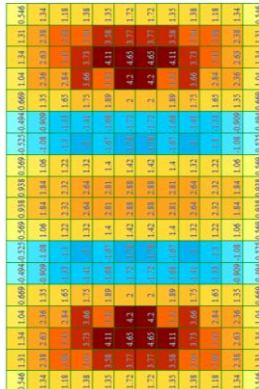


Рис. 11. Мозаїка напружень по M<sub>x</sub>, мм

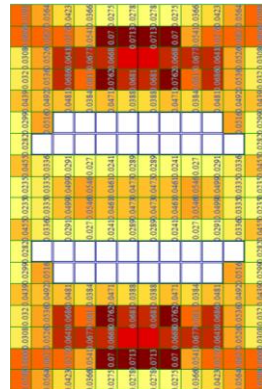


Рис. 12. Ширина розкриття тріщин в нижній зоні, мм



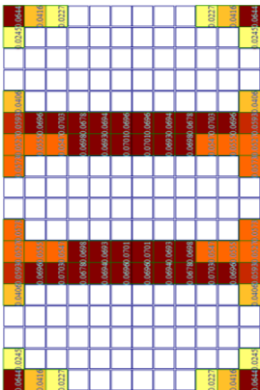


Рис. 13. Ширина розкриття тріщин у верхній зоні, мм

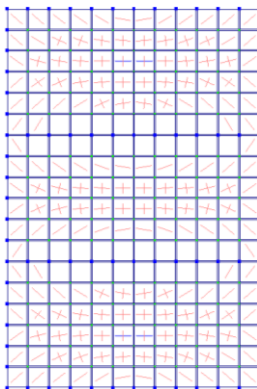


Рис. 14. Напрямок тріщин в нижній зоні

Розрахунок за допомогою функції «Інженерна нелінійність» полягає в наступному:

1. Задається «визначальне навантаження», яке, на думку інженера, в основному визначає напружено-деформований стан конструкції (розвиток тріщин, пластичні деформації бетону й арматури) протягом життєвого циклу конструкції.

2. Проводиться розрахунок на «визначальне навантаження» у фізично нелінійній постановці з одночасним підбором арматури. Розрахунок виконується ітераційним методом.

3. У результаті ітераційного розрахунку на основі НДС кожного перерізу скінченного елемента пластинчастої конструкції визначаються жорсткісні характеристики.

Результати розрахунку за методом «інженерна нелінійність» представлені на рис.15 – 18.



Рис. 15. Переміщення плити по вертикалі, мм

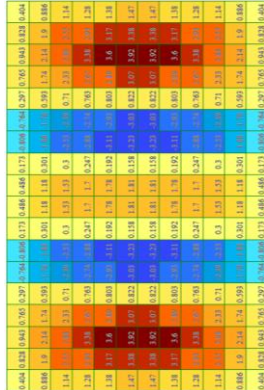


Рис. 16. Мозаїка напружень по  $M_x$ , мм

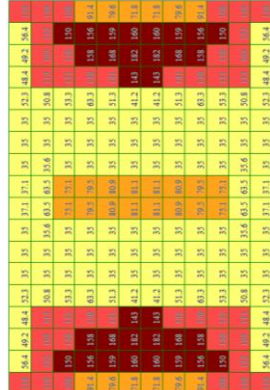


Рис. 17. Підібране нижнє армування плити по осі X, мм<sup>2</sup>

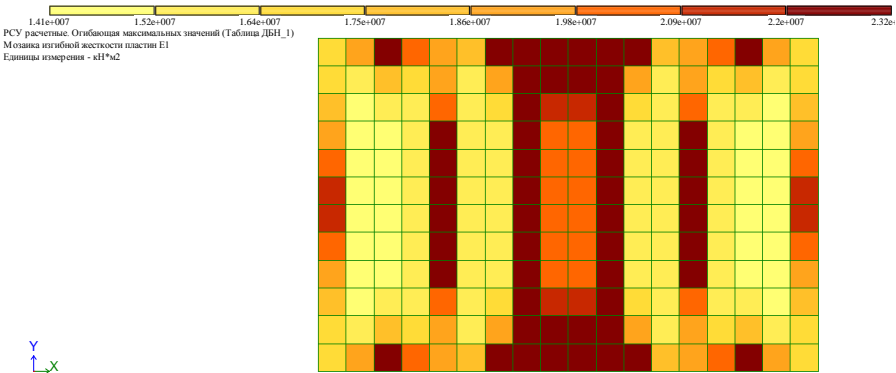


Рис. 18. Розподіл та зміна жорсткостей плити, кН\*м<sup>2</sup>.

У таблиці наведено основні параметри напружено-деформованого стану конструкції: момент у крайньому прольоті по осі X ( $M_{x, \text{кпроліт}}$ ), момент над опорами по осі X ( $M_{x, \text{опора}}$ ), момент у середньому прольоті по осі X ( $M_{x, \text{спроліт}}$ ), прогин у крайніх прольотах ( $f$ ) та підібране нижнє армування уздовж осі X.

Таблиця 2

Результати розрахунку плити

Параметри НДС	Лінійний розрахунок	Фізична нелінійність	Інженерна нелінійність
$M_{x_{к.проліт}}$ (кНм)	3,19	4,65	3,92
$M_{x_{с.проліт}}$ (кНм)	1,27	2,88	1,81
$M_{x_{опора}}$ (кНм)	-1,51	-2,00	-3,23
$f$ (мм)	-2,97	-59,40	-2,76
$A_{sx, max}$ (мм <sup>2</sup> )	188	Задане користувачем	182

**Висновки.** У роботі було проведено розрахунок монолітної багатопролітної залізобетонної плити перекриття трьома методами, доступними в ПК «ЛПРА-САПР», а саме: методом лінійного розрахунку, фізично-нелінійного розрахунку та розрахунку за методом «інженерна нелінійність». Результати показують, що у нелінійних методах з урахуванням зміни жорсткості збільшуються напруження в плиті. При фізично-нелінійному розрахунку було отримано можливість проаналізувати ширину розкриття, глибину та характер утворення тріщин. Застосування методу «інженерна нелінійність» дозволяє побачити, як змінюється жорсткість плити залежно від підбраного армування.

1. Городецкий А.С. Вопросы расчета конструкций в упругопластической стадии с учетом применения ЭЦВМ // ЭЦВМ в строительной механике. Труды первого всесоюзного совещания по применению ЭЦВМ в строительной механике (г. Ленинград, 1963г.) – Л.- М.: Издательство литературы по строительству, 1966. – С. 52-57.

2. Городецкий А.С. К расчету тонкостенных железобетонных конструкций в неупругой стадии // Сборник трудов НИИСК «Строительные конструкции». К.: Будівельник, 1965.- №3. – С.21-27.

3. Перельмутер А.В., Сливкер В.І. Расчетные модели сооружений и возможность их анализа.- М.: ДМК Прес, 2007. - 600 с., Ил.

УДК 332.3

## **КАРТОГРАФІЧНЕ ВІДТВОРЕННЯ КАДАСТРОВОЇ ОЦІНКИ**

## **CARTOGRAPHIC REPRODUCTION OF CADASTRE EVALUATION**

**Дзюбинська О.В., асистент, Смаль М.В., к.т.н., доцент,  
Дзюбинський А.В., к.е.н., доцент (Луцький НТУ, м. Луцьк)**

**Dziubynska O.V., assistant, Smal M.V., Ph.D., associate Professor,  
Dziubynskii A.V, Ph.D., associate Professor (Lutsk National Technical  
University, Lutsk)**

Розглянуто можливість використання кадастрових планів при оцінці територій. Проаналізовано послідовність перетворення базової карти в оцінні карти зонування території за різними чинниками соціально-побутової інфраструктури та карти комплексної оцінки.

Досліджено застосування принципу оцінного зонування для встановлення цінності територій шляхом визначення впливу блоків соціально-побутової інфраструктури. Наведено приклад зонування за цим принципом рекреаційної території ур. Гряда Шацького району Волинської області.

Considered the possibility of using cadastral plans in evaluating of recreational territories. Analyzed the sequence of transformation of the basic map to the estimational map of zoning of the recreational territory by various factors of the social-household infrastructure and integrated assessmental maps.

Investigated the principle of estimated zoning for the determination of the value of territories by determining the impact of blocks of social-household infrastructure.

Taking into account the actual use of lands of various target destination for recreational purposes through the assessment of natural resources and the level of social-household infrastructure - a necessary and new direction for the development of a multifunctional economically viable and environmentally appropriate direction of management. A

characteristic feature of the monetary assessment is the receipt of "estimated cadastral maps", which can be attributed to derivative cadastral maps, which reflect the location, interconnection and dynamics of various economic, social, natural and other processes that affect the value of land and real estate in general. Therefore, in our opinion, the use of mathematical and cartographic models will most objectively perform calculations of the impact of each elements of social-household infrastructure.

Ключові слова: кадастрова оцінка, базова карта, оцінна карта зонування, рекреаційна територія.

Keywords: cadastre evaluation, basic map, estimational map of zoning, recreational territory

Процедура отримання коефіцієнтів для грошової оцінки територій неможлива без використання в якості початкової інформації картографічних матеріалів з різною інформативною навантаженістю (карти адміністративних меж, автомобільних та залізничних доріг, ландшафтні та загальногеографічні, топографічні плани, плани землекористувань, генеральні плани, схеми планування територій тощо). Характерною особливістю грошової оцінки є отримання не менш важливих «оцінних кадастрових карт».

Оцінні карти можна віднести до похідних кадастрових карт, які відображають розташування, взаємозв'язок і динаміку розвитку різних економічних, соціальних, природних і інших процесів, що впливають на вартісні показники землі та нерухомості в цілому [1].

Вирішення завдань оцінки територій здійснюється на існуючій картографічній основі (карті землекористування тощо). Залежно від величини концентрації елементів відпочинкової зони [2] (будинки відпочинку, кемпінги тощо), можливої кількості відпочиваючих, передбачуваної повноти відображення інформації, точності представлення об'єктів на карті, площі рекреаційно-туристичної зони чи підзони вибирається масштаб основи. На вибір масштабу впливає також характер завдань, що вирішуються цією картою. Залежно від вказаних причин масштаб планово-картографічної основи може змінюватися від 1:5000 до 1:25000.

Зміст базової карти спрощується за рахунок виключення деяких елементів. Наприклад, при вирішенні завдань безпосередньо

грошової оцінки землі зміст базової карти спрощується за рахунок виключення існуючих економіко-планувальних зон. Інші елементи змісту (дорожня мережа, соціально-культурні об'єкти, елементи рекреації) необхідно залишити, оскільки вони визначають планування і структуру оцінних кроків.

Відповідно до спеціального змісту – типу елементів соціально-побутової інфраструктури [3] проєктовані карти можна розділити на: оцінні карти зонування території за різними чинниками соціально-побутової інфраструктури; карти комплексної оцінки території [4].

Оцінні карти складаються в масштабах від 1:500 до 1:10000. При цьому рекомендується складати такі карти: карта земель інженерної інфраструктури; карта транспортної доступності; карта закладів харчування тощо.

На тематичній карті відбиваються результати оцінного зонування, що допомагають при подальшому плануванні використання будь-якої території.

При складанні кадастрових карт рекомендується використовувати технологічну схему, показану на рис. 1.

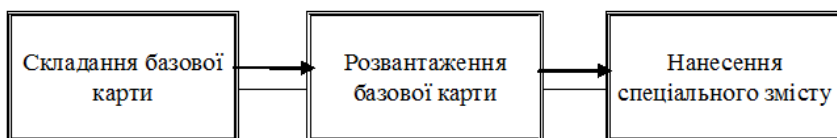


Рис. 1. Послідовність складання кадастрових карт спеціального змісту

Базова карта повинна задовольняти наступні вимоги: забезпечувати можливість досить точної локалізації тематичного навантаження; відсутність переобтяження різноплановим змістом для забезпечення необхідної візуалізації і сприйняття спеціального навантаження створюваної тематичної карти.

Базова карта складається по окремих елементах її змісту, як правило, в такому порядку: гідрографічні об'єкти – існуюча забудова (будинки відпочинку тощо) – дорожня мережа та дорожні споруди – рельєф місцевості.

Метод розвантаження визначається залежно від особливостей карти, що складається, і здійснюється за рахунок тих об'єктів, які не відіграють істотної ролі для тематичного використання [5,6].

На основі проведеної підготовчої роботи безпосередньо виконуються необхідні геометричні побудови, в результаті яких отримують оцінні контури. Порядок побудови проводиться наступним чином: навколо кожного об'єкту впливу через 100 м викреслюються кола або лінії (рис.2). Якщо однотипні об'єкти знаходяться один від одного на відстані не більше 100 м, то навколо них викреслюється одна суцільна зона.

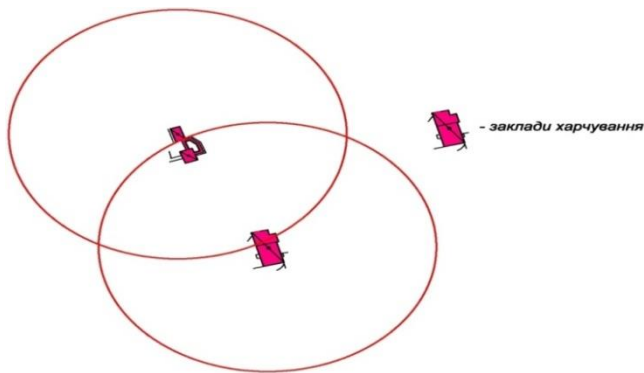


Рис.2. Приклад викреслювання віддалі в 100м від однотипного об'єкта впливу

Далі, відповідно до бальної значущості об'єктів, контури об'єднуються або розділяються (рис. 3).

В якості картографічної основи використовувалися матеріали інвентаризації при нормативній грошовій оцінці населеного пункту смт. Шацьк Шацького району Волинської області масштабу 1:10000. Попередньо виконувався збір інформації про наявність діючих об'єктів соціально-побутової інфраструктури та місце їх розташування. За координатами в місцевій системі здійснювалось нанесення об'єктів впливу (пляж, магазини, заклади харчування, дискотеки, бари).

Результатом практичної апробації запропонованого методу є ряд тематичних карт з оцінного зонування (рис. 4).

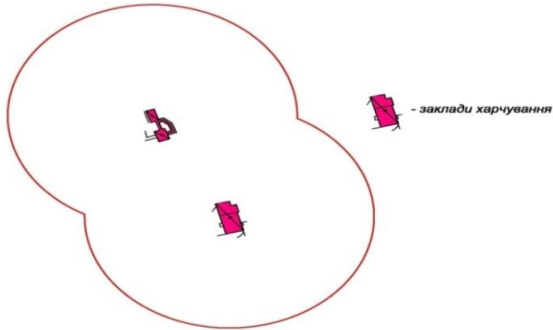


Рис.3. Приклад об'єднання 100-метрової зони



Рис.4. Ізохрони доступності до об'єктів торгівельно-побутової інфраструктури (ур. „Грядя”)



Висновки. В основі багатьох методик з оцінки територій лежить принцип оцінного зонування. Це стосується методики масової оцінки та методик з індивідуальної оцінки земель і об'єктів нерухомості при встановленні викупної ціни прав оренди, орендної плати та інших платежів [7]. На нашу думку, використання математичних і картографічних моделей дозволить найбільш об'єктивно виконати розрахунки впливу кожного елемента на вартість землі. Дана методика ілюструє спрощення в деякому варіанті оцінки територій, проте дає швидше якісні результати в кожному прикладі дослідження та показує прозорість, зрозумілість і наочність такої оцінки для громадян.

1. Дзюбинська О.В. Картографічне моделювання результатів оцінки рекреаційних територій за чинниками соціально-побутової інфраструктури / О. В. Дзюбинська, М. В. Смаль, А. В. Дзюбинський // Сучасні технології та методи розрахунків у будівництві: зб. наук. праць. Луцьк: РВВ Луцького НТУ, 2017. – Вип. 7. – С. 48–55.

2. Дзюбинська О.В. Дослідження рекреаційних територій в розрізі земель різного цільового призначення / О. В. Дзюбинська, М. В. Смаль, А. В. Дзюбинський // Сучасні технології та методи розрахунків у будівництві: зб. наук. праць. Луцьк: РВВ Луцького НТУ, 2018. – Вип. 9. – С. 26–32.

3. Dzyubynska O. Present transports system Volyn region and its influence on the formation of the cadastral valuation of recreational areas // Proceedings of the 1 st International Sciences Conference "Science and Education in Australia, America and Eurasia: Fundamental and Applied Science". International Agency for the Development of Culture, Education and Science. Australia, Melbourne, 2014. - P. 11-18

4. Дзюбинський А.В. Проблеми оцінки вартості рекреаційних територій / А.В. Дзюбинський, О.В. Дзюбинська, П.Я. Кравчук // Збірник наук. праць: ЛНТУ, 2013. – № 10(38) – с.49-54

5. Палеха Ю.М. Вплив географічних чинників на формування вартості територій населених пунктів: концептуальні засади дослідження / Палеха Ю. М. // Український географічний журнал. – 2006. – №1. – С. 46-50.

6. Палеха Ю.М. Картографічне забезпечення нормативної грошової оцінки земель населених пунктів / Палеха Ю. М. // Вісник геодезії та картографії. – 2006. – №1. – С.37-40.

7. Методичні основи грошової оцінки земель в Україні / [Дехтяренко Ю. Ф., Лихогруд М. Г., Манцевич Ю. М., Палеха Ю. М.]. — К.: Профі, 2007. — 624 с.

УДК 628.179.34

**ПРО ОПЕРАТИВНІСТЬ ЛІКВІДАЦІЇ ВИТОКІВ НА  
ВОДОПРОВІДНИХ МЕРЕЖАХ**

**ABOUT THE OPERATIVITY OF LIQUIDATION OF WILDLES  
ON WATER CONTROL NETWORKS**

**Добровольська О.Г., к.т.н., доц. (ЗДІА, м. Запоріжжя)**

**Сокольник В.І., к.т.н., професор-консультант (ЗДІА, м. Запоріжжя)**

**Dobrovolska, O. G., PhD, associate Professor, (Zaporozhye State  
Engineering Academy, Zaporozhye)**

**Sokolnik V.I., PhD, professor-consultant Zaporozhye State  
Engineering Academy, Zaporozhye)**

У статті описана методика визначення місць витоків на водопровідних мережах на основі вимірювання тисків в окремих її вузлах. Представлені результати застосування методики на прикладі розрахунку фрагменту мережі житлового мікрорайону міста Запоріжжя. Запропоновані рекомендації з практичного використання інформації про фактичні вузлові тиски для оперативної ліквідації витоків.

The article describes the method of determining the sources of leakage in water supply networks on the basis of measuring the pressure in its individual nodes. The origins lead to significant losses of drinking water during transportation, as well as to the deterioration of the quality of drinking water as a result of its pollution. Today, the main methods for detecting leaks in water supply networks are visual control and methods related to the use of measuring equipment. Existing methods require the installation of additional equipment on the water supply network. It does not allow to quickly determine the place of leakage and eliminate it. Therefore, the problem of operational determination of leakage sites remains relevant.

The aim of the research was to develop a methodology for determining leakages in the water supply network and to substantiate the practical use of information on actual nodal pressure for the operative determination of sources of leakages and their elimination.

The method of detecting significant leakages is based on the method of determining the leakage sites in real time by the difference in pressure, measured control nodes. The differential pressure is measured on separate sections of the network. The resulting difference is mathematically transformed into a volume capacity and loss of pressure on the plots. Compares actual and marginal, capacious costs and pressure loss simultaneously for all sections of the network. As a result of the pressure drop in control nodes, the locations of leaks are determined simultaneously on all main sections of the network.

The results of application of the technique are presented on the example of calculation of the fragment of the network of residential micro-district of the city of Zaporizhzhya. The hydraulic calculation of the network is made taking into account the pressure difference in the control units. As a result of the calculation, actual water consumption and pressure loss in the network areas are obtained. The limit values of these parameters are taken for an hour of maximum water collection. As a result of comparison of actual and boundary parameters, emergency areas have been identified. The savings are saved as a result of the establishment of damaged sites and the operational elimination of leakages. Recommendations on the practical use of information on actual unit pressure for operational elimination of leakages are suggested.

Ключові слова: витіки; вимірювання тисків; контрольні вузли; фактичні витрати.

Keywords: leaks; pressure measurements; control points; real consumption.

Системи подачі та розподілення води комунальних водопроводів є найбільш енергомісткою частиною систем водопостачання населених пунктів України. Внаслідок тривалої експлуатації без необхідного поточного ремонту більшість водопровідних мереж знаходиться в незадовільному технічному стані, який щодня погіршується, частина з них – в аварійному стані. З погіршенням технічного стану водопровідних систем помітно знижується ефективність їх роботи та зростають нераціональні втрати води, витіки. Показник втрат води у міських мережах є надто високим і знаходиться в межах  $0,4-3,0 \text{ м}^3/\text{км}$  у рік,

в порівнянні з показниками у Західній Європі, які становлять 0,1-0,4 м<sup>3</sup>/км у рік [1].

Так, загальна довжина водопровідних мереж, що експлуатуються комунальним підприємством «Водоканал» (м. Запоріжжя), станом 01.01.2017 р. складає 2532 км, з них 640 км – вкрай зношені та потребують негайної заміни. Це мережі, де спостерігається найбільша кількість витоків. За 2017 рік їх кількість склала близько 4135 витоків.

Ситуація, існуюча у сфері водопостачання Запорізької області і в країні, призводить до значних втрат питної води при транспортуванні, а також до погіршення якості питної води за рахунок її забруднення. Вирішення проблемних питань водопостачання можливе за умови реалізації заходів із реконструкції і модернізації об'єктів водопровідного господарства. Однак, найбільшою проблемою при реалізації таких заходів є недостатнє фінансування. Щорічно планується і здійснюється заміна найбільш зношених та аварійних мереж протяжністю 10-15 км власними силами та за власні кошти. Наприклад, у 2017 році було виконано заміну 735 погонних метрів водопровідної мережі. Через велику капіталоемність та обмеженість місцевих джерел фінансування будівництво і реконструкція в деяких випадках ведуться впродовж 5-10 і більше років. Тому проблема оперативної ліквідації витоків має актуальне значення.

Основними методами виявлення витоків на водопровідних мережах є візуальний контроль і методи, пов'язані з використанням вимірального обладнання. Відомий спосіб визначення наявності і кількості витоків у напірній мережі, який полягає у визначенні наявності витоків за показаннями встановленого на початку мережі витратоміра в нічний час, а величина витоків у будь-який інший час і стан мережі визначаються за відомою формулою для розрахунку витоків рідини із отворів, враховуючи показання манометра, встановленого на початку мережі [2]. При цьому прийняте припущення, що наявність у нічні години показів витратоміра, встановленого на початку мережі, відповідає витратам води лише через витoki в мережі, а не потребам споживачів, знижує достовірність даного способу.

Також фахівцями [2] пропонується метод, в основі якого лежать фізичні процеси, що мають місце при утворенні тріщин. В

результаті зміни маси та кількості руху рідини, яка залишилась всередині трубопроводу в результаті витоків, вниз і вгору по потоку розповсюджуються хвилі розрідження, які сприймаються давачами, встановленими на кінцях ділянки мережі. Реалізація даного методу потребує двостороннього доступу до трубопроводу. У роботі [4] пропонується використання тестових сигналів у вигляді хвиль тиску, які створюються в середовищі транспортування, та приймачів відбитих хвиль і подальшого їх аналізу для визначення стану трубопроводу. Генератор тестових хвиль і приймач розташовуються на незначній відстані один від одного, що дає змогу при односторонньому доступі до трубопроводу діагностувати його стан на значній відстані від місця створення коливань середовища. Оперативність визначення місць витоків із використанням цього методу залежить від кількості давачів, розміщених на мережі.

Застосування геоінформаційних систем дає можливість реалізації методу визначення витоків на основі моделювання його як додаткової витрати незалежно від тиску у вузлі та методу на основі фіксації надмірного тиску при мінімальному нічному потоці [3]. Але, як відзначають автори останнього методу, ідентифікація витоків не завжди точно вказує на його місце, хоча й зменшує невизначеність.

Метою проведених досліджень була розробка методики визначення витоків у водопровідній мережі та обґрунтування практичного використання інформації про фактичні вузлові тиски для оперативного визначення місць витоків і їх ліквідації.

Для досягнення поставленої мети були вирішені наступні задачі:

- розробити методику виявлення значних витоків в умовах реального часу за результатами вимірювання тисків в окремих вузлах;
- перевірити ефективність методики шляхом її реалізації на прикладі реальної водопровідної мережі одного із житлових районів м. Запоріжжя.

В основу методики виявлення значних витоків в умовах реального часу покладено спосіб діагностування зон витоків на ділянках мереж транспортування [5], що містить вимірювання перепаду тисків на окремих ділянках мережі, математичне перетворення отриманого перепаду тиску в об'ємну витрату та

втрати тиску на ділянках, порівняння фактичних і граничних об'ємних витрат і втрат тиску одночасно для всіх ділянок мережі, Спосіб відрізняється тим, що перепад тиску вимірюється у контрольних вузлах мережі транспортування та визначаються місця розташування витоків одночасно на всіх магістральних ділянках мережі.

Реалізація методики проводилась у декілька етапів:

1. Визначення розрахункових витрат у вузлах водопровідної мережі.

2. Гідравлічний розрахунок мережі в режимі максимального водорозбору. В результаті розрахунку отримані витрати на її ділянках  $q_i^{zp} - q_k^{zp}$  та втрати напору  $h_i^{zp} - h_k^{zp}$  були прийняті за граничні.

3. Визначення перепаду п'єзометрів за результатами вимірювання тисків в контрольних вузлах на момент виникнення витoku та порівняння його з перепадом п'єзометрів у тих же вузлах при нормальній роботі мережі.

4. Гідравлічний розрахунок мережі з урахуванням перепаду п'єзометрів в контрольних вузлах на момент виникнення витoku. В результаті отримані фактичні витрати для всіх ділянок  $q_i^\phi - q_k^\phi$  та втрати напору на них  $h_i^\phi - h_k^\phi$ , які є реальними на момент вимірювання перепадів тисків [5].

5. Визначення для кожної ділянки відхилення витрат,  $p_q$  та втрат напорів,  $p_h$  за формулами (1-2) відповідно:

$$p_q = \frac{q_{i-k}^\phi - q_{i-k}^{zp}}{q_{i-k}^{zp}} \cdot 100\% \quad (1)$$

$$p_h = \frac{h_{i-k}^\phi - h_{i-k}^{zp}}{h_{i-k}^{zp}} \cdot 100\% \quad (2)$$

6. Встановлення наявності витоків і номерів пошкоджених ділянок за умовою (2).

Для апробації запропонованої методики було вибрано водопровідну мережу житлового району м. Запоріжжя, схема якої

складається із 20 вузлів, пов'язаних 25 ділянками, що утворюють 6 кілець (рис.1).

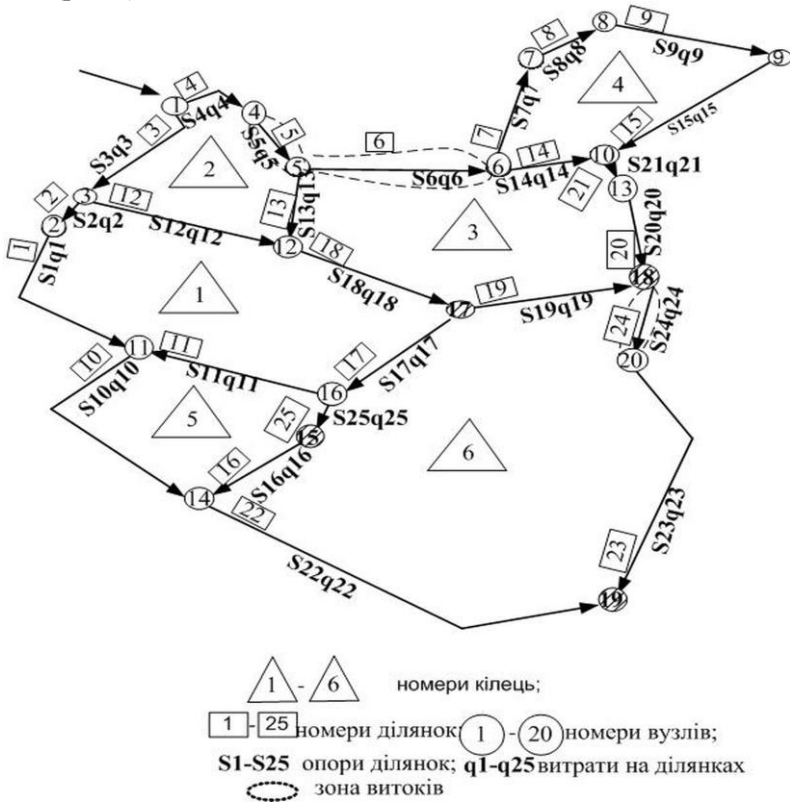


Рис.1. Схема водопровідної мережі

Заміри тиску виконувались у вузлах №4 та №19, що відповідають контрольним вузлам «вул. Новгородська» та «проспект Інженера Преображенського». В якості наглядного прикладу розглянуто робочу ситуацію, яка трапилась 7.03.2016 року о 18-00 год. Перепад п'езометричних позначок у вузлах «вул. Новгородська» та «проспект Інженера Преображенського» становив 9.2 м, що відповідало вимірним значенням тиску у першому та другому вузлах відповідно. В результаті гідралічного розрахунку мережі з урахуванням  $\Delta P = 9.2 м$  отримані витрати в ділянках мережі та порівняні з їх значеннями в годину максимального

водорозбору. Найбільші відхилення витрат від їх граничних значень, в якості яких прийняті витрати в годину максимального водорозбору (о 10-00 24.06.2016), були зафіксовані у ділянках № 5, 6, 24. Зазначені ділянки були прийняті в якості аварійних.

Економія за рахунок попередження значних втрат води в результаті оперативного встановлення пошкоджених ділянок та ліквідації витоків визначена по формулі

$$\Delta E_{з.в.} = Q_v \cdot (\alpha_{вит} + \alpha_{вл.ст.} + \alpha_{ав}) \cdot T \quad (3)$$

де  $Q_v$  - об'єм витоків, які не сталися за рахунок оптимізації управління,  $m^3$  ;

$\alpha_{вит}, \alpha_{вл.ст.}, \alpha_{ав}$  - коефіцієнти впливу, відповідно на зменшення витрат води на витoki, на власні потреби, на втрати води при аварії;  $T$  - середній тариф на воду, грн./ $m^3$ .

Значення  $Q_v$  розраховані, виходячи із умови попередження 64 аварійних витоків на протязі року тривалістю в 1 добу для ділянок діаметром 400 мм при швидкості течії 2.5 м/с:

$$Q = 2.5 \cdot \frac{3.14 \cdot 0.4^2}{4} = 0.314 m^3 / c \text{ або } 27130 m^3 / \text{доб.}$$

$$\Delta E_{з.в.} = 27130 \cdot 64ав / рік \cdot (0.015 + 0.015 + 0.01) \cdot 4.5$$

$$\begin{aligned} \Delta E_{з.в.} &= 27130 \cdot 64ав / рік \cdot (0,015 + 0,015 + 0,01) \cdot 9.2 = \\ &= 638965 \text{ грн} / \text{рік} \end{aligned}$$

У порівнянні з аналогічними методами визначення витоків позитивна дія результатів дослідження полягає у визначенні місць розташування витоків одночасно на всіх магістральних ділянках мережі. Це дозволяє працівникам диспетчерських служб комунальних підприємств не тільки візуально оцінити ситуацію, але й прийняти рішення за результатами розрахунків.

До слабких сторін запропонованих рекомендацій з визначення витоків можна віднести необхідність початкових капітальних вкладень в автоматизовану систему управління потокорозподілом



на стадії проектування мереж. Також необхідно передбачати витрати на монтаж обладнання контрольних вузлів на мережі.

Від комунальних підприємств будуть потрібні початкові капітальні вкладення в систему управління технічною інфраструктурою. Також необхідні витрати на монтаж додаткових та переобладнання існуючих вузлів контролю тиску при необхідності їх переміщення. Однак більшість комунальних підприємств вже мають автоматизовані системи управління, а їх додаткова комплектація буде окуплена в термін до 5 років за рахунок зниження витоків та енергоспоживання насосного обладнання.

1. Пужаліна А.В. Вплив стану водопровідних мереж України на якість питної води / А.В. Пужаліна // *ADVANCED TECHNOLOGIES OF SCIENCE AND EDUCATION: XIV міжнар. наук. інтернет-конф.*, 19-21.квітня .2018 р. <http://intkonf.org/puzhalina-av-vpliv-stanu-vodoprovodnih-meresh-ukrayini-na-yakist-pitnoyi-vodi/>

2. Спосіб визначення наявності і кількості витоків в напірній мережі і її стану: Патент України на корисну модель №31787А , МПК F17D 5/02 (2006/01) / А. П. Чорний, В. А. Петросов, В. Д. Колотило, А. А. Магеря; заявл. 29.10.1998; опубл. 15.12.2000. Бюл. № 7/2000.

3. Лаптева Т. И. Обнаружение утечек при неустановившемся течении в трубах / Т. И. Лаптева, М. Н. Мансуров // *Нефтегазовое дело.* – 2006. – [http://www.ogbus.ru/authors/Lapteva/Lapteva\\_1.pdf](http://www.ogbus.ru/authors/Lapteva/Lapteva_1.pdf)–15 с.

3. Sebbagh Karima. Pre-Localization Approach of Leaks on a Water Distribution Network by Optimization of the Hydraulic Model Using an Evolutionary Algorithm / Karima Sebbagh, Abdelhamid Safri, Moula Zabot // *Proceedings.* 2018;2(11):588 DOI [10.3390/proceedings2110588](https://doi.org/10.3390/proceedings2110588)

4. Заміховський Л. М. Метод виявлення витоків з трубопроводу при односторонньому доступі до середовища транспортування / Л. М. Заміховський, Л. О. Штасєр // *Нафтогазова енергетика.* – 2007. – No 2 (3) С.59–62.

5. Пат. Україна, МПК F 17 D 5/02. Спосіб діагностики зон витоків з водопровідних мереж / Добровольська О.Г., Українець М.О., Сокольник В.І.; заявник і власник Запор. держ. інж. Академія. – № u 2013 06473 ; заявл. 24.05.2013; опубл. 25.02.2014. Бюл. № 4.

УДК 691.168

**ВИЗНАЧЕННЯ ЗМІНИ ПОКАЗНИКІВ  
МОРОЗОСТІЙКОСТІ АСФАЛЬТОБЕТОНУ ПРИ  
ПІДВИЩЕННІ ПРОЦЕНТНОГО СКЛАДУ ПОЛІМЕРУ**

**DEFINITION OF CHANGES IN THE FROST RESISTANCE  
INDEX IN CASE OF INCREASING OF PERCENTAGE OF  
POLYMER OF ASPHALT CONCRETE**

**Ільїн Я. В., м.н.с. (Харківський національний автомобільно-дорожній університет, м. Харків)**

**Ilyin Ya.V., Junior Researcher (Kharkiv national automobile and highway university, Kharkiv)**

Експериментально визначено різницю в модулях пружності, міцності при вигині та часі життєвого циклу асфальтобетону без полімеру, з трьома та шістьма відсотками СБС 1192. Встановлене якісне збільшення наведених показників із ростом кількості полімеру.

It is known that during a year asphalt concrete exposed to the freezing-thawing process. Today, the problem of cyclic freezing-thawing of asphalt concrete is relevant. A lot of attempts are made in the whole world to find a single rheological model for describing low-temperature behavior of asphalt concrete. It was necessary to define influence of cycle freeze-thaw on the strength indicators of asphalt concrete with the different percentage of styrene-butadiene-styrene polymer type SBS 1192. An asphalt concrete of type "G" (by the Ukrainian classification) with an optimum granulometric composition, which corresponds to the mid limit of the norms for the State Standard B.V.2.7-119: 2011 was selected for the experiments. Fractions from 2.5-5 mm to 1.25-0.63 mm were sown and used at the required percentage content for accurate entry into the norm. The bitumen grade BND 60/90 and BMP based on three percent and six percent polymer of bitumen were used. During the year, in Ukraine (for example, the Kharkiv region), there are about 50 transitions through 0 ° C. Therefore, it is advisable to determine how much it will affect the estimated pavement - modulus asphalt concrete. It

was calculated frost resistance index of asphalt concretes with the different percentage of polymer (three and six percents). It was taken asphalt concrete on the bitumen without polymer as a control sample. Asphalt concrete was subjected to the tests of dynamic elastic modulus, flexural strength (maximum destructive load), serving time under the static load, which was equal to the twenty percents of its destructive load. Indicator of life cycle of samples under the action of constant loading well illustrates the limits of endurance of asphalt concrete. The method of determining the frost resistance in terms of lifetime of asphalt concrete is an alternative to determining the compressive strength. As a result it was obtained frost resistance indexes in several ways. To sum up, it is recommended to use six percents of polymer to reach maximum frost resistance and increase basic strength parameters.

Ключові слова: асфальтобетон, полімер, модуль пружності, міцність при вигині, морозостійкість

Keywords: asphalt concrete, polymer, elastic modulus, flexural strength, frost resistance

В експериментальних умовах дорожнє покриття піддається дії поперемінного заморожування та відтавання [1]. Вперше стандартизований метод визначення морозостійкості матеріалу був розроблений М.А. Белелюбським у 1886 році. Він характеризувався кількістю циклів заморожування-відтавання (ЦЗВ) зразків при нормованих умовах дослідження [2]. Існує два основних типи методів дослідження матеріалів: руйнівні та неруйнівні. У світі широко визнано неруйнівні методи контролю якості матеріалів.

Сьогодні проблема ЦЗВ асфальтобетону є актуальною. Багато науковців у різних країнах, таких як Китай, Туреччина, Україна, Словаччина, США, Канада, РФ, займаються цією проблемою. Вони вивчають вплив різних факторів, у тому числі дії знакозмінних температур на асфальтобетон, насичений водою та водними розчинами хлоридів [3-8]. Приймаються спроби знайти єдину реологічну модель для опису низкотемпературної поведінки асфальтобетонів. Розроблено декілька методів визначення морозостійкості асфальтобетону, до них відносяться: AASHTO T283 (Refine AASHTO T283 Resistance of Compacted Bituminous Mixture to Moisture Induced Damage for Superpave) та COY 42.1-37641918-

110:2014 (Асфальтобетон дорожній, метод визначення показника морозостійкості).

Умови виготовлення асфальтобетону впливають на розрахункові характеристики асфальтобетону [11]. Наприклад, недостатнє ущільнення дає збільшену кількість пор, що, у свою чергу, зменшує модуль пружності асфальтобетону, тому що модуль пружності повітря значно нижче модулю пружності асфальтобетону, та відкриває більше можливостей до зниження розрахункових характеристик асфальтобетону після дії ЦЗВ. Додавання полімеру до бітуму змінює його характеристики, такі як в'язкість, надає еластичність, модуль мружності, що також впливає на характеристики асфальтобетону на основі бітумополімера.

Впливи різних середовищ і схем дії поперемінного заморожування та відтавання досліджуються у всьому світі. Відносно мало досліджень пов'язані з визначенням впливу концентрації полімеру на морозостійкість асфальтобетону, наприклад, робота [9] чи [10]. Здебільшого, визначають тріщиностійкість асфальтобетону, що призводить до фактичного його руйнування. Досліджень асфальтобетону неруйнівним способом одного й того самого зразка до та після дії циклічного заморожування-відтавання (ЦЗВ) взагалі немає.

Для експериментів було обрано асфальтобетон типу «Г» з оптимальним гранулометричним складом, що відповідає середині границь норм за ДСТУ Б.В.2.7-119:2011. Для точного потрапляння у норми, фракції від 2,5-5 мм до 1,25-0,63 мм були висіяні та використані за необхідним процентним вмістом. Для досліджень було взято бітум марки БНД 60/90 та БМП на його основі з 3 % та 6 % полімеру від об'єму бітуму.

Впродовж року в Україні (на прикладі Харківської області) спостерігається близько 50 переходів через 0 °С. Через це доцільно визначити, як сильно це вплине на розрахунковий показник дорожнього одягу – модуль пружності асфальтобетону. Відповідно до цього кількість ЦЗВ, прийнято рівним 50. До та після 50 ЦЗВ було проведено визначення модуля пружності асфальтобетонних зразків. Дані випробувань наведено в таблиці 1. Для порівняння аналізувалися показники морозостійкості асфальтобетону на бітумі без додавання полімеру та з 3% і 6% полімеру.

Згідно з отриманими показниками коефіцієнта морозостійкості

( $K_{MP3}$ ), підвищення вмісту полімеру сприяє росту морозостійкості асфальтобетону. Порівнюючи отримані значення  $K_{MP3}$  з морозостійкістю асфальтобетону на чистому бітумі, можна відстежити тенденцію підвищення морозостійкості зі збільшенням концентрації полімеру: для асфальтобетонів без полімеру  $K_{MP3}$  складав від 0,73 до 0,97, для 3 % полімеру – від 0,80 до 0,98 та для 6 % - від 0,93 до 1,00.

Таблиця 1

Коефіцієнти морозостійкості асфальтобетону, за модулями пружності, на чистому бітумі, з 3 та 6 % СБС 1192 до та після 50 ЦЗВ

T, °C	Частота, Гц	Асфальтобетон на чистому бітумі, $K_{MP3}$	Асфальтобетон на бітумі з 3 % полімеру, $K_{MP3}$	Асфальтобетон на бітумі з 6 % полімеру, $K_{MP3}$
<b>+20</b>	0,01	0,73	0,80	0,93
	0,5	0,87	0,86	0,97
	10	0,97	0,88	0,97
<b>+10</b>	0,01	0,76	0,83	0,94
	0,5	0,87	0,87	0,98
	10	0,88	0,89	0,98
<b>0</b>	0,01	0,82	0,89	0,98
	0,5	0,80	0,92	1,00
	10	0,92	0,94	0,99
<b>-10</b>	0,01	0,81	0,97	0,99
	0,5	0,96	0,98	0,99
	10	0,86	0,98	1,00

Це може бути пояснено тим, що ступінь еластичності в'язучого зростає зі збільшенням кількості полімеру, що в свою чергу впливає на асфальтобетон, морозостійкість якого підвищується. Подальше підвищення концентрації полімеру після 6% навряд чи збільшить морозостійкість асфальтобетону більше 1,00, тому нема причин

збільшувати витрати на виробництво суміші.

Були також проведені дослідження впливу ЦЗВ на зміну міцності при вигині та строку служби асфальтобетону під дією постійного навантаження, що дорівнює 20% від руйнівного. Це – руйнівний метод оцінки морозостійкості, проте він досить точний. Довготривалі випробування під дією статичного навантаження показують час настання втомної міцності асфальтобетону та допомагають оцінити час безпечної для покриття стоянки важкого автотранспорту на, наприклад, світлофорах. Міцнісні дані наведено у таблиці 2.

Показник життєвого циклу зразків під дією постійного навантаження добре ілюструє межі витривалості асфальтобетону. Метод визначення морозостійкості за показником життєвого циклу асфальтобетону є альтернативним до визначення міцності при стиску. Це відношення і дає уяву про ступінь морозостійкості. Тому й потрібно більше часу для проведення дослідження. Для визначення руйнівної дії переходів через 0°C та взагалі морозостійкості асфальтобетонів із різним вмістом полімеру, порівнювалися показники часу «життя» зразків асфальтобетону без полімеру, з 3% та 6% СБС 1192 до та після дії ЦЗВ. Результати випробувань наведені в таблиці 2.

Таблиця 2

Показники міцності при вигині та час життєвого циклу асфальтобетону без полімеру з 3 і 6% полімеру до та після 50 ЦЗВ

Показник	На чистому бітумі без полімеру	3 3 % полімеру СБС 1192	3 6 % полімеру СБС 1192
Міцність при вигині до 50 ЦЗВ, МПа	3,31	3,33	3,40
Міцність при вигині після 50 ЦЗВ, МПа	2,05	2,23	2,61
$K_{MP3}$	0,62	0,67	0,77
Час «життя» асфальтобетону до 50 ЦЗВ, с	15303	6443	47520
Час «життя» асфальтобетону після 50 ЦЗВ, с	31816	13894	36166
$K_{MP3}$	0,42	0,44	0,76

Порівнюючи коефіцієнти морозостійкості після випробувань на вигин та строку служби під дією 20% від руйнуючого навантаження, можна помітити, що коефіцієнт морозостійкості майже не змінився у зразків з 6 відсотками полімеру.

У результаті, можна зробити висновок про позитивний вплив росту кількості полімеру на морозостійкість асфальтобетону. Оптимально додавати 6 відсотків полімеру, тому що коефіцієнт морозостійкості є максимальним кожний раз у асфальтобетонах з такою кількістю полімеру. 6 відсотків полімеру надасть доброї морозостійкості та підвищить вихідні міцнісні показники асфальтобетону.

1. Ильин А.Г. Исследование влияния некоторых особенностей структуры дорожного цементобетона на его усталость [Текст]: диссертация канд. тех. наук: 05.23.05/ А.Г. Ильин. Харьков, – 1965. – 168 с.
2. Москвин З. М. О расчетах морозостойкости бетона [Электронный ресурс: [http://www.alobuild.ru/betony/beton\\_i\\_zhelezobeton\\_1986/o-raschetah-morozostoykosti.php](http://www.alobuild.ru/betony/beton_i_zhelezobeton_1986/o-raschetah-morozostoykosti.php)] / З. М. Москвин // Бетон и железобетон. Избранные статьи. – 1986.
3. Single rheological model to describe low temperature behaviour of asphalt mixtures assessed in different laboratory test methods / Stephan Büchler, Michael Wistuba // 5th Eurasphalt & Eurobitume Congress, 13-15th June 2012, Istanbul, – O5EE-271A.
4. Si W. Impact of freeze-thaw cycles on compressive characteristics of asphalt mixture in cold regions / Si, W., Li, N., Ma, B. et al. // J. Wuhan Univ. Technol.-Mat. Sci. Edit. 2015, Volume 30, Issue 4, pp 703–709.
5. Impact of Freeze-Thaw Cycles on Mechanical Properties of Asphalt Mixes / Mohab El-Haki, Susan Tighe // Canada Transportation Research Record: Journal of the Transport. Research Board Dec 2014, Vol.2444, pp.20-27.
6. Si W. Impact of freeze-thaw cycles on compressive characteristics of asphalt mixture in cold regions / Wei Si, Ning Li, Biao Ma, Junping Ren, Hainian Wang, Jian Hu // Journal of Wuhan University of Technology-Mater. Sci. Ed. – 2015, – Volume 30, –Issue 4. – pp 703–709.
7. Чуракина О.Е. Влияние отрицательных температур на устойчивость структуры асфальтобетона [Текст]: диссертация канд. тех. наук: 05.23.05/ О.Е. Чуракина. М. – 1990. – 154 с.
8. Головки В.А. Исследование водо- и морозостойкости горячих и тёплых асфальтобетонов [Текст]: диссертация канд. тех. наук: 05.23.05/ В.А. Головки. Х. – 1978. – 248 с.
9. Хафизов Э. Р. Асфальтобетон на битум-полимерных вяжущих [Текст]: диссертация канд. тех. наук: 05.23.05// Э. Р. Хафизов. – Казань, 2003. – 183 с.
10. Галдина В.Д. Влияние полимерных добавок на свойства битума и асфальтобетона // В.Д. Галдина /Вестник СибАДИ. – Выпуск 2 (12). – 2009. – С. 32-36.

УДК 624.074.4.012.45

**НЕСУЧА ЗДАТНІСТЬ ЗАЛІЗОБЕТОННИХ ОБОЛОНОК  
У ЗАГАЛЬНОМУ ВИПАДКУ АНІЗОТРОПІЇ ТА СКЛАДНОГО  
НАПРУЖЕНОГО СТАНУ**

**LOAD BEARING CAPACITY OF REINFORCED  
CONCRETE SHELLS IN GENERAL CASE OF ANISOTROPY  
AND COMPLEX STRESS STATE**

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

**Kolomiychuk G.P., PhD., associate professor, Maystrenko O.F., PhD.,  
associate professor, Kolomiychuk V.G., student (Odessa State Academy  
Civil Engineering and Architecture, Odessa)**

Виконано аналіз сучасних досліджень по визначенню несучої здатності залізобетонних оболонок. Удосконалена власна вирішуюча система нелінійних алгебраїчних рівнянь [1], що дозволяє визначати несучу здатність залізобетонних пошкоджених оболонок в нелінійній постановці з урахуванням тріщин.

Now the creation of large-span responsible thin-walled reinforced concrete shell structures only in exceptional cases is accompanied by full-scale modeling during the construction of unique construction objects.

The significant costs of such research and the use of software systems have led to the abandonment of full-scale modeling in favor of numerical calculations of theoretical models. The results of mathematical calculations and model experiments without proper justification are transferred to large-sized objects.

The world has accumulated significant amounts of information and a large number of specific experimental results on the study of reinforced concrete shell structures. However, systematization and generalization of all these data is difficult because of the heterogeneity of the tests, and therefore the differences of theoretical and experimental results on the



study of the carrying capacity of thin-walled shell structures have not been overcome.

The article analyzes the current research to determine the bearing capacity of reinforced concrete shell structures. The analysis provides new results, as well as problems that require further solutions. And the main problem for the solution is to obtain such a computational model that would accurately describe the behavior of reinforced concrete shell structures during operation.

The resolving system of non-linear algebraic equations obtained by the authors allows us to consider the behavior of reinforced concrete shell structures under the action of an arbitrary load in non-linear geometric and physical formulations with allowance for cracks. The design of the shell can simultaneously be in such stages: the elastic work of concrete; elastic - plastic work of concrete; crack in concrete; elastic - plastic work of reinforcement.

A feature of the resulting system of equations is that it allows you to perform calculations of reinforced concrete shell structures in the design of new construction objects, as well as calculations of damaged shells during operation. Damages are considered as initial data: change of geometry (shell thickness and its deflection) change in material properties (corrosion of concrete and reinforcement and the presence of cracks).

Ключові слова: залізобетонна оболонка, несуча здатність, тріщина, фізична нелінійність, пошкодження.

Keywords: reinforced concrete shell, load bearing capacity, crack, physical nonlinearity, damage.

**Вступ.** Загальновідомо, що залізобетон, як конструкційний матеріал, володіє рядом специфічних властивостей, що визначає складність розрахунку залізобетонних конструкцій. Стосовно до розрахунку залізобетонних оболонок, можна виділити два напрямки. Перший пов'язаний із методом граничної рівноваги, однак, він дозволяє оцінити ступінь досягнення лише одного з граничних станів – по міцності [2-6]. Другий напрямок пов'язаний із розробкою методів розрахунку на основі деформованих моделей [7-11].

**Аналіз останніх досліджень та публікацій.** У дослідженнях, виконаних раніше, розглядаються залізобетонні оболонки без врахування виникнення у них дефектів під час будівництва та пошкоджень, які вони отримали в процесі експлуатації, під дією агресивного навколишнього середовища та непередбачуваних навантажень.

У роботі [3] робиться розрахунок несучої здатності гладких залізобетонних оболонок подвійної кривизни по отриманій експериментально локальній схемі руйнування у вигляді конуса з вершиною у місці прикладання зосередженого навантаження. Дослідження показали, що в момент руйнування оболонки прогини у вм'ятині були більшими, ніж половина початкової стріли підйому частини оболонки в зоні руйнування, і така значна зміна геометрії враховувалася в розрахунках по методу граничної рівноваги. Отримані результати засвідчують про те, що несуча здатність гладких залізобетонних оболонок з різною формою поверхні може бути з достатньою точністю визначена за допомогою наведених у роботі залежностей, але необхідно в якості вихідної інформації мати експериментальну схему руйнування оболонки, а без неї такі розрахунки виконати неможливо.

У роботі [9] робиться спроба розрахунку стійкості залізобетонних оболонок за старим Керівництвом [12], але з урахуванням випадкових геометричних недосконалостей (відхилення геометрії від ідеальної поверхні). Для порівняння використовуються лише Рекомендації IASS [13], у яких застосовується розрахункова величина початкового відхилення (моментні деформації) та дефекти, що залежать від точності виготовлення конструкції. Виконані розрахунки критичного навантаження втрати стійкості для сферичної залізобетонної оболонки при тривалій дії розподіленого навантаження по Рекомендаціях IASS та нижнього критичного навантаження по Керівництву близькі між собою.

Останнім часом наукові дослідження направлені на розрахунки забезпечення надійної експлуатації та безпечного використання великопротітних залізобетонних оболонок. Причин тут є багато, але і аварії таких конструкцій вимагають розробки таких досліджень [14].

Вміння правильно оцінити технічний стан залізобетонних

оболонки, що експлуатуються тривалий час, досить складне завдання і вимагає виконання наукових досліджень у цьому напрямі [15].

Важливо також вміти завчасно підтримувати оболонкові конструкції в задовільному технічному стані.

У роботі [16] розглянуті питання відновлення несучої здатності залізобетонних пологих геометрично нелінійних оболонок на прямокутному плані шляхом збільшення їх товщини в центрі або опірній частині конструкції. Враховуються умови міцності обмеження на величину критичного навантаження в залізобетонній оболонці при дії статичного навантаження для різних типів обпирання її країв. Розроблений алгоритм оптимізації розподілу товщини вздовж серединної поверхні, що дозволяє використовувати його при відновленні несучої здатності та експлуатаційних характеристик пологих залізобетонних оболонок покриттів будівель і споруд.

**Цілі та завдання.** Повний розрахунок оболонок, як на міцність так і на стійкість, повинен виконуватися з урахуванням трьох видів нелінійностей: геометричної, фізичної та конструктивної. Однак конструктивна нелінійність, в загальному випадку, не залежить від інших видів нелінійностей, що дозволяє при розрахунках оболонок разом розглядати тільки геометричну та фізичну нелінійності.

Оскільки врахування цих двох видів нелінійностей значно ускладнюють отримання рішення, то зазвичай розглядаються окремі випадки, в котрих, залежно від прийнятих посилянь, застосовується або геометрична, або фізична нелінійність, тому в такій постановці виконано порівняно мало робіт, а особливо – з розрахунку несучої здатності залізобетонних оболонок, що і є ціллю цієї статті.

**Основна частина.** Залізобетонні оболонкові конструкції розраховуються різними методами теорії пружності, пластичності та граничної рівноваги. Широко застосований апарат лінійної механіки дозволяє визначати напружено деформований стан оболонок з немалою похибкою, так як реальні конструктивні матеріали (бетон, арматура та інші), з яких виготовляється конструкція, деформуються нелінійно. Особливо відчутна ця похибка для оболонок шарнірно обпертих по контуру (таблиця).

Математична модель розрахунку залізобетонної оболонки

вміщує рівняння рівноваги, геометричні рівняння та фізичні співвідношення. Останні зазвичай будуються на основі подання залізобетону з тріщинами як суцільного середовища. В разі неврахування дійсної орієнтації тріщин багато авторів компенсували недосконалість ортотропної фізичної моделі відносним зниженням жорсткості оболонки при закручуванні.

Таблиця

Похибка між навантаженнями початку пластичних деформацій у бетоні, визначених для залізобетонних оболонок додатньої кривизни, розрахованих в геометрично лінійній і нелінійній постановках

Відносна геометрична кривизна						
20	40	80	120	160	180	200
Шарнірно оберта оболонка додатної кривизни						
47,0	58,3	55,6	61,0	63,5	68,4	66,7
Шарнірно нерухомо оберта оболонка додатної кривизни						
20,0	7,4	3,8	2,4	1,5	1,4	0,8

Найбільш досконало властивості деформування тонкостінних залізобетонних конструкцій відображає анізотропна модель, запропонована М.І. Карпенком, яка використана в побудові вирішуючої системи рівнянь. Коефіцієнти податливості залежать від схеми та орієнтації тріщин, армування, характеристик матеріалів, особливостей зчеплення бетону та арматури, інших факторів. Нелінійність співвідношень зумовлена залежністю коефіцієнтів матриці жорсткостей від рівня зусиль. Оскільки ця матриця заповнена, то кривизни залежать не тільки від моментів, але й від мембранних сил, а деформації серединної поверхні зумовлені як мембранними силами, так і моментами.

Для моделювання поведінки залізобетонної оболонки під дією навантаження та навоколишнього середовища використовується удосконалений метод послідовних наближень. Рішення задачі кроково-ітераційним методом з деякою модифікацією дозволяє найбільш чітко відобразити нелінійний процес деформування оболонки в наступних стадіях її роботи: пружній; пружно-пластичній роботі бетону; з тріщинами в бетоні при пружній роботі арматури; з тріщинами в бетоні при пластичній роботі арматури.

На першому кроці для залізобетонної оболонки, що проектується, задаємо: початкове навантаження та крок його зміни (при високих рівнях крок навантаження модифікується); поле початкових дефектів (відхилення форми оболонки, що відповідають нормативним документам на допуски виготовлення і в процесі розрахунків вони не змінюються); початкові наближення (поле переміщень, яке змінюється під дією навантажень) для рішення системи нелінійних алгебраїчних рівнянь із змінними коефіцієнтами.

На першому кроці для залізобетонної оболонки, що експлуатується, задаємо: навантаження по полю оболонки, яке отримане з експертних досліджень, та крок його зміни (при високих рівнях крок навантаження модифікується); поле отриманих пошкоджень під час експлуатації (відхилення форми оболонки і в процесі розрахунків вони не змінюються; тріщини, їх габаритні розміри та місце розташування [17]; пошкодження бетону та арматури корозією); початкові наближення (поле переміщень, що співпадає на початку з відхиленнями форми оболонки і яке змінюється під дією навантажень) для рішення системи нелінійних алгебраїчних рівнянь із змінними коефіцієнтами.

Отримані рішення аналізуються на появу пластичних деформацій і тріщин у бетоні. Якщо навантаження невелике і не викликає появи пластичних деформацій і тріщин, то процес повторюється для нового кроку навантаження із застосуванням методу руху по параметру. В іншому випадку запам'ятовується поле переміщень, визначаються внутрішні зусилля, за якими визначається стадія роботи вузла оболонки та змінюється матриця жорсткостей (36 елементів) із застосуванням внутрішнього циклу мікроітерацій. По новому полю жорсткостей знову виконується рішення нелінійних алгебраїчних рівнянь із змінними коефіцієнтами і отримується нове поле переміщень. Якщо наступне поле переміщень відрізняється від попереднього більше за задану точність, то застосовується метод неповної релаксації. Коефіцієнти релаксації при невідомих визначаються по методу найменших квадратів по трьох попередніх значеннях полів переміщень, що зберігалися. Такий підхід дозволяє згладити процес відхилення поля переміщень. Аналогічні розрахунки виконуються для всіх вузлів поля оболонки для визначення появи тріщин та їх

ідентифікації із зміною поля жорсткостей.

На кожному кроці розрахунку визначається стадія роботи вузла оболонки та аналізуються умови утворення схем тріщин, що пересікаються, або не пересікаються за теорією деформування залізобетону з тріщинами М.І. Карпенка [18–20]. Якщо в вузлі виникла одна тріщина, то її орієнтація запам'ятовується і в наступних розрахунках уже фігурує як відома. Оболонка в цьому вузлі продовжує працювати з однією тріщиною навіть у разі розвантаження, коли умови появи тріщини не виконуються.

Після виконання обчислень умови виникнення тріщин по всіх вузлах кінцево-різницевої сітки та зміни за необхідності поля жорсткостей, для одного кроку по навантаженню переходимо на нову ступінь навантаження, використовуючи метод руху по параметру.

**Висновки та перспективи досліджень.** Удосконалена раніше отримана власна вирішуюча система нелінійних алгебраїчних рівнянь, що дозволяє визначати несучу здатність залізобетонних пошкоджених оболонок у нелінійній постановці з урахуванням тріщин та недосконалостей форми під час будівництва. Визначені навантаження початку виникнення пластичних деформацій у бетоні для залізобетонних оболонок додатньої кривизни, розрахованих у геометрично лінійній і нелінійній постановках для різних кривизн та обпирання, а їх аналіз показав значну розбіжність для шарнірно обпертих оболонок.

1. Коломійчук Г.П. Розрахунок пологих залізобетонних оболонок в нелінійній постановці з урахуванням початкових недосконалостей: Автореферат дис. на здоб. вч. ст. канд. техн. наук. – Одеса, 2004. – 24 с.

2. Шугаев В.В. Инженерные методы в нелинейной теории предельного равновесия оболочек / В.В. Шугаев. –М.: Готика, 2001. –368 с.

3. Шугаев В.В. Исследование локальных схем излома гладких железобетонных оболочек с различной кривизной поверхности при действии сосредоточенной нагрузки / В.В. Шугаев // Строительная механика и расчет сооружений, 2006. – №1. – С. 21 – 27.

4. Исламов К.Ф. Оценка несущей способности пластин и оболочек на основе теории предельного равновесия: Автореферат дисс.на соиск. уч. ст. канд. техн. наук. – Набережные Челны: Камская государственная инженерно – экономическая академия, 2007. – 23 с.

5. Янковский А.П. Оценка предельных уровней нагружения сложно армированных оболочек вращения в условиях ползучести / А.П.

Янковский // Проблемы прочности и пластичности, 2010. – Вып. 72. – С. 63 – 72.

6. Дорофеев В.С. Несущая способность квадратных шарнирно опертых железобетонных оболочек с несовершенствами / В.С. Дорофеев, Г.П. Коломийчук // Вісник ОДАБА, Одеса: Зовнішрекламсервіс, 2006. – Вип. 21. – С. 86 – 93.

7. Isler Heinz. The stability of thin concrete Shells / Heinz Isler // Buckling Shells. Proc. State of the Art Collog., Univ. Stuttgart, May 6–7, 1982. – Berlin, 1982. – P. 645 – 672.

8. Dulaska E. The safety factor to be applied in Shells buckling analysis / E. Dulaska // Acta Technica Acad. Shi Hung., 1986. –Vol. 99 (1–2). – P. 9 – 30.

9. Шугаев В.В. О расчетах устойчивости железобетонных сферических оболочек / В.В. Шугаев // Строительная механика и расчет сооружений, 2007. – №1. – С. 33 – 37.

10. Дорофеев В.С. Расчет пологих железобетонных оболочек в нелинейной постановке / В.С. Дорофеев, Г.П. Коломийчук // Польсько-українсько-литовський збірник праць "Теоретичні основи будівництва". – Варшава, 2010. – №18. – С. 87 – 94.

11. Дорофеев В.С. Сучасні вимоги до проектування великопрогінних тонкостінних залізобетонних оболонок покриттів / В.С. Дорофеев, Й.Й. Лучко, Г.П. Коломийчук // Зб. наук. праць "Механіка і фізика руйнування будівельних матеріалів та конструкцій". – Львів: Каменяр, 2009. – Вип. 8. – С. 416 – 425.

12. Recommendation for Reinforced Concrete Shells and Folded Plates, working group hr. 5. IASS. – Madrid, 1979. – 66 p.

13. Руководство по проектированию железобетонных пространственных конструкций покрытий и перекрытий. – М.: Стройиздат, 1979. – 421 с.

14. Шугаев В.В. Аварии железобетонных конструкций и их предупреждение / В.В. Шугаев, Б.С. Соколов // Бетон и железобетон – пути развития. Научные труды 2 Всероссийской (международной) конференции по бетону и железобетону. Том 1. Пленарные доклады. – М.: Дипак, 2005. – С.371 – 380.

15. Коломийчук Г.П. Техническая оценка железобетонных оболочек покрытия / Г.П. Коломийчук // Вісник ОДАБА, Одеса: Зовнішрекламсервіс, 2009. – Вип. 34. – Частина 2. – С. 428 – 435.

16. Ступишин Л.Ю. Восстановление несущей способности и эксплуатационных характеристик геометрически нелинейных пологих оболочек на прямоугольном плане / Л.Ю. Ступишин, А.Г. Колесников // Промышленное и гражданское строительство, 2014. – №2. – С. 51 – 53.

17. Коломийчук Г.П. Определение габаритных параметров трещин на поверхности пологих железобетонных оболочек и их систематизация для

учета в деформационных математических моделях / Г.П. Коломийчук // Вісник ОДАБА, Одеса: Зовнішрекламсервіс, 2007. – Вип. 24. – С. 133 – 138.

18. Дорофеев В.С. Трещинообразование в пологих железобетонных оболочках двойкой кривизны / В.С. Дорофеев, Г.П. Коломийчук // Вісник ОДАБА, Одеса: Зовнішрекламсервіс, 2006. – Вип. 23. – С. 77 – 81.

19. Карпенко Н.И. Теория деформирования железобетона с трещинами / Н.И. Карпенко. – М.: Стройиздат, 1976. – 208 с.

20. Карпенко Н.И. О расчете железобетонных оболочек покрытий и емкостей / Н.И. Карпенко // Прогрессивные конструкции элеваторов и совершенствование методов их расчета. – М.: Стройиздат, 1984. – С. 3–14.

**УДК 691;620.191.33;539.3**

**ЗАСТОСУВАННЯ МЕТОДУ РОЗКЛАДАННЯ ЗА ВЛАСНИМИ  
ФУНКЦІЯМИ ДЛЯ ДОСЛІДЖЕННЯ НАПРУЖЕНЬ І  
ДЕФОРМАЦІЙ БІЛЯ ВЕРШИНИ ТРІЩИНИ  
НОРМАЛЬНОГО ВІДРИВУ В ЗАЛІЗОБЕТОННИХ  
ЕЛЕМЕНТАХ, ЩО ЗГІНАЮТЬСЯ**

**APPLICATION OF THE EIGENFUNCTION EXPANSION  
METHOD FOR RESEARCH TENSIONS AND DEFORMATIONS  
NEAR A MODE I CRACK TIP IN REINFORCED CONCRETE  
BENDING ELEMENTS**

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

**Maystrenko O.F., Ph.D., senior lecturer, Zinchenko H.V, doctoral  
student, (Odessa State Academy of Building and Architecture, Odessa)**

У статті наведено асимптотичний аналіз напружено-деформованого стану біля вершини тріщини нормального відриву в середовищі з пошкодженістю. Описано побудову асимптотичного рішення задачі, заснованого на методі розкладання за власними функціями.

For the rational reinforced concrete constructions and their structures design it is necessary to improve calculation method, that



entails more detailed study of concrete properties and reinforced concrete constructions' work under load. Solid items structural failure is caused by macroscopic cracks formation and development. The question to determine "local" tensioning near considerable changes of body surface form is marked in a separate problem: the problem of tensioning concentration.

Thus, one of the concrete's features that has been identified recently, is its damage by technological cracks. These breaches are the most brittle structural to elements of material because of a specific capability to concentrate tensioning at its outfall. Their presence in the substance causes structural changes under the exploitation outer forces effects.

The subject of our research is an asymptotic analysis of field stress and deformations in the limits of a crack top in a bending elements. The search is done with the help of eigenfunction expansion method. Today asymptotic methods are widely used in modern non-linear dynamics and mechanics of a stressed solid body. It is shown that the eigenfunction expansion method results in the nonlinear eigenvalue problem. The numerical solution of the nonlinear eigenvalue problem for all the values of the mixity parameter and for all practically important values of the strain hardening (or creep) exponent is obtained.

Asymptotic analysis of singular fields of stress and deformation near the concentrators of stress has generated and continues to generate the great interest and draws the attention of many researches in the field of mechanics of a stressed solid body.

In the article asymptotic analysis of a stressed-deformed state near a mode I crack tip in the medium with the damage. The composition of asymptotic task solution, based on the eigenfunction expansion method is given.

Ключові слова: пошкоженість, асимптотичний аналіз, композиційні будівельні матеріали, напруження, деформації, метод розкладання за власними функціями.

Keywords: damaging, asymptotic analysis, composition building materials,, tensions, deformation, eigenfunction expansion method.

**Вступ.** Аналіз розподілів напружень, деформацій і переміщень біля вершини тріщини є однією із фундаментальних задач механіки тріщин, що представляє інтерес з теоретичної,

експериментальної та обчислювальної точок зору. В даний час багато питань, пов'язаних із визначенням напружено-деформованого стану поблизу вершини дефекту, залишаються відкритими. Зараз у механіці тріщин та в цілому в механіці руйнування склалося розуміння процесу руйнування як процесу багатомасштабного та багаторівневого, для опису основних закономірностей якого слід використовувати багатомасштабні моделі. В рамках багаторівневого підходу процес руйнування моделюється за допомогою різних визначальних співвідношень на різних відстанях від вершини тріщини за допомогою введення полів напруги з різною асимптотичною поведінкою біля вершини тріщини. При побудові рішення задачі відмічається, що поля напруги, що працюють на різних відстанях від кінчика тріщини, зростають в зонах, де справедливі асимптотики сусідніх областей. Одним з найбільш поширених математичних методів побудови розподілів напружень, деформацій і переміщень біля кінчика тріщини є асимптотичний аналіз, який базується на підходах, розвинутих в асимптотичній теорії [2].

**Аналіз досліджень.** Нижче розглядаються основні рівняння і поняття механіки руйнування, запропоновані в [1], що дозволяють за допомогою методу розкладання за власними функціями описати напружено-деформований стан біля вершини тріщини в пружному середовищі.

Слід зазначити, що найбільш актуальною проблемою, яка виникає при розрахунку та конструюванні інженерних споруд, є необхідність врахування нелінійностей різного виду і сингулярностей, викликаних частковим руйнуванням біля концентраторів напружень у вигляді тріщин, гострих кутів та вирізів [3].

**Ціль дослідження.** Застосувати математичний апарат механіки руйнування для опису напружено-деформованого стану біля вершини тріщини в залізобетонних елементах, що згинаються.

**Методика та результати дослідження.** Особливість будівельних матеріалів полягає в їх яскраво вираженій гетерогенності.

Однією з основних завдань сучасного будівельного матеріалознавства є створення багатокомпонентних матеріалів із наперед заданими властивостями. Багатокомпонентні матеріали, властивості яких відрізняються від властивостей вихідних

складових, відносяться до композиційних будівельних матеріалів (КБМ) [4, 5, 6, 7].

КБМ представляють собою штучні матеріали складних структур, що складаються із двох та більше компонентів і набувають у результаті такого поєднання комплексу нових властивостей, які не притаманні вихідним складовим [7, 8, 9, 10].

Відомо, що номенклатура КБМ включає бетони, які згідно поліструктурної теорії [9, 11] представляються матеріалами типу "структура у структурі". Це зумовлено тим, що в процесі організації структури складно сформованих матеріалів спонтанно утворюються структурні дискретні елементи масштабного різного рівня з утворенням внутрішніх поверхонь розділу. Останні можна представити як тріщини, що здатні до розвитку та укрупнення, віднесені до технологічних (залишкових, спадкових) [12].

Як сказано в [13] магістральна тріщина проходить по межах розділу структурних блоків, які повторюють конфігурацію технологічних тріщин, та розділяє конструкцію на самостійні частини. Аналіз поверхні руйнування показав, що переважний розвиток має магістральна тріщина. Звертає на себе увагу мікротраєкторія магістральної тріщини – при збереженні загального напрямку вона зростає по технологічним поверхневим дефектам. Це дає підставу припустити, що керуючи технологічною пошкодженістю, можна змінювати умови, кінетику росту та мікротраєкторію магістральних тріщин.

Так, одним із важливих практичних застосувань механіки тріщин є можливість прогнозування тривалості зростання дефектів від вихідних розмірів до критичних або розрахунок залишкового ресурсу елемента конструкції на основі комплексних моделей, заснованих на теоретичних обґрунтуваннях та експериментальних даних.

На думку Голишева О.Б., виникнення тріщин у залізобетонних конструкціях пов'язане з умовами твердіння бетону та силовими, деформаційними впливами середовища (зовнішнім навантаженням, осадкою опор, зміною температури). Тріщини від перерахованих факторів найчастіше з'являються в розтягнутій частині конструкції [14].

Використання механіки руйнування в момент оцінювання КБМ не змінює уявлень про матеріал як про безперервне середовище.

Проведений аналіз методів розрахунку будівельних конструкцій не дозволив визначити методи, що враховують гетерогенність матеріалу та її вплив на загальний та локальний напружено-деформований стан конструкції [15].

Таким чином, структуру конструкції можна уявити різними моделями, вид яких залежить від поставлених цілей та вивчення її поведінки при дії експлуатаційних навантажень, а також причин, що пояснюють його.

Перейдемо до методів, що дозволяють досліджувати НДС біля вершини технологічних тріщин у залізобетонних згинальних елементах, які переходять у тріщини експлуатаційні. Відомо, що тріщини – це несутільності матеріалу, які здатні концентрувати в місцях змикання деформації та напруги, що значно відрізняються від середніх значень в обсязі матеріалу. Тому вивчення питання НДС біля вершини технологічної тріщини є, на нашу думку, особливо важливим.

У [16] приведена схема трансформації тріщини у ВПР, рис.1. Розкриємо поняття ВПР та опишемо коротко рис. 1 (а).

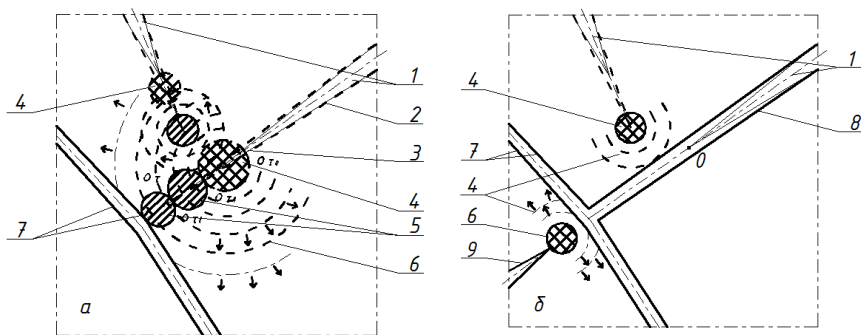


Рис. 1. Схема трансформації тріщини у ВПР:  
а – ріст технологічної тріщини; б – модель структури після переходу ТТ у ВПР; 1 – ТТ; 2 – берега ТТ; 3 – гирло ТТ; 4 – зона концентрації деформацій та напруг; 5 – просування зони концентрації деформацій та напруг; 6 – деформаційні хвилі у матеріалі; 7 – берега ВПР; 8 – підростаюча ТТ.

Під внутрішніми поверхнями розділу розуміють поверхні розділу між матричним матеріалом та поверхнею заповнювачів та інших елементів (включень, арматури тощо). Це несущі частини матеріалу, які утворилися при розвитку тріщин до їх виходу на поверхню берегів інших тріщин або внутрішніх поверхонь розділу [16].

Перетворення технологічної тріщини (ТТ) в експлуатаційну тріщину (ЕТ) змінює структуру матеріалу, але при цьому не веде до встановлення рівноваги в системі (співіснування різних за видом, якісному, кількісному складу та призначенню підсистем забезпечують цілісність та призначення конструкції як системи). Релаксація локального напружено-деформованого стану відбувається при виході ЕТ на берега ВПР. У цьому випадку тріщина втрачає свій основний елемент – гирло. Енергія, яку тріщина підвела до кордону розділу, витрачається на збільшення ширини розкриття колишньої тріщини в зоні її виходу на берег ПР.

У системі відбулися якісні зміни, пов'язані з перетворенням експлуатаційної тріщини в нову для системи поверхню розділу. Аналогічні процеси відбуваються при виклинюванні однієї тріщини на береги іншої тріщини, що одну тріщину перетворює у ВПР, а зростання іншої може призупинитися за рахунок порушення цілісності одного з берегів. Завершальний цикл перетворення тріщини в межу розділу представлений на рис. 1 (б).

Для дослідження напружень і переміщень в лінійно пружних тілах в даний час зазвичай використовуються три методи: метод комплексних потенціалів Колосова-Мусхелішвілі [17], метод інтегральних перетворень [18] та метод розкладання за власними функціями [19].

Як зазначено в [1], метод розкладання за власними функціями має більш широку область застосування, ніж лінійна теорія пружності (відомі додатки цього методу до аналізу напружень і деформацій біля вершини тріщини в тілах, що зміцнюються, та в умовах повзучості, в тому числі і з урахуванням поля розсіяних пошкоджень).

Скористаємося схемою, наведеною в [19] для дослідження сингулярного поля біля вершини тріщини нормального відриву, яка розвивалася по траєкторії технологічної тріщини в залізобетонному згинальному елементі.

Як зазначено в [1], комплексний вигляд переміщень і напружень у полярній системі координат  $z = re^{i\theta}$  такий:

$$2G(u_r + iu_\theta) = e^{-i\theta} \left[ \kappa\varphi(z) - z\overline{\varphi'(z)} - \overline{x'(z)} \right]$$

$$\sigma_{rr} + \sigma_{\theta\theta} = 2\left[\varphi'(z) + \overline{\varphi'(z)}\right],$$

$$\sigma_{\theta\theta} - \sigma_{rr} + 2i\sigma_{r\theta} = 2e^{2i\theta}\left[\overline{z}\varphi''(z) + x''(z)\right] \quad (1)$$

Поблизу вершини тріщини комплексні потенціали необхідно розкласти в ряди [1]:

$$\varphi(z) = \sum_{n=0}^{\infty} A_n z^{\lambda_n}, \quad \sum_{n=0}^{\infty} B_n z^{\lambda_n+1}, \quad (2)$$

де  $\lambda_n$  – це речові числа, що мають сенс власних значень.

Гранична умова на берегах тріщини сформульована таким чином:

$$\sigma_{\theta\theta} + i\sigma_{r\theta} = 0 \quad (\theta = \pm\pi), \quad (3)$$

Підставляючи розкладання комплексних потенціалів в граничні умови, знаходимо (4):

$$\sum_{n=0}^{\infty} \lambda_n r^{\lambda_n-1} \left\{ \begin{aligned} &\lambda_n e^{i(\lambda_n-1)\theta} A_n + \\ &+ e^{-i(\lambda_n-1)\theta} \overline{A_n} + (\lambda_n+1) e^{i(\lambda_n+1)\theta} B_n \end{aligned} \right\} = 0$$

$$(\theta = \pm\pi). \quad (4)$$

Характеристичне рівняння (5):

$$\sin 2\pi\lambda_n = 0 \quad (5)$$

приводить до низки власних значень (характеристичних чисел):  $\lambda_n = n/2$  ( $n = 1, 2, \dots$ ).

Від'ємні  $\lambda_n$  не підходять, оскільки призводять до нескінченних переміщень у разі  $r \rightarrow 0$ .

Значення  $\lambda_n = 0$  також не підходить, оскільки в цьому випадку напруження та деформації при  $r \rightarrow 0$  порядку  $r^{-1}$  і тому пружна

енергія будь-якої області, що примикає до вершини тріщини, буде мати нескінченно велике значення, що не є реалістичним.

Отже, найменше власне значення є  $\lambda_1 = 1/2$ .

Так як

$$\lambda_n A_n + (-1)^n \overline{A_n} + (\lambda_n + 1) B_n = 0 \quad (n = 1, 2, \dots), \quad (6)$$

то при  $n = 1$  и  $\lambda_1 = 1/2$  знаходимо асимптотики (7):

$$\varphi(z) = A_1 z^{1/2}, \quad x(z) = B_1 z^{3/2} \quad (7)$$

де  $3B_1 = 2\overline{A_1} - A_1$ .

Таким чином, напруження і переміщення поблизу вершини тріщини визначаються у вигляді (8...12):

$$\sigma_{rr} = \frac{1}{4\sqrt{r}} \left[ a_1 \left( 5 \cos \frac{\theta}{2} - \cos \frac{3\theta}{2} \right) + a_2 \left( -5 \sin \frac{\theta}{2} + 3 \sin \frac{3\theta}{2} \right) \right], \quad (8)$$

$$\sigma_{\theta\theta} = \frac{1}{4\sqrt{r}} \left[ a_1 \left( 3 \cos \frac{\theta}{2} + \cos \frac{3\theta}{2} \right) + a_2 \left( -3 \sin \frac{\theta}{2} - 3 \sin \frac{3\theta}{2} \right) \right], \quad (9)$$

$$\sigma_{r\theta} = \frac{1}{4\sqrt{r}} \left[ a_2 \left( \cos \frac{\theta}{2} + 3 \cos \frac{3\theta}{2} \right) + a_1 \left( \sin \frac{\theta}{2} + \sin \frac{3\theta}{2} \right) \right]; \quad (10)$$

$$u_r = \frac{\sqrt{r}}{4G} \left[ a_1 \left[ (2\kappa - 1) \cos \frac{\theta}{2} - \cos \frac{3\theta}{2} \right] + a_2 \left[ -(2\kappa - 1) \sin \frac{\theta}{2} + 3 \sin \frac{3\theta}{2} \right] \right] \quad (11)$$

$$u_{\theta} = \frac{\sqrt{r}}{4G} \left[ a_1 \left[ -(2\kappa + 1) \sin \frac{\theta}{2} + \sin \frac{3\theta}{2} \right] + a_2 \left[ -(2\kappa + 1) \cos \frac{\theta}{2} + 3 \sin \frac{3\theta}{2} \right] \right] \quad (12)$$

де  $A_1 = a_1 - ia_2$ .

Виділяючи симетричні та антисиметричні (по відношенню до осі  $x_1$ ) члени та позначаючи  $K_I - iK_{II} = \sqrt{2\pi}(a_1 - ia_2)$ , отримуємо асимптотики для тріщин типів I (нормальний відрив) та II (поперечний зсув (детальний опис див. [1])).

Розпишемо асимптотику для тріщин нормального відриву (13 ...17):

$$\sigma_{rr} = \frac{1}{4\sqrt{2\pi r}} K_I \left( 5 \cos \frac{\theta}{2} - \cos \frac{3\theta}{2} \right), \quad (13)$$

$$\sigma_{\theta\theta} = \frac{1}{4\sqrt{2\pi r}} K_I \left( 3 \cos \frac{\theta}{2} + \cos \frac{3\theta}{2} \right) \quad (14)$$

$$\sigma_{r\theta} = \frac{1}{4\sqrt{2\pi r}} K_I \left( \sin \frac{\theta}{2} + \sin \frac{3\theta}{2} \right) \quad (15)$$

$$u_r = \frac{\sqrt{r}}{4G\sqrt{2\pi}} K_I \left[ (2\kappa - 1) \cos \frac{\theta}{2} - \cos \frac{3\theta}{2} \right] \quad (16)$$

$$u_{\theta} = \frac{\sqrt{r}}{4G\sqrt{2\pi}} K_I \left[ -(2\kappa + 1) \sin \frac{\theta}{2} + \sin \frac{3\theta}{2} \right] \quad (17)$$

В [1] автор зазначає, що члени розкладів, що відповідають власним числам  $\lambda = 1, 3/2, 2, \dots$ , дають кінцеві при  $r \rightarrow 0$  вклади в напруження.

Таким чином, за допомогою методу розкладання за власними функціями можуть бути знайдені всі наступні (несингулярні) члени розкладів напруг і переміщень біля вершини тріщини.



**Висновки.** У статті наведено асимптотики напружено-деформованого стану біля вершини тріщини нормального відриву в залізобетонному елементі, що згинається (в середовищі з пошкодженням), отримані за допомогою методу розкладання за власними функціями. При використанні даного методу можуть бути знайдені усі наступні (несингулярні) члени розкладів напруг і переміщень біля вершини тріщини.

#### **Список використаних джерел**

1. Астафьев В.А. Нелинейная механика разрушения / В.А. Астафьев, Ю.Н. Радаев., Л.В. Степанова. – Самара: Издательство «Самарский университет», 2001. – 20 с.
2. Яковлева Е.М. Краевые задачи о смешанном нагружении тел с разрезами с учетом накопления рассеянных повреждений в связанной постановке: Автореферат дисс. на соиск. уч. степ. канд. техн. наук. – Самара, 2016. - 3 с.
3. Степанова Л. В. Математические методы механики разрушения / Л. В. Степанова. – М.: Физматлит, 2009. – 336 с.
4. Ван Флек Л. Теоретическое и прикладное материаловедение / Л. Ван Флек. – М.: Атомиздат, 1975. – 472 с.
5. Дорофеев В.С. Пути снижения материалоемкости строительных материалов и конструкций: Уч. Пособие / В.С. Дорофеев, В.Н. Выровой, В.И. Соломатов. – К.: УМК ВО УССР, 1989. – 79 с.
6. Ениколомян Н.С. Композиционные материалы – материалы будущего / Н.С. Ениколомян // Журн. Всесоюз. хим. о-ва им. Д.И. Менделеева. – 1978. – т. 23. – С.243-245.
8. Неупругие свойства композиционных материалов / Под ред. К.Н. Геракович. – М.: Мир, 1978. – 295 с.
9. Соломатов В.И. Полиструктурные композиционные материалы в строительстве / В.И. Соломатов, А.Н. Бобрышев, К.Г. Химмлер; под ред. В.И. Соломатова. – М.: Стройиздат, 1988. – 312 с.
10. Соломатов В.И. Композиционные строительные материалы и конструкции пониженной материалоемкости / В.И. Соломатов, В.С. Дорофеев, В.Н. Выровой, А.В. Сиренко. – К.: Будівельник, 1991. – 144 с.
11. Соломатов В.И. Развитие полиструктурной теории композиционных строительных материалов / В.И. Соломатов // Изв. Вузов. Строительство и архитектура. – 1985. – № 8. – С. 58-54.
12. Ахвердов И.Н. Основы физики бетона / И.Н. Ахвердов – М.: Стройиздат, 1981. – 464 с.
13. Выровой В.Н. Композиционные строительные материалы и конструкции: Структура, самоорганизация, свойства / В.Н. Выровой., В.С.

Дорофеев, В.Г. Суханов; под ред. В.Н. Вырового. – Одесса: 2010. – 91 с.

14. Гольшев А.Б. Сопrotивление железобетона / А.Б. Гольшев, В.И. Колчунов. – Киев: Логос, 2009. – С. 104-167.

15. Дорофеев В. С., Выровой В. Н. Технологическая поврежденность строительных материалов и конструкций: Моногр. / В.С. Дорофеев, В.Н. Выровой. – Одесса: Город мастеров, 1998.– 19 с.

16. Выровой В.Н. Композиционные строительные материалы и конструкции: Структура, самоорганизация, свойства / В.Н. Выровой., В.С. Дорофеев, В.Г. Суханов; под ред. В.Н. Вырового. – Одесса: 2010. – С. 133-135.

17. Мухелишвили Н.И. Некоторые основные задачи математической теории упругости / Н.И. Мухелишвили. – М.: Изд-во АН СССР, 1954. – 648 с.

18. Уфлянд Я.С. Интегральные преобразования в задачах теории упругости / Я.С. Уфлянд. – Л.: Наука. Ленингр. отд., 1967. – 402 с.

19. Williams M.L. On the stress distribution at the base of a stationary crack / M. L. Williams // Trans. ASME. J. Appl. Mech. – 1975. – V. 24. – P. 109-114.

УДК: 624.1: 332.54

**ТЕОРЕТИКО-МЕТОДИЧНІ ПІДХОДИ ДО ВИЗНАЧЕННЯ  
ТЕРИТОРІАЛЬНОГО РОЗВИТКУ ВИКОРИСТАННЯ  
ЗЕМЕЛЬ РЕГІОНІВ**

**THEORETICAL AND METHODOLOGICAL APPROACHES TO  
DEFINING TERRITORIAL DEVELOPMENT OF LAND USE OF  
REGIONS**

**Мамонов К.А., д.е.н., професор** (ХНУМГ ім. О.М. Бекетова, м. Харків), **Нестеренко С.Г., к.т.н., ст. викладач** (ХНУМГ ім. О.М. Бекетова, м. Харків), **Шаульський Д.В. аспірант кафедри земельного адміністрування та геоінформаційних систем** (ХНУМГ ім. О.М. Бекетова, м. Харків)

**Mamonov K.A., Doctor of economics, professor** (O. M. Beketov National University of Urban Economy, Kharkiv), **S.G. Nesterenko, Ph.D., art. teacher** (O. M. Beketov National University of Urban Economy, Kharkiv), **Shaulsky D.V. Graduate student of the Department of Land Administration and GIS** (O. M. Beketov National University of Urban Economy, Kharkiv)

Проведений аналіз існуючих теоретико-методичних положень науковців та запропоновано визначення територіального розвитку використання земель регіону, що характеризується як сукупність просторових, містобудівних, інвестиційних та екологічних факторів взаємодія яких призводить до досягнення якісного нового стану земельних відносин.

Territorial aspects influence the development of land use in the regions. Territorial development is multidimensional and involves a variety of factors. Given the current conditions, unresolved complex problems, it is important to form and implement directions of territorial development of land use in the region, ensuring their forecasting. At the same time, in the existing scientific developments there are no common approaches to the definition of territorial development of land use in the region. In particular, the importance of economic and geographical factors affecting the territorial development of the regions is indicated in the work "territorial development and regional policy in Ukraine". At the

same time, the formation and implementation of demographic policy, which at the present stage is of a destructive nature, is of particular importance. There are processes associated with the reduction of the population, its migration to other countries as a result of internal and external imbalances, the deepening of negative phenomena.

The dissociation of theoretical approaches to the definition of territorial development of land use in the region, where the focus is only on certain aspects, in particular spatial, urban, investment, or environmental, or a combination of some of them. The presented approaches do not allow to systematically solve the problem of creating a theoretical and methodological basis for determining and assessing the territorial development of land use, the development of an appropriate mechanism for its provision.

The analysis of existing theoretical and methodological positions of scientists and the definition of territorial development of the use of lands of the region, which is characterized as a set of spatial, urban, investment and environmental factors, whose interaction leads to the achievement of a qualitative new state of land relations, is proposed.

The presented approaches do not allow to systematically solve the problem of creating a theoretical and methodological basis for determining and assessing the territorial development of land use, the development of an appropriate mechanism for its provision.

Ключові слова: землі міст, земельне адміністрування, геоінформаційні технології, міське середовище, програмне забезпечення.

Keywords: the lands of cities, land administration, GIS technology, urban, software.

На забезпечення розвитку використання земель регіонів здійснюють вплив територіальні аспекти. У цьому контексті, слід відзначити, що територіальний розвиток має багатоаспектний характер і включає вплив різних факторів. Зокрема, на думку фахівців, в сфері регіональної демографічної політики у територіальному розвитку регіонів відбуваються процеси, які характеризуються зниженням чисельності населення, їх значної міграції, що пов'язано із низькими соціально-економічними

умовами, некерованістю та стихійністю демографічного розвитку, відсутністю цілеспрямованої демографічної політики, скорочення якісних характеристик людського потенціалу.

У процесах зростання власних повноважень регіонів, особливо у частині створення та розвитку об'єднаних територіальних громад, особливого значення набуває використання земель, які є основним джерелом, що забезпечує, зокрема, створення можливостей поповнення місцевих бюджетів.

Враховуючи сучасні умови, невирішеність комплексу проблем, важливим є формування та реалізація напрямів територіального розвитку використання земель регіону, забезпечення їх прогнозування. Поряд з цим, в існуючих наукових розробках відсутні єдині підходи до визначення територіального розвитку використання земель регіону. Зокрема, на важливість економіко-географічних факторів, що впливають на територіальний розвиток регіонів вказано у роботі «Територіальний розвиток та регіональна політика в Україні» [1]. При цьому особливе значення має формування та реалізація демографічної політики, яка на сучасному етапі має деструктивний характер. Відбуваються процеси пов'язані із скороченням чисельності населення, його міграцією у інші країни внаслідок внутрішніх і зовнішніх диспропорцій, поглиблення негативних явищ.

На важливість економіко-географічних факторів для забезпечення територіального розвитку регіону вказано також у роботі Саушкина Ю.Г. «Географическая наука в прошлом, настоящем, будущем.» [2], де відзначено «Суть географічності полягає у вивченні зв'язків явищ не лише в просторі, але і в часі, не лише поряд один з одним, але і в послідовності стадій їх розвитку».

Визначення геопросторових факторів для забезпечення територіального розвитку представлено у розробках Топчієва О.Г. «Основи суспільної географії» [3], Немець Л.М., Олійник Я.Б., Немець К.А. «Просторова організація соціально-географічних процесів в Україні» [4]. У дослідженні Єрошкіна О.О. «Територіальні природно-економічні відмінності як об'єктивна основа територіального розподілу праці і регіонального розвитку» [5], розкриті зовнішні фактори, що впливають на територіальний розвиток регіонів:

- макроекономічні фактори, враховуючи рівень інфляції, безробіття, розмір тарифів на енергоносії;
- формування та використання нормативно-правової бази;
- напрями та особливості державного регулювання територіального розвитку регіону;
- забезпечення міжбюджетних відносин;
- вплив зовнішньоекономічних факторів.

Поряд з цим, для забезпечення територіального розвитку регіону не вказані просторові, містобудівні, екологічні фактори. Крім того, фокусування уваги лише на економічних аспектах територіального розвитку призводить до дисбалансів і гальмуванню представленого процесу.

Для забезпечення регіонального розвитку деякі науковці будують відповідні моделі:

- **еколого-економічна:** формуються природні ресурси, визначаються напрями їх використання, враховуючи їх вплив на екологічний стан, виявляються виробничо-господарські зв'язки;
- **інноваційно-інвестиційна:** визначаються напрями формування та здійснення інвестицій, враховуючи рівень їх інноваційності;
- **інноваційна:** встановлюються напрями та особливості формування науково-технічного потенціалу, мультиплікатори інноваційного розвитку регіонів;
- **кластерна:** характеризуються територіально-галузева близькість, науково-дослідні центри, доступ до знань, інформації, технологій і нововведень, інвестиційна привабливість, рівень державно-приватного партнерства, замкненість виробничого циклу;
- **мобілізаційно-інноваційна:** визначаються напрями формування регіонального й інноваційного потенціалів;
- **сталого розвитку:** соціалізація, державне регулювання, суспільна відповідальність, екологічність, безпека, інформатизація, власність, корпоративна система, ринкове регулювання, алокація ресурсів, інтелектуалізація, транснаціоналізація.

У представленому дослідженні основна увага фокусується на

економічних та інноваційно-інвестиційних факторах, що забезпечують територіальний розвиток регіонів. Проте, не знижує комплексність та достовірність розробки, оскільки територіальний розвиток включає широке коло факторів, які об'єднуються у групи:

- просторові;
- містобудівні;
- екологічні;
- інвестиційні.

При визначенні розвитку регіонів, реалізуючи комплексний підхід, науковці встановлюють взаємодію між соціальним, господарським, ресурсним й екологічним потенціалами території.

На соціальних і економічних компонентах розвитку регіонів вказано у роботі Скуфьина Т., Баранова С. [6].

Слід зазначити, що у контексті територіального розвитку регіону заслуговує на увагу розробка Борушак М. «Проблеми формування стратегії розвитку туристичних регіонів [7], де відзначено важливість просторових характеристик: «Поняття регіонального та місцевого розвитку найчастіше стосується просторового масштабу розвитку або дій на вказаному масштабі території. Це питання зводиться не стільки до просторового облаштування, скільки до «низового» характеру динаміки розвитку».

Територіальний розвиток пов'язаний із категоріями прогрес, модернізація, деградація, стагнація, що характеризує його рівні.

Незрозуміло, яким чином взаємодіють представлені категорії при забезпеченні територіального розвитку регіонів, що невраховують просторові та інші характеристики.

На стейкхолдерних факторах, що забезпечують взаємодію між «органами самоврядування», регіональними та державними суб'єктами управління, що забезпечують раціональне сполучення соціальних, економічних та екологічних елементів простору життєдіяльності людей для повного та доступного задоволення різноманітних потреб всіх верств населення.

При забезпеченні територіального розвитку регіонів заслуговують на увагу точки зору У. Пауелл і Л. Сміт-Дор [8], які характеризують його з позиції формування та використання «Соціально інтегрованих, дрібних, децентралізованих виробничих одиниць». Перевагами представленого підходу є можливості

врахування соціальних, виробничих, державних, управлінських факторів, які взаємодіють на основі формування та реалізації інтегральної системи. Це дозволяє зробити висновок про застосування системного підходу до визначення напрямів територіального розвитку.

Для розвитку земельних відносин у регіонах України розроблені відповідні програми, та характеристика регіональних програм розвитку земельних відносин в Україні (систематизовано автором).

У результаті аналізу основних положень регіональних програм розвитку земельних відносин в Україні визначені напрями їх формування та реалізації:

- обґрунтування шляхів і засобів розв'язання проблеми;
- завдання програми;
- основні напрями розвитку земельних відносин.

Причому основна увага фокусується на формуванні інформаційно-аналітичного забезпечення земельних відносин на регіональному рівні, яке базується на інвентаризації земель, створенні напрямів їх розподілу, що враховують економічні, екологічні та соціальні аспекти регіонального розвитку. Слід вказати на удосконалення та імплементації нормативно-правового забезпечення територіального розвитку використання земель регіонів.

Крім того, у результаті аналізу регіональних програм розвитку земельних відносин, слід вказати на те, що на територіальний розвиток використання земель регіонів здійснюють вплив просторові, містобудівні, інвестиційні та екологічні фактори.

Слід вказати на визначену систему просторових, містобудівних, інвестиційних факторів, що впливають на використання земель міст. У розробках автора вказано на необхідність визначення представлених факторів у системі використання земель через призму оцінних процедур, кадастрової інформації, здійснення моніторингу.

У розробці «Містобудування, як складова управління територіальним розвитком міста», визначаються напрями, та особливості містобудування для забезпечення управління територіальним розвитком. Причому у цьому процесі визначається вплив екологічних, та соціальних факторів, що створює систему



територіального розвитку міста.

Для забезпечення територіального розвитку визначається збалансування впливу соціально-економічних, та містобудівних факторів, де інструментами виступають розроблення і дотримання вимог містобудівної документації регіонального, та місцевого рівнів, а саме:

- схем планування територій;
- генеральних планів населених пунктів;
- планів земельно-господарського устрою;
- регіональних і місцевих правил забудови;
- містобудівних кадастрів населених пунктів.

На екологічних факторах та напрямках їх формування і взаємодії у системі територіального розвитку фокусується увагу у роботах Кучерявого В.А. «Природная среда города».

У роботах вчених США «Правовое регулирование использования земель», для формування системи територіального розвитку визначаються фактори управління містобудівною діяльністю.

Встановлена роз'єднаність теоретичних підходів до визначення територіального розвитку використання земель регіону, де основна увага фокусується лише на окремих аспектах, зокрема на просторових, містобудівних, інвестиційних, або екологічних, або комбінації деяких з них. Представлені підходи не дозволяють системно вирішити проблему створення теоретико-методологічної основи визначення, та оцінки територіального розвитку використання земель, розробки відповідного механізму його забезпечення.

У результаті аналізу існуючих теоретико-методичних положень запропоновано визначення територіального розвитку використання земель регіону, що характеризується як сукупність просторових, містобудівних, інвестиційних та екологічних факторів, взаємодія яких призводить до досягнення якісного нового стану земельних відносин порівняно із минулим, враховуючи соціальні, інституційні, управлінські особливості та рівень взаємодії стейкхолдерів, що функціонують у сфері використання земель регіону.

1. Територіальний розвиток та регіональна політика в Україні / НАН України. ДУ «Інститут регіональних досліджень імені М. І. Долишнього НАН України»; наук. редактор В.С. Кравців. – Львів, 2015. – 246 с. (Серія «Проблеми регіонального розвитку»).
2. Саушкин Ю. Г. Географическая наука в прошлом, настоящем, будущем. – М., 1980. – С. 13.
3. Топчієв О. Г. Основи суспільної географії: навчальний посібник. – Одеса: Астропринт, 2001. – С. 84.
4. Немець Л. М., Олійник Я. Б., Немець К. А. Просторова організація соціально-географічних процесів в Україні. – К-Х.: РВВ ХНУ, 2003. – С. 13.
5. Мезенцев К.В. Суспільно-географічне прогнозування регіонального розвитку: монографія. – К.: Видавничо-поліграфічний центр «Київський університет», 2005. – С. 93.
6. Скуфьина Т., Баранов С. Региональное развитие России в свете циклически-волновых представлений // Федерализм.– 2007.– № 1. – С. 29–48. С. 32 - 33.
7. Борушак М. Проблеми формування стратегії розвитку туристичних регіонів: Монографія. – Львів: ІРД НАН України, 2006. – 288 с.
8. Пауэлл У., Смит-Дор Л. Сети и хозяйственная жизнь // Западная экономическая социология: Хрестоматия современной классики. – М.: РОССПЭН, 2004. – С. 229.

УДК: 624.1: 332.54

## **АСПЕКТИ МОНІТОРИНГУ ЗЕМЕЛЬ МІСТ У СИСТЕМІ МІСЬКОГО КАДАСТРУ**

### **ASPECTS OF THE MONITORING OF LANDS OF CITIES IN THE SYSTEM OF URBAN CADASTRE**

**Мироненко М.Л., асистент кафедри земельного адміністрування та геоінформаційних систем (ХНУМГ ім. О.М. Бекетова, м. Харків)**

**Myronenko M. L., assistant of the Department of Land Administration and GIS (O. M. Beketov National University of Urban Economy, Kharkiv)**

Визначено, що головним призначенням моніторингу земель є отримання достовірної та актуальної інформації, визначення стану міських земель в інтересах підвищення ефективності їх використання та забезпечення охорони земель. Безперервність моніторингу викликана безперервністю процесів функціонування та розвитку міста, а також періодичною переоцінкою критеріїв якості земель та ефективності їх використання.

First of all it is determined that the main purpose of land monitoring is to obtain reliable and relevant information, determine the state of urban land (their availability, legal regime, nature of use, natural and environmental condition, economic value) in order to improve the efficiency of their use and ensure the protection of land.

Soils of urban areas are artificially created surface layer, obtained by displacement, burial or contamination of the natural soil with inorganic materials. Urban land monitoring is required for estimating and forecasting changes in the soil cover under the influence of anthropogenic influences, developing recommendations for preventing and eliminating the consequences of negative processes, and maintaining the state land cadaster. Obtaining accurate information is the primary objective of any monitoring program. Therefore, monitoring programs are needed to obtain the following information:

- receiving information related to a particular problem;

- submission of information for different types of audience (interested public, administration of the enterprise, state bodies) and its dissemination;

- taking measures directly aimed at improving the situation or in order to make appropriate decisions.

The results of land use, obtained in the course of monitoring, are used to prevent and eliminate negative processes on the ground, to maintain a land cadaster and to exercise state control over the use and protection of land. The continuity of monitoring is caused by the continuity of the processes of functioning and development of the city, which affect the state of its lands, as well as the periodic re-evaluation of the criteria of land quality and efficiency of their use.

Thus, the relevance of land monitoring is due to the fact that the level of economically acceptable impact on land in some regions of the country has been exceeded and there is a real threat of complete exhaustion and pollution of land.

Ключові слова: землі міст, моніторинг земель, оцінка земель міст, міське середовище, кадастрова система.

Keywords: the lands of cities, land monitoring, assessment land in cities, the urban environment, the cadastral system.

Актуальність моніторингу земель зумовлена тим, що рівень економічно допустимого впливу на землю в ряді регіонів країни перевищено, існує реальна загроза повного виснаження і забруднення земель. Серйозну небезпеку становлять опустелювання, ерозія ґрунтів, виснаження родючого шару, засолення, заболочування і перезволоження земель, деградація пасовищ і сіножатей, масове підтоплення, техногенне забруднення земель.

Моніторинг земель є частиною державного екологічного моніторингу та являє собою систему спостережень, оцінки та прогнозування, спрямованих на отримання достовірної інформації про стан земель, про їх кількісні та якісні характеристики, їх використання та про стан родючості ґрунтів. Об'єктами державного моніторингу земель є всі землі України [2].

Міські землі – це ґрунти міських територій, що мають

створений людиною поверхневий шар потужністю близько 50 см, отриманий переміщенням, похованням або забрудненням природного ґрунту неґрунтовими матеріалами та привізним органомісним ґрунтом. Такі штучно створені ґрунти і ґрунтоподібні тіла називають урбаноземами [4]. Для урбаноземів характерна сильна зміна кислотності ґрунтів, збагаченість основними елементами живлення рослин, зміна повітряно-теплого і водного режимів ґрунту, переущільненість, кам'янистість тощо.

Обстеження міських земель у системі моніторингових спостережень необхідне для своєчасного виявлення, оцінки та прогнозу змін стану ґрунтового покриву під впливом антропогенних впливів і розробки рекомендацій щодо запобігання і усунення наслідків негативних процесів та для забезпечення інформаційної діяльності з ведення державного земельного кадастру, здійснення державного земельного контролю за використанням та охороною земель.

В рамках моніторингу використання міських земель здійснюється спостереження за використанням земель і земельних ділянок відповідно до їх цільового призначення. В рамках моніторингу стану земель здійснюються спостереження за зміною кількісних і якісних характеристик земель, в тому числі з урахуванням даних результатів спостережень за станом ґрунтів, їх забрудненням, засмітненням, деградацією, порушенням земель, оцінка і прогнозування змін стану земель.

Моніторинг земель ведеться Державними виконавчими органами з питань земельних ресурсів і землеустрою та іншими зацікавленими міністерствами та відомствами. Отримані дані накопичуються в архівах (фондах) і банках даних автоматизованої інформаційної системи.

Прийняття рішень, пов'язаних із реалізацією дій на землі, обов'язково повинен передувати аналіз безлічі різних достовірних і регулярно оновлюваних даних про стан землі. Основна мета будь-якої програми моніторингу – інформаційна. Результатом її має бути достовірна інформація, усунення тієї чи іншої невизначеності або, навпаки, виявлення нестачі інформації. Тому мета програми моніторингу може бути спрямована на:

- 1) отримання інформації, пов'язаної з конкретною проблемою;

2) подання інформації для різних типів аудиторії (зацікавленої громадськості, адміністрації підприємства, державних органів) та її поширення;

3) вживання заходів, безпосередньо спрямованих на поліпшення ситуації або з метою домогтися прийняття відповідних рішень.

Моніторингові спостереження можуть бути:

- базовими (вихідні, що фіксують стан об'єктів спостереження на момент початку ведення моніторингу);

- оперативними, або черговими (систематичні, на поточний момент);

- періодичними (проведені через певний проміжок часу - тиждень, місяць, рік тощо);

- ретроспективними (проведені до моменту початку ведення моніторингу) [3].

Існує три основних схеми випробування (пробовідбору).

Румбічна схема застосовується для характеристики негативних процесів, що мають точкові джерела виникнення (імпактне хімічне забруднення, радіоактивне забруднення).

Лінійна схема застосовується для характеристики негативних процесів, що мають протяжні джерела виникнення (шумове забруднення уздовж залізничних і автомагістралей).

Впорядковані схеми застосовуються в разі характеристики негативних процесів, що мають поширення по всій досліджуваній території (підтоплення, регіональне хімічне забруднення).

Моніторинг земель, як система науково-виробничих заходів щодо оновлення відомостей про стан земельного фонду, є видом науково-інформаційної та виробничої діяльності, що вимагає певних організаційних, технічних та інших засобів. З цих позицій моніторинг земель є підсистемою ДЗК і кадастру нерухомості в частині актуалізації інформації з обліку якості земель, їх природних властивостей і екологічного стану.

Створення системи оцінки земель дозволило застосувати нормативні, експертні та інші методи управління земельними ресурсами, застосувати результати для формування податкової бази в межах міст, провести розрахунки доходної частини місцевих бюджетів від платежів за землю.

Структура моніторингу земель передбачає такі підсистеми, що

відповідають категоріям земель:

- моніторинг земель сільськогосподарського призначення;
- моніторинг земель населених пунктів;
- моніторинг земель об'єктів промисловості, транспорту, зв'язку, оборони та іншого призначення;
- моніторинг земель природоохоронного, оздоровчого, рекреаційного та історико-культурного призначення;
- моніторинг земель лісового фонду;
- моніторинг земель водного фонду;
- моніторинг земель запасу та ін.

Територіальні земельні органи та організації за результатами ведення моніторингу земель надають державним органам і в органи державної влади суб'єктів країни регіональні доповіді про стан земель, а при виявленні особливо небезпечних процесів – оперативну оцінку. Ці доповіді доводять до органів управління з відповідними пропозиціями щодо запобігання та усунення негативних процесів на землі, використовують для ведення земельного кадастру і здійснення державного контролю за використанням та охороною земель.

Наявність повної і достовірної інформації – найважливіший фактор при прийнятті будь-яких управлінських рішень. Крім провідної ролі в державному управлінні земельними ресурсами інформація про стан і користування (в тому числі про історію використання) земель необхідна для інформаційного забезпечення ринку земель, а також для цілей державного земельного кадастру при визначенні оціночної вартості. Недолік інформації про властивості землі як товару, що купується, якісна характеристика якого є визначальною, призведе до не виправданого заниження або завищення вартості земельних ділянок, створить численні прецеденти для виникнення судових спорів відповідно до існуючих земельних та екологічних норм, визначених законами та постановами [1, 5-8].

Проведена земельна реформа в Україні викликає необхідність подальшого вдосконалення правового механізму охорони ґрунтів як природного ресурсу, внесення відповідних поправок в природоохоронне, земельне та адміністративне законодавство, зміцнення судової системи і посилення державного земельного контролю.

Таким чином, головним призначенням моніторингу земель є отримання достовірної та актуальної інформації, визначення стану міських земель (їх наявність, правовий режим, характер використання, природно-екологічний стан, господарську цінність) в інтересах підвищення ефективності їх використання та забезпечення охорони земель. Безперервність моніторингу викликана безперервністю процесів функціонування та розвитку міста, що відбиваються на стані його земель, а також періодичною переоцінкою критеріїв якості земель та ефективності їх використання.

1. Larsson G. Land registration and Cadastral Systems: tools for land information and management / G. Larsson. – Essex: Longman Scientific and Technical, 1991. — С. 387.

2. Палеха Ю. М. Економіко-географічні аспекти формування вартості територій населених пунктів. Наукове видання / Палеха Ю. М. – Київ: Профі, 2006. – 324 с.

3. Мамонов К. А. Застосування ВЕБ геоінформаційних систем для розподілу та використання земель. / Мамонов К. А. // Комунальне господарство міст. Харківський національний університет міського господарства ім. О. М. Бекетова. Серія: Технічні науки та архітектура. – Харків, 2016. – Вип. 132. – 144 с.

4. Мамонов К. А. ГІС-забезпечення у раціональному використанні земельних ресурсів міської забудови / К. А. Мамонов, С. Г. Нестеренко, К. І. Вяткін // Науковий вісник будівництва. Харківський національний університет будівництва та архітектури. – Харків, 2016. – Том 86 (№4). – 323 с.

5. Нестеренко С. Г. Дослідження земельного адміністрування та геоінформаційного забезпечення міського будівництва України / С. Г. Нестеренко // Технологічний аудит та резерви виробництва. – Харків, 2017. – № 1/4 (33). – С. 24 -28.

6. Нестеренко С. Г. Проблеми раціонального використання земель для сталого розвитку міста. / С. Г. Нестеренко, Ю. Б. Радзінська. // Сталій розвиток міст (містобудівний аспект): матеріали міжнародної науково-практичної конференції (23 - 24 листопада 2017 року) : тези доповіді. – Харків: ХНУМГ, 2017. – С. 26–27.

7. Третяк А. Основні напрями змін та удосконалення державної земельної політики в Україні. / А. Третяк // Національна безпека і оборона. – 2009. – № 3. – С. 58–63.

8. Шипулін В. Д. ГІС-технології в оцінці землі та нерухомого майна: навч. посіб. / В. Д. Шипулін, Ю. М. Палеха, Е. С. Штерндок // Харків: ХНУМГ, 2014. – 180 с.



УДК 69.056

**МЕТОДИКА ПРОГНОЗУВАННЯ ОРГАНІЗАЦІЙНО-ТЕХНОЛОГІЧНИХ ПАРАМЕТРІВ БУДІВНИЦТВА В ЗИМОВИХ УМОВАХ**

**METHODOLOGY OF FORECASTING ORGANIZATIONAL AND TECHNOLOGICAL PARAMETERS OF CONSTRUCTION IN WINTER CONDITIONS**

**Новак С.В.**, аспірантка кафедри організації та управління будівництвом (Київський національний університет будівництва і архітектури, м. Київ), **Токарчук С.М.**, магістр кафедри економіки будівництва (Київський національний університет будівництва і архітектури, м. Київ)

**Novak E.V.**, post-graduate student of the Department of Organization and Management of Construction (Kyiv National University of Construction and Architecture, Kyiv), **Tokarchuk S.M.**, Master of the Department of Construction Economics (Kyiv National University of Construction and Architecture, Kyiv)

Здійснено огляд найбільш поширених способів зимового бетонування, визначено поняття «зимові умови», головні етапи дослідження, створено методіку прогнозування організаційно-технологічних параметрів бетонування в зимових умовах.

An overview of the most widespread methods of winter concreting include the use of anti-frost additives, a cover of a concrete mixture, concrete heating, electric and infra-red warming and heating of concrete. The concept of "winter conditions" is defined in accordance with normative documentation. The analysis of the factors influencing the implementation of concreting in winter conditions is carried out, the main parameters and indicator indicators are determined, which will be investigated in the future. Based on the goals set, the main stages of the study are identified. The proposed sequence of research will allow the best way to make the most reasonable choice of indicators that may have an impact on the construction parameters when concreting in winter conditions.

It was found out that nowadays the demand is to create a methodology for studying deviations of construction parameters (cost, duration, labor intensity, etc.) from the planned values under the influence of winter conditions. Identification of factors influencing the parameters of construction in winter, creating the appropriate dependencies is an urgent task of the organization of construction.

It was found out that in the normative documentation for calculating the labor intensity and cost of work in winter conditions coefficients to the norms of labor costs of workers-builders and installers, workers employed in the management and maintenance of construction machinery and mechanisms, and the standard operating time of construction machines and mechanisms are used. The method of prediction of organizational and technological parameters of concrete in winter conditions is proposed. The stages of creation of the method of forecasting of organizational and technological parameters of construction in winter conditions are presented. It is determined that the calculation of funds for concreting during the winter period, the complexity and terms of performance of works is not according to normative coefficients, but on the basis of the base of analogue objects base, which has been formed by the contractor, it will allow subcontractors more reasonably to calculate terms of work execution, their complexity and cost.

Ключові слова: будівельне виробництво, зимове бетонування, будівництво, моноліт, параметри будівництва.

Keywords: construction production, winter concrete, construction, monolith, construction parameters.

**Вступ.** Організаційно-технологічні параметри будівництва однотипних видів робіт можуть суттєво відрізнитись при їх виконанні в різних природних умовах. Існує багато досліджень і практичних розробок щодо здійснення бетонування в умовах холодного або жаркого клімату, впливу агресивного середовища, стиснених умов та інших ускладнюючих факторів. При використанні ефективних методів зимового бетонування з максимально можливою механізацією основних і допоміжних робіт, основною задачею є можливість прогнозування зміни основних організаційно-технологічних параметрів будівництва (тривалості, трудомісткості і вартості) та підвищення точності такого

прогнозування, що є актуальним завданням організації будівництва. У даний час існує потреба у створенні відповідних моделей, використання яких не тільки допоможе передбачувати збільшення вартості робіт або їх тривалості у майбутньому з високою точністю, а й визначити, на який з параметрів (вартість, тривалість, трудомісткість тощо) є найбільший вплив.

**Аналіз останніх досліджень.** Організацію та технологію виконання бетонних робіт у зимових умовах вивчали такі українські та зарубіжні вчені: Тугай О.А., Стеценко С.П. [1], Зельцер Р.Я., Погорельцев В.М. [2-3], Черненко В.К. [4], Федосова О.К., Шпакова А.В. [5], Дудар І.Н., Коваленко О.В. [6] та ряд інших. Економічні передумови оцінювання інвестиційних проектів, з урахуванням ризиків аналізували Ізмайлова К.В. [7], Гойко А.Ф. [8], Беленкова О.Ю. [9] та інші. Водночас додаткового розгляду потребують методи виконання робіт у зимових умовах і способи прогнозування термінів виконання робіт, вартості та трудомісткості.

**Постановка мети і задач досліджень.** При здійсненні будівельних робіт у зимових умовах нормативною базою передбачається збільшення трудомісткості та вартості робіт [10, с.32]. Створення методики дослідження відхилень цих значень від планових, виявлення реальніших параметрів для умов України є **актуальним завданням** організації будівництва.

**Методика досліджень.** Для досягнення поставленої мети використано загальнонаукові та спеціальні методи і прийоми досліджень. У процесі дослідження застосовані методи аналізу та синтезу, порівняльного аналізу для вибору факторів впливу на параметри будівництва зимових умов. Інформаційною базою дослідження є дані щодо відхилень організаційно-технологічних параметрів будівництва на об'єктах м. Києва, Чернівців та інших міст. Дослідження проводиться у такій послідовності:

1. Визначення поняття «зимові умови» відповідно до нормативної документації.

2. Визначення способів бетонування у зимовий період та статистична оцінка ступеню поширеності застосування кожного способу.

3. Проведення аналізу факторів, які мають вплив на здійснення бетонування в зимових умовах, визначення головних параметрів та показників-індикаторів, що будуть досліджуватись в майбутньому.

4. Забезпечення підвищення надійності прогнозування організаційно-технологічних параметрів будівництва в зимових умовах шляхом створення відповідних моделей, визначення головних індикаторів.

5. Створення методики, спрямованої на оцінку та прогнозування організаційно-технологічних параметрів будівництва в зимових умовах.

**Результати досліджень.** При бетонуванні в будівництві [2, с.126-127] зимовими вважаються такі умови, при яких середньодобова температура зовнішнього повітря знижується до  $+5^{\circ}\text{C}$ , а протягом доби має місце падіння температури нижче  $0^{\circ}\text{C}$ . Визначаються зимові умови не календарем, а температурою фазового переходу в твердий стан води, як одного із стратегічно важливих будівельних матеріалів.

У сучасному будівництві застосовують кілька способів бетонування у зимовий період [2,3,4]:

- використання протиморозних добавок;
- укриття бетонної суміші плівкою ПХВ та іншими утеплювачами, обігрів бетону;
- електричний і інфрачервоний прогрів і нагрів бетону.

Розрізняють прогрівання, обігрів і нагрів бетону, що твердіє.

• *Прогрівання бетону* взимку здійснюють шляхом введення в товщу бетону гріючих елементів. Це можуть бути трубки з циркулюючим в них теплоносієм (водою, парою або повітрям), або ізольовані електронагрівальні дроти, які намотують групами на каркас залізобетонної конструкції до укладання бетонної суміші, а потім підключають до джерела струму (трансформатора).

• Для *обігріву бетону* при зимовому бетонуванні в якості обігрівальних споруд використовують тепляки з плівкових або тканих матеріалів, зведені навколо конструкції, всередині яких функціонує тепла гармата або вентилятор. Для електрохвильового обігріву бетону застосовують електроди (пластини, стрижні, смуги та струни – залежно від конструкції).

• Для *нагріву* торців і нижньої частини моноліту іноді використовують термоактивну опалубку, що складається зі сталевих панелей (або багатошарових щитів) із змонтованими на них нагрівальними елементами та термоізоляцією. При прямому нагріванні поверхні бетону застосовують інфрачервоні генератори.

Індукційний нагрів здійснюється за допомогою послідовних витків ізольованого проводу (індуктора), який викладається уздовж поверхні, яку слід прогріти. Обдув опалубки моноліту нагрітими паром або повітрям ефективний тільки для тонкостінних конструкцій і не знайшов широкого застосування.

Витрати праці та ресурсів, характерні для зимового періоду, враховують у проектно-кошторисній документації на різних стадіях будівництва. На стадії проектування – відповідно до коефіцієнтів, наведених у ДСТУ-Н Б Д.1.1-5:2013.

На стадії проведення тендеру та формування договірної ціни, відповідно до ДСТУ-Н Б Д.1.1-5:2013 [1, с.32], у ціні пропозиції учасника конкурсних торгів підрядник може здійснювати розрахунок коштів на подорожчання будівельних робіт, виконуваних у зимовий період, на підставі додатку И, коефіцієнтів (які враховують зниження продуктивності праці в зв'язку зі стисненістю рухів робочого в теплому одязі, з незручністю роботи в рукавицях, з пониженням видимості, з наявністю на робочому місці льоду і снігу, з необхідністю час від часу чистити робоче місце від снігу, з наявністю вітру та снігопаду) та на підставі об'єкта-аналога власного банку даних.

При визначенні зимового подорожчання робіт враховують [1, с.32]:

- додаткові витрати робочої сили та матеріалів зі зведення конструкцій;
- додаткові витрати з підігріву матеріалів, що йдуть на приготування бетонної суміші;
- додаткові витрати по підготовці будівельного господарства до зимових умов робіт (утеплення транспортних засобів, обладнання, утеплення бетонного вузла, додаткове освітлення, очищення від снігу);
- витрати на здійснення відповідного способу витримування бетону в конструкціях.

Коефіцієнти до норм трудовитрат робітників-будівельників і монтажників, робітників, зайнятих на керуванні і обслуговуванні будівельних машин та механізмів, та нормативного часу роботи будівельних машин та механізмів залежать від температурної зони (перша - 1,10, друга - 1,15).

Виходячи з поставлених цілей, *головними етапами дослідження* стали:

1. Огляд існуючих в науковій та нормативно-методичній літературі підходів, методів, моделей та індикаторів з прогнозування організаційно-технологічних параметрів будівництва в зимових або інших ускладнених умовах з метою визначення можливості їх використання для оцінки та прогнозування.

2. Аналіз способів і методів бетонування в зимових умовах на об'єктах житлового і промислового будівництва в Україні (за даними технологічних карт, графіків викорання робіт у складі ПВР тощо).

3. Формування переліку факторів, що які можуть мати вплив на здійснення бетонування в зимових умовах, визначення головних параметрів та показників-індикаторів, що будуть досліджуватись в майбутньому та можуть бути використаними для подальшого аналізу, надання відповідних рекомендацій щодо їх подальшого застосування (рис.1.).



Рис.1. Формування системи факторів, які можуть мати вплив параметри будівництва при здійсненні бетонування в зимових умовах

4. Виявлення головних причин втрат часу при виконанні бетонування в зимових умовах на основі сформованого переліку показників.

5. Виявлення головних причин збільшення вартості при виконанні бетонування в зимових умовах на основі сформованого переліку показників.

6. Виявлення головних причин збільшення витрат праці при виконанні бетонування в зимових умовах на основі сформованого переліку показників.

7. Оцінка впливу чинників на кожен параметр будівництва та визначення синергетичного ефекту від їх дії.

8. Побудова алгоритму оцінки впливу зимових факторів на параметри будівництва.

Така послідовність проведення дослідження дозволить найкращим чином, обґрунтовано здійснити вибір показників, які можуть мати вплив на параметри будівництва при здійсненні бетонування в зимових умовах.

Методика повинна відповідати таким вимогам:

1. Базуватися на оперативних даних з будівельного майданчика при виконанні бетонування на попередніх об'єктах протягом декількох попередніх років тощо.

2. Бути простою у використанні (у випадку застосування такої моделі керівництвом або персоналом підрядного підприємства слід враховувати нечисленний управлінський штат таких підприємств, зайнятість середньої ланки управлінського персоналу (виконробів, мастрів тощо) безпосередньо організацією і управлінням ходом робіт.

3. Для практичного впровадження методики бажана розробка відповідної комп'ютерної програми (додатка в Excel, в якому при вводі даних в оперативному режимі вплив на вартість робіт, їх тривалість і трудомісткість буде обраховуватись автоматично).

Етапи створення методики прогнозування організаційно-технологічних параметрів будівництва в зимових умовах (рис.2):

1. Формування вибірки.

2. Вибір показників для проведення кореляційно-регресійного аналізу.

3. Перевірка однорідності даних та внеску кожного з показників в загальну систему.

4. Створення кореляційних функцій для окремих параметрів бетонування, а саме: 1 – термінів виконання робіт; 2 – трудомісткості; 3 – вартості.

5. Створення інтегрального показника на основі окремих моделей.

6. Перевірка точності створеної інтегральної моделі.

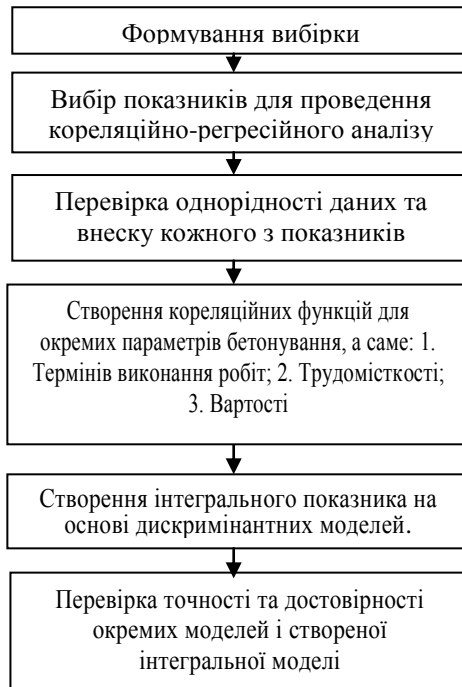


Рис.2. Етапи створення методики прогнозування організаційно-технологічних параметрів будівництва в зимових умовах

**Висновки.** Врахування коштів на виконання бетонування у зимовий період, трудомісткості та термінів виконання робіт не за нормативними коефіцієнтами, а на основі сформованої підрядником бази об'єктів-аналогів дозволить підрядним підприємствам більш обґрунтовано розраховувати терміни виконання робіт, їх трудомісткість і додаткові витрати.



1. Тугай О.А. Модернізовані інструменти девелоперського управління будівництвом / О.А.Тугай, С.П. Стеценко // Шляхи підвищення ефективності будівництва в умовах формування ринкових відносин : Збірник наукових праць – К.: КНУБА, 2012. – Випуск 21. – С. 86 – 98.
2. Зельцер Р.Я. Інноваційні моделі і методи організації, управління і економічної оцінки технологічних процесів будівельного виробництва : Монографія /Р.Я. Зельцер, О.Ю. Беленкова, Д.В. Дубінін. – К.: «МП Леся», 2018. – 210 с.
3. Зельцер Р.Я. Основи зовнішньоекономічної діяльності: методичні рекомендації / Р.Я. Зельцер, В.М. Погорельцев, Є.Р. Зельцер. – К.: КНУБА, 2017. – 47 с.
4. Chernenko V.K. Tekhnolohiia budivel'noho vyrobnytstva. – К.: Vyscha shk., 2002 – 325р.
5. Федосова О. В. Проблеми трансферу сучасних систем будівельних технологій/ О. В. Федосова, Г. В. Шпакова // Нові технології в будівництві, К.НДІБВ, 2010. – № 1. – С. 52-57.
6. Dudar I.N. Ohliad sposobiv zymovoho betonuvannia ta vytrymuvannia betonnoi sumishi v umovakh serednikh vid'iemnykh temperatur./ Dudar, I.N., Kovalenko, A.O.// Suchasni tekhnolohii, materialy i konstruksii. Vinnytsia, №2., 2013., P.29 - 32.
7. Измайлова К. В. Система експертизи ефективності інвестиційних на стадії техніко-економічного обґрунтування / К. В. Измайлова, О. В. Измайлова // Управління розвитком складних систем. – 2010. – Вип. 4. – С. 45-54.
8. Gojko, A.F. Method of regulations for the estimated cost of aggregated forms of work objects reconstruction of housing/ Gojko, A.F. & Gricenko, Yu.O. // Kyiv, Ukraine: Business and government, 2006, №12, P.28-33.
9. Беленкова О.Ю. Вплив сезонних коливань на оборотні активи будівельного підприємства./ О.Ю. Беленкова// Інвестиції: практика та досвід – 2015. – № 19 (травень) – С.48 – 53.
10. ДСТУ Б Д.1.1-1:2013 Правила визначення вартості будівництва : [електронний ресурс] - Режим доступу: <http://dbn.at.ua>.
11. Черненко В. К. Технологія будівельного виробництва / В. К. Черненко, М. Г. Ярмоленко та ін. – Київ : Вища школа, 2002. – 430 с.
12. Технологія будівельного виробництва. Книга 3. Монтажні та механо-монтажні роботи. Навчальний посібник / Під ред. О. М. Лівінського. – К.:МП “Леся”, 2012 р. – 412 с.
13. Титок В.В. Комплексний попередній аналіз інноваційно-інвестиційного проекту в житловому будівництві/ В. В. Титок // Шляхи підвищення ефективності будівництва в умовах формування ринкових відносин. - 2016. - Вип. 34. - С. 139-151.

УДК 620.193.7:691.32:625.46

**СОВМЕСТНОЕ РАЗРУШАЮЩЕЕ ВОЗДЕЙСТВИЕ  
ПОСТОЯННОГО И ПЕРЕМЕННОГО ТОКА УТЕЧКИ НА  
ОБВОДНЕННЫЕ КОНСТРУКЦИИ**

**СПІЛЬНИЙ РУЙНІВНИЙ ВПЛИВ ПОСТІЙНОГО І  
ЗМІННОГО СТРУМУ ВИТОКУ НА ОБВОДНЕНІ  
КОНСТРУКЦІЇ**

**JOINT DESTRUCTIVE EFFECTS OF DIRECT AND  
ALTERNATING CURRENT LEAKAGE ON FLOODED  
CONSTRUCTIONS**

**Палант Е.В., аспирант (Украинский государственный  
университет железнодорожного транспорта, г. Харьков)**

**Палант О.В., аспирант (Український державний університет  
залізничного транспорту, м. Харків)**

**Palant O.V., PhD student (Ukrainian State University of Railway  
Transport, Kharkiv)**

Виконано дослідження механізму руйнування облицювання набережної річки Харків у м. Харкові, уточнено, що причиною руйнування є спільна дія змінного струму витоку з опор ЛЕП 110 і постійного струму витоку з рейок трамвайної колії, що проходить уздовж набережної. Розкрито механізм їх спільної руйнівної дії. Рекомендовано захисні заходи, зокрема, використання поліуретанових підрейкових прокладок та захисних бар'єрів з поліуретану та рідкоскляних композицій, захисні властивості яких забезпечують функціональні групи з подвійним зв'язком  $-C=O$  і  $-S=O$ .

The article is devoted to the study of the mechanism of destruction of the stone lining of the Kharkiv coastal river in Kharkiv. Near the embankment runs a tram line and on it is a high-voltage power line LEP 110 kV. The article, which has an experimental and theoretical character, carried out field studies of the construction of stone cladding,

the influence of leakage currents on it from the tramway line (DC), and transmission line LEP 110 (AC), considered the mechanism of such influence. The theoretical part of the article is based on the basic principles and laws of Macrocolloid chemistry and Physico-chemical mechanics, in particular, the consideration of the mechanism of facing damage is based on macroelectrokinetic processes – electroosmosis, electrophoresis, flow potential, diffusion, dissolution of a cement stone mortar under their influence. Revealed the actual mechanism of destruction of stone cladding. According to this mechanism, the constant leakage current from the rails of the tramway track created a cyclically excessive negative charge in the embankment soil, as well as in the mortar and concrete of the cladding. Alternating leakage current from power transmission lines gradually led to the dissolution of Portlandite and ettringite of cement stone, creating an excessive negative charge, dissolving the soil and causing cracking in the lining. Constant potential on the rails and excessive negative charge on the river bottom, which is formed, as is well known, due to washing out of its pores and capillaries of  $K^+$  cations by water flow, caused directional macroelectroosmosis and macroelectrophoresis of particles through facing seams in the river. It was concluded that the cause of its destruction is the joint action of an alternating current of leakage from the poles of 110 kV power lines and a direct current of leakage from the rails of the tramway, which was passing along the embankment at that time. The combined effect of alternating and direct leakage currents in actual operating conditions of the flooded structures destroys these structures much more intensively than such currents separately.

**Ключові слова:** трамвайна колія, опора ЛЕП, облицювання набережної, річка, струми витоку, руйнування, механізм.

**Key words:** tram track, transmission line support, embankment lining, river, leakage current, destruction, mechanism.

**Основные результаты исследований.** На набережной по правому берегу реки Харьков города Харькова, протянувшейся от Харьковского моста на Московском проспекте до моста Чигирина, на 2-х участках у этих мостов произошло полное разрушение каменной облицовки с вывалом плит в реку, рис. 1.

Набережная была возведена примерно в 1985 году, а ее разрушение началось проявляться примерно в 2005 году, при этом площадь поврежденных участков резко нарастала. Т.е. в указанных местах облицовка не простояла и 20 лет. В остальных местах она не повреждена и в настоящее время, простояв примерно 33 года. Следует отметить, что разрушившиеся участки облицовки были отремонтированы примерно до 2012 года.

а)



б)



Рис. 1. Участки разрушенной облицовки на Харьковской набережной р. Харьков в г. Харькове: а – возле Харьковского моста; б – у моста Чигирина

Характер повреждений – обвал каменных облицовочных плит, трещины на обнажившейся поверхности, коррозия арматуры, обширные зоны выщелачивания раствора под плитами, рис. 2.

Особенности окружающей территории возле мест, где произошли разрушения набережной, следующие. На набережных стоят высокие опоры линии электропередачи ЛЭП 110 кВ – возле Харьковского моста, рис. 1, а, и у моста Чигирина, рис. 1, б, и еще одна опора между ними. Возле опор у Харьковского моста и моста Чигирина расположены остановки трамвая, у промежуточной опоры остановки трамвая нет.



Рис. 2. Увеличенные фрагменты повреждений в местах разрушенной облицовки возле опоры ЛЭП у моста Чигирина

Авторами работ [1, 2] совместно с другими учеными кафедры СМКиС УкрГУЖТ выполнены исследования механизма разрушения облицовки набережной реки Харьков. Был сделан вывод, что разрушение облицовки с вывалом облицовочных плит обусловлено действием токов утечки из опор высоковольтной ЛЭП.

В настоящей статье выполнены дополнительные исследования механизма разрушения облицовки по данным фотографий на рис. 2 и конструкции облицовки, рис. 3, а также натурных исследований новой облицовки.

Чертеж конструкции укрепления набережной представлен на рис. 3.

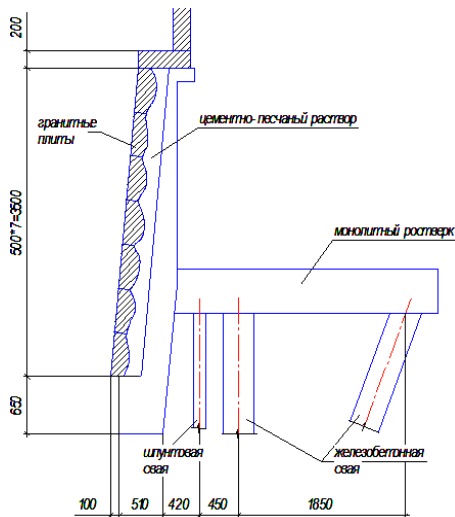


Рис. 3. Конструкция укрепления набережной р. Харьков, г. Харьков

Согласно этому чертежу, под гранитными плитами находится толстый слой цементно-песчаного раствора, плиты закреплены на железобетонной подпорной стенке, из прочного бетона. Основанием под пешеходной частью набережной являются сваи (свайное поле) и ростверк, их объединяющий.

Однако авторы [1, 2] не придали значения влиянию на облицовку токов утечки с рельсов трамвайного пути, который в ту пору проходил вдоль набережной, рис. 4.

Разрушенные участки облицовки как раз находились под остановками трамвая «Мост Чигирина» и «Харьковский мост». Вместе с тем, вдоль реки на противоположной стороне облицовка была лишь незначительно повреждена. Следовательно, разрушение облицовки произошло под совместным действием переменного тока утечки с опоры ЛЭП 110 кВ, и постоянного тока утечки с рельсов трамвайной линии.

Переменный ток утечки с ЛЭП постепенно приводил к растворению порландита и этtringита цементного камня, создавал таким путем избыточный отрицательный заряд, разжижал грунт и вызывал трещинообразование в облицовке.

а)



б)



Рис. 4. Трамвайный путь по Харьковской набережной вдоль реки Харьков:  
а – остановка трамвая «Мост Чигирина»; б – трамвай приближается к остановке «Харьковский мост»

Постоянный потенциал на рельсах и избыточный отрицательный заряд на дне реки, образующийся, как известно, из-за вымывания из его пор и капилляров катионов  $K^+$  потоком воды, вызывал направленный макроэлектросмос и макроэлектрофорез [3] частиц через швы облицовки в реку.

Таким образом, показано, что совместное действие переменных и постоянных токов утечки в реальных условиях эксплуатации обводненных конструкций намного интенсивней разрушает эти конструкции. Вероятно, новая облицовка будет служить намного дольше, чем старая, т.к. с набережной убрали трамвайный путь.

Для повышения надежности подобных сооружений вблизи трамвайных линий и мест с избыточным отрицательным зарядом рекомендуется использовать полиуретановые подрельсовые прокладки и защитные барьеры из полиуретана и жидкостекольных композиций. Защитные свойства этих материалов обеспечивают функциональные группы с двойной связью  $-C=O$  и  $-S=O$ .

**Выводы.** Выполнены аналитические и натурные исследования механизма разрушения облицовки набережной реки Харьков в г. Харькове на ее участках возле Харьковского моста и возле моста Чигирина. Уточнено, что причиной разрушения являлось совместное действие переменного тока утечки с опор ЛЭП 110 кВ и постоянного тока утечки с рельсов трамвайного пути, проходящего в то время вдоль набережной. Раскрыт механизм такого разрушающего совместного действия токов утечки. Следовательно, совместное действие переменных и постоянных токов утечки в реальных условиях эксплуатации обводненных конструкций намного интенсивней разрушает эти конструкции, чем такие токи в отдельности. Для повышения надежности подобных сооружений вблизи трамвайных линий и мест с избыточным отрицательным зарядом рекомендуется использовать полиуретановые подрельсовые прокладки и защитные барьеры из полиуретана и жидкостекольных композиций.

1. Дудин А.А. Механизм воздействия переменного тока утечки и высоковольтного напряжения на обводненные бетонные, железобетонные и каменные сооружения: дисс. ... к.т.н.: 05.23.05 / Дудин Алексей Аркадьевич. – Х.: 2012. – 154 с.

2. Плугин Д.А. Развитие теории электрокоррозии обводненных конструкций и разработка электрокоррозионностойких материалов и способов защиты : дис. ... докт. технич. наук: 05.23.05. – Х., 2014. – 492 с.

3. Плугин А.Н. Основы теории твердения, прочности, разрушения и долговечности портландцемента, бетона и конструкций из них : монография в 3 т. / [А.Н. Плугин, А.А. Плугин, Л.В. Трикоз и др.]; Под ред. А.Н. Плугина. – К.: Наукова думка, 2011. – Т. 1: Коллоидная химия и физико-химическая механика цементных бетонов. – 2011. – 331 с.



УДК 624.012.25

**ОСОБЛИВОСТІ БЛАГОУСТРОЮ ТЕРИТОРІЇ  
ЦЕНТРАЛЬНОЇ ЧАСТИНИ СІЛ В АСПЕКТІ ОБ'ЄДНАННЯ  
ТЕРИТОРІАЛЬНИХ ГРОМАД**

**THE FEATURES OF THE IMPROVEMENT OF THE  
TERRITORY OF THE CENTRAL PART OF THE VILLAGES IN  
THE ASPECT OF ASSOCIATION OF TERRITORIAL  
COMMUNITIES**

**Парфентьєва І.О., к.т.н., доцент, Мельник Ю.А., к.т.н., доцент,  
Олексин Х.А., магістр, Шевчук Т.В., магістр (Луцький НТУ, м. Луцьк)**

**Parfentyeva I.O., Ph.D., senior lecturer, Melnyk Yu. A., Ph.D., senior  
lecturer, Oleksyn K.A. master, Shevchuk T.V., master (Lutsk National  
Technical University, Lutsk)**

У даній статті проведено аналіз стану території центральної частини сіл Жидичин та Княгининок Волинської області і села Боремель Рівненської області. Виявлені характерні недоліки цих територій та запропоновано методи й елементи благоустрою і реконструкції території центральної частини даних сіл.

In this article the analysis of the condition of the central part of the villages of Zhydychyn and Knyaginynok, the Volyn region and the village Boremel of the Rivne region was carried out. The characteristic disadvantages of these territories are revealed and methods and elements of improvement and reconstruction of the territory of the central part of the villages are proposed.

The main problem of these territories is the unsatisfactory state of the street and road network; existing green plantations and recreational areas; territory for carrying out of mass actions; small architectural forms; facades of existing buildings.

Sidewalks, hiking and cycling paths were developed to address street-road network and traffic safety issues. As a means of road traffic, reconstruction of security islands was provided for the installation of partial lighting, parking facilities for cars and bicycles.

Are offered variants of improvement and greening of a recreation zone for inhabitants of villages, with a combination of a zone of quiet and active rest. In the proposed plans for the improvement of the territories of the villages was proposed landscaping, which is in harmony with existing buildings.

The plans for the improvement and reconstruction of the central parts of the villages of Zhydychyn, Knyagininok and the village Boremel were developed.

The given projects provided for methods and elements for reconstruction and restoration of the territory of the village center, namely: improvement of the street-road network of the village; development of a recreation area for the residents of the village; arrangement and improvement of the territory for cultural events; arranging and landscaping playground; stylization in the same architectural style buildings located in the central part of the village.

Ключові слова: благоустрій території, реконструкція, зелені насадження, центральна частина села.

Keywords: landscaping, territory reconstruction, green plantations, central part of the village.

У квітні 2014 року Кабінетом Міністрів України була затверджена концепція реформування місцевого самоврядування [1]. Базовим напрямком даної реформи є формування об'єднаних територіальних громад (ОТГ).

Для успішної економічної діяльності мінімальною величиною громади експерти називають 10 000 осіб.

Отже, створення сільських ОТГ відбувається шляхом поєднання територій кількох сіл з визначенням осередку громади. Дана ситуація призводить до того, що центральна територія села не лише повинна бути привабливою для власних мешканців, а стати візитівкою територіальної громади та основним її центром.

Благоустрій відіграє ключову роль для створення комфортних умов проживання населення. Саме з того, який в ньому благоустрій, зелені насадження, який стан парків і скверів, у якому стані дороги, тротуари, як виглядають зупинки, фасади будинків, дитячих і спортивних майданчиків, як його освітлюють вночі, його санітарний стан тощо, складається враження про населений пункт.

Проаналізувавши новостворені сільські ОТГ Волинської та Рівненської областей, а саме Жидичинську, Княгининівську та Боремельську, можна стверджувати, що їх об'єднує прагнення покращити території центральних частин сіл, з можливістю створення сучасних сільських осередків європейського типу. Тому сьогодні одним з основних напрямків розвитку сільських громад і сіл в цілому є реалізація певних методів та елементів реконструкції і відновлення території сільського центру, створення громадського простору для відпочинку мешканців села.

Основною проблемою даних територій є незадовільний стан: вулично-дорожньої мережі; існуючих зелених насаджень і рекреаційних зон; території для проведення масових, культурно-розважальних дій; малих архітектурних форм; фасадів існуючих будівель.

Основним недоліком вулично-дорожньої мережі сіл є відсутність або незадовільний стан тротуарів, пішохідних доріжок, недостатнє освітлення проїжджої частини, відсутність або недостатня кількість засобів організації дорожнього руху (рис. 1).



а



б

Рис. 1. Стан вулично-дорожньої мережі центральної частини:  
а – с. Жидичин Волинської обл.; б – с. Боремель Рівненської обл.

Для вирішення питань, пов'язаних із вулично-дорожньою мережею та безпекою руху, в планах благоустрою та реконструкції території центральної частини сіл було розроблено тротуари, пішохідні та велосипедні доріжки. В якості засобів ОДР було передбачено реконструкцію острівків безпеки з влаштуванням часткового освітлення на них. А також було вирішено питання місць для паркування автотранспортних засобів і велосипедів.

Зелені насадження є одним із основних елементів благоустрою населених пунктів. Вони відіграють величезне санітарне значення, захищаючи від диму, вихлопних газів, пилу тощо. Зелені насадження беруть участь в оформленні площ та інших композиційних центрів, з їхньою допомогою підкреслюються особливості або приховуються недоліки рельєфу. Об'єкти зеленого будівництва повинні бути і часто є самостійними витворами садово-паркового мистецтва.

У запропонованих планах благоустрою територій сіл було систематизовано поєднання зелених насаджень різного виду для створення єдиного цілісного ансамблю з будівлями, біля яких вони розташовані.

Також було запропоновано благоустрій відпочинкової зони для мешканців сіл. Поєднано зони тихого відпочинку з можливістю активного відпочинку, а саме створення дитячих майданчиків; поля для міні-гольфу (рис. 2).



а



б



в

Рис. 2. Елементи благоустрою відпочинкової зони: а – дитячий майданчик с. Княгининок Волинської обл.; б – поле для гри в міні-гольф с. Жидичин Волинської обл.; в – малі архітектурні форми с. Боремель Рівненської обл.

Ще одним аспектом для успішного функціонування територіальних громад є створення спеціальних місць для проведення масових, культурно-розважальних дійств. Для комфорту та зручності мешканців села в проектах благоустрою території у даних місцях були передбачені стаціонарні сцени, лави та смітники, а територія по периметру була огорожена зеленими насадженнями.

При розробці планів благоустрою даних територій було запропоновано використання малих архітектурних форм, стилізованих в одному стилі. А також запропоновано провести реконструкцію фасадів будинків і споруд, які розташовані в центральній частині сіл, для створення єдиного архітектурно-ландшафтного дизайну.

Отже, провівши детальний аналіз існуючого стану території центральної частини сіл, які є центрами новостворених ОТГ, можна стверджувати, що усі вони знаходяться у малопривабливому стані та потребують елементів реконструкції і благоустрою.

Для вирішення даної задачі нами було розроблено плани благоустрою та реконструкції центральних частини сіл Жидичин і Княгининок Волинської області та села Боремель Рівненської області (рис. 3).

У даних проектах було передбачено методи та елементи реконструкції та відновлення території сільського центру, а саме:

- покращення вулично-дорожньої мережі села з позицій безпеки руху; влаштування велодоріжок; облаштування зупинок громадського транспорту; влаштування парковок;
- поєднання зелених насаджень залежно від їх функціонального призначення;
- розробку відпочинкової зони для мешканців села;
- влаштування та благоустрій території для проведення культурно-масових заходів;
- влаштування та благоустрій дитячого майданчику;
- стилізація в одному архітектурному стилі будівель, розташованих у центральній частині села.

Реалізація даних проектів дасть можливість розвинути інфраструктуру сіл, залучити туристів, а також покращити умови проживання та відпочинку мешканців даних сіл.



а



б



в

Рис. 3. Перспективні зображення благоустрою території центральної частини сіл: а – Жидичин, б – Княгининок Волинської обл.; в – . Боремель Рівненської обл.

1. Децентралізація//Великий тлумачний словник сучасної української мови (з дод. і допов.) / Уклад. і гол. ред. В. Т. Бусел. – 5-те вид. – К. ; Ірпінь : ВТФ «Перун», 2005. – ISBN 966-569-013-2

2. ДБН Б.1.1-1.5:2012. «Містобудування. Планування і забудова міських і сільських поселень» – Режим доступу: <https://kga.gov.ua/files/doc/normy-derjavy/dbn/Mistobuduvannja-Planuvannja-i-zabudova-miskyh-i-silskyh-poselen-DBN-360-92.pdf>.

3. ДБН Б.2.2.–5:2011 «Благоустрій територій» [Електронний ресурс]. Режим доступу: <http://www.uazakon.com/>.

4. Олексин Х.А., Шевчук Т.В., Парфентьева І. О., Мельник Ю.А. Вирішення проблем благоустрою та реконструкція центральної частини с. Боремель Рівненської області// Сучасні технології та методи розрахунків у будівництві: збірник наукових праць – Луцьк: РВВ Луцького НТУ, 2017. – С. 167-170 . Вип. №7.

УДК 624.042.5

**ДОСЛІДЖЕННЯ СТІЙКОСТІ ГІПАРА ПРИ ДІЇ  
РОЗПОДІЛЕНОГО НАВАНТАЖЕННЯ**

**RESEARCH OF HYPAR STABILITY UNDER THE  
DISTRIBUTION OF LOAD**

**Пасічник Р.В., к.т.н., доцент, Пасічник О.С., к. арх., доцент,  
Ротко С.В., к.т.н., доцент, Матвійчук П.П., магістр (Луцький НТУ,  
м. Луцьк)**

**Pasichnyk R.V. Candidate of technical science, associate professor,  
Pasichnyk O.S. Candidate Architecture, associate professor, Rotko S.V.  
Candidate of technical science, associate professor, Matviychuk P.P.,  
master (Lutsk national technical university)**

У статті досліджується стійкість пологої оболонки типу гіперболічного параболоїда за дії рівномірно розподіленого по усій поверхні навантаження. В якості початкового в докритичній стадії приймається безмоментний напружений стан. Задача розв'язується в лінійній постановці, варіаційним методом.

The article investigates the stability of a tight shell of the type of hyperbolic paraboloid under the action of a uniformly distributed throughout the surface of the load. As an initial in the subcritical stage, a momentary stressful state is taken. The problem is solved in linear formulation, by the variational method.

The stress function is distributed along the contour according to the linear law and in the general case is not zero. To solve the problem we use the variational equation of the mixed form in which the external transverse load is replaced by the additional projection of the shift effort on the direction of the normal to the curvilinear surface

The resulted solution indicates the presence of the bifurcation point in the course of deformation of the shells. However, the upper critical load found on the basis of the solution of the problem in the nonlinear formulation is always found to be lower bifurcation due to the shear sensitivity to various kinds of imperfections. Because of this, the loading

corresponds to the shell for a ratio of  $f / t = 100$ . Dispersion here is only 3%, and the lower critical load is less than the upper of approximately 9%.

The nonlinear problem was solved by the Bubnov-Galerkin method with 11 variables for the function  $\omega$  and  $\varphi$ . The above comparisons indicate a non-essential difference for a shell of the type of hyperbolic paraboloid bifurcation and upper critical loading.

The resulting study allows the graph to determine the upper critical value of the transverse load for a square shell with different values of the ratio  $f / t$  with an acceptable accuracy for practical calculations. The obtained results can be used in determining the upper critical value of the load of the coatings of the structures.

Ключові слова: стійкість, оболонка, гіперболічний параболоїд, варіаційний метод.

Keywords: stability, shell, hyperbolic paraboloid, variation method.

Розглянемо деформацію пологої тонкої пружної оболонки типу гіперболічного параболоїда (рис. 1) від дії поперечного навантаження ( $q=\text{const}$ ) при граничних умовах, що забезпечують безмоментний напружений стан:

$$N_x=v=0 (x=0, a); N_y=u=0 (y=0, b) \quad (1)$$

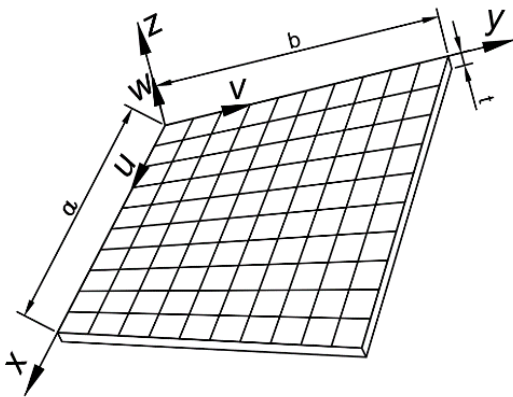


Рис. 1. Полога тонка пружна оболонка типу гіперболічного параболоїда



При цьому напружений стан характеризується зусиллями  $N_x=N_y=0$ ,  $S_{xy}=q/2k_{xy}=\text{const}$ . Таким чином, дія поперечного навантаження еквівалентна дії постійного зусилля зсуву. Прогини оболонки постійні і визначаються формулою  $\omega = q(1+\mu)/2Et k_{xy}^2$ . В даній формулі  $k_{xy}=d^2z/dx dy=f/ab$  – кривина кручення оболонки;  $Z(x,y)$  – рівняння поверхні.

Приймаючи безмоментний напружений стан за початковий, будемо рахувати, що в момент втрати стійкості оболонка має такі умови на контурі

$$W=M_x=N_x=v=0 (x=0, a); \omega = M_y=N_y=u=0 (y=0, b) \quad (2)$$

Умови (2) відрізняються від (1) лише моментними зв'язками, що накладаються на контурі в момент втрати стійкості оболонки. Граничні умови (2) формулюються через функції прогинів  $w$  і напружень  $\varphi$  наступним чином:

$$\omega = \omega_{xx}=\varphi_{xx}=0 (x=0, a); \omega = \omega_{yy}=\varphi_{yy}=0 (x=0, b);$$

Крім цього, функція напружень розподілена вздовж контура за лінійним законом і в загальному випадку не дорівнює нулю. З точністю до лінійного доданку приймемо, що на контурі функція напружень лінійно залежить тільки від  $\varphi_k$ , яка, в свою чергу, залежить від величини перекоосу контура оболонки. Для розв'язання задачі використаємо варіаційне рівняння змішаного виду [1], в якому зовнішнє поперечне навантаження замінено додатковою проекцією зусилля зсуву на напрям нормалі до криволінійної поверхні.

Граничні умови можна задовільнити, прийнявши

$$\begin{aligned} \omega &= \sum_{m,n=1,2,\dots} A_{mn} \sin\left(m \frac{\pi x}{a}\right) \sin(n \pi y/b); \\ \varphi &= \sum_{m,n=1,2,\dots} B_{mn} \sin\left[\frac{(m+1)\pi x}{a}\right] \sin\left[\frac{(n+1)\pi y}{b}\right] + \varphi_{xy}/ab \end{aligned} \quad (3)$$

Аргументи при синусах у функції  $\omega$  і  $\varphi$  відрізняються на одиницю згідно з характером деформації оболонки при поперечному навантаженні.

Ці функції задовільняють варіаційні рівняння, за виключенням інтегралів, що залежать від варіації  $\delta\varphi_k$ . Цій варіації відповідає наступне рівняння:

$$\begin{aligned} & \iint_F \left( \frac{1}{Et} \nabla^2 \nabla^2 \varphi - \nabla_k^2 \omega \right) \frac{xy}{ab} dx dy + \\ & + \int_0^a \left\{ -\frac{1}{Et} [\varphi_{,yuy} + (2 + \mu) \varphi_{,xxy}] + k_x \omega_{,y} - \right. \\ & \quad \left. - 2k_{xy} \omega_{,x} - \vartheta_{,xx} \right\}_{y=b} \frac{x}{a} dx + \\ & + \int_0^b \left\{ -\frac{1}{Et} [\varphi_{,xxx} + (2 + \mu) \varphi_{,xyy}] + k_y \omega_{,x} - \right. \\ & \quad \left. - 2k_{xy} \omega_{,y} - u_{,yy} \right\}_{x=a} y b^{-1} dy + \\ & + [u_{,y} + \vartheta_{,x} + 2k_{xy} \omega + \left[ \frac{2(1 + \mu)}{Et} \right] \varphi_{,xy}]_{y=b}^{x=a} = 0 \end{aligned} \quad (4)$$

$E, \mu$  - фізичні константи матеріалу.

Підставляючи в рівняння (4) функції (3) і інтегруючи отримані вирази, отримаємо

$$\begin{aligned} & \frac{2(1 + \mu) \varphi_k}{Et ab} + 2k_{xy} \pi^{-2} \sum A_{mn} (mn)^{-1} [(-1)^m - 1] [(-1)^n - 1] = \\ & = -\frac{\vartheta}{a} \Big|_{x=0}^{x=a} \Big|_{y=b}^{y=b - \frac{u}{b}} \Big|_{y=0}^{y=b} \Big|_{x=a}^{x=a} \end{aligned} \quad (5)$$

З правої частини рівняння (5) робимо висновок, що воно визначає перекіс оболонки в плані. При граничних умовах (2) перекіс неможливий, тобто права частина дорівнює нулю. Через те варіації  $\delta\varphi_k$  відповідає геометричне рівняння (5), що визначає контурне значення функції напруження  $\varphi_k$  через  $A_{mn}$ . При виконанні умови (5) усі контурні інтеграли варіаційних рівнянь перетворюються на нуль, і в подальшому задача зводиться до розв'язання системи рівнянь методу Бубнова-Гальоркіна, де невідомими є  $A_{mn}$  і  $B_{mn}$ :

$$\begin{cases} \iint_F (D \nabla^2 \nabla^2 \omega + \nabla_k^2 \varphi + S_{xy} \frac{\partial^2 \omega}{\partial x \partial y}) \sin \frac{q\pi x}{a} \sin \frac{r\pi y}{b} dx dy = 0 \\ \iint_F (\frac{1}{Et} \nabla^2 \nabla^2 \varphi - \nabla_k^2 \omega) \sin \frac{i\pi x}{a} \sin \frac{k\pi y}{b} dx dy = 0 \end{cases} \quad (6)$$

Із другого рівняння (6), підставляючи функції (3), визначимо

$$B_{mn} = - \frac{32 k_{xy} E t i k}{\pi^4 a b \left[ \left( \frac{i}{a} \right)^2 + \left( \frac{k}{b} \right)^2 \right]^2} \sum_{i,j} A_{i,j} l_j \frac{1}{i^2 - l^2} \frac{1}{k^2 - j^2}, \quad (7)$$

$$i = m + 1 ; k = n + 1.$$

Суми індексів  $i+1$  та  $k+1$  мають бути тільки непарними. Члени ряду з парними сумами вказаних індексів перетворюються на нуль. Рівняння (7) дає змогу виразити усі невідомі значення коефіцієнтів  $B_{mn}$  через  $A_{mn}$ . Розв'язок першого рівняння (6) подамо також в загальному вигляді:

$$\begin{aligned} & D \pi^2 \left( \frac{q^2}{a^2} + \frac{r^2}{b^2} \right)^2 A_{qr} + \left( \frac{2 k_{xy}}{q r \pi^2} \right) \varphi_k [(-1)^q - 1][(-1)^r - 1] + \\ & + 2 S_{xy} \sum_{m,n} A_{mn} m n \left[ \frac{q r}{(q^2 - m^2)(r^2 - n^2)} \right] \times \times [(-1)^{m+n} - 1][(-1)^{n+r} - 1] - \\ & - 2 k_{xy} \sum_{m,n} B_{mn} (m + 1)(n + 1) \left[ \frac{q}{q^2 - (m + 1)^2} \right] \times \\ & \times \left[ \frac{r}{r^2 - (n + 1)^2} \right] [1 + (-1)^{m+q}][1 + (-1)^{n+r}] = 0. \end{aligned} \quad (8)$$

Подальший хід розв'язання задачі полягає в наступному. Розпишемо систему алгебраїчних рівнянь (8), де кожному фіксованому значенню пари індексів  $q, r$  відповідає одне рівняння. Використовуючи вираз (7), визначаємо усі невідомі значення  $B_{m,n}$ . Значення  $\varphi_k$  знаходимо з рівняння (5). Виключаючи з системи алгебраїчних рівнянь (8)  $B_{mn}$  і  $\varphi_k$ , отримуємо однорідну систему рівнянь, невідомими в якій є коефіцієнти  $A_{mn}$ . Прирівнюючи до нуля її визначник, знаходимо критичне значення зусиль зсуву  $S_{xy}$ .

Відзначимо також, що отриманий визначник системи алгебраїчних рівнянь розпадається на два: один з них відповідає парній сумі індексів  $n+m$ , другий – непарній. Критичне значення зусилля зсуву, знайдені з другого визначника, вище, ніж зусилля, знайдені з першого.

Тому в подальшому форму втрати стійкості будемо визначати функціями (3) з парною сумою індексів.

Розглянемо розв'язок задачі, коли індекси  $n, m$  приймають значення 1, 2, 3, 4, що відповідає 17 варіюваним параметрам  $A_{mn}$ ,  $B_{mn}$ ,  $\varphi_k$  з парною сумою індексів  $n+m$ .

Матриця системи рівнянь (8) восьмого порядку з виключеними значеннями  $B_{mn}$  і  $\varphi_k$  для квадратної в плані оболонки залежить від величин

$$\delta = \frac{12(1-\mu^2)f^2}{\pi^3 t^2}; \bar{S} = \frac{ab s_{xy}}{D \pi^4}; \beta = \frac{a}{b}; \mu = 0.25.$$

Однак критичні значення безрозмірного параметра  $\bar{S}$  залежать лише від  $\delta$ , тобто від відношення стріли підйому оболонки до її товщини  $f/t$ .

Прирівнюючи визначник матриці до нуля, визначаємо критичне значення параметра  $\bar{S}$  для різноманітних значень коефіцієнта  $\delta$ . Результати представлені у вигляді графіків на рис. 2. (крива 1).

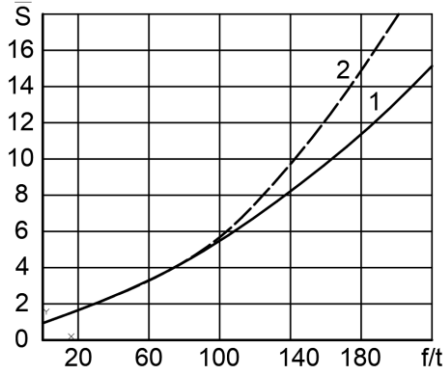


Рис. 2. Критичне значення розподіленого навантаження залежно від відношення стріли підйому до товщини оболонки:

1-при 17 варіаційних параметрах;

2-при 11 варіаційних параметрах

Визначник може бути зведений до полінома шостого порядку відносно  $\bar{S}$ , який має шість дійсних коренів, симетричних попарно відносно нуля навантаження. Крива 2 (рис. 2) відповідає розв'язку тої самої задачі, але з меншим числом варіюваних параметрів, коли індекси  $m, n$  проходять значення 1, 2, 3 (11 варіюваних параметрів).

Розв'язки несуттєво відрізняються один від одного при  $f/t \leq 100$ . Для більш тонких і вигнутих оболонок розходження збільшуються разом із ростом  $f/t$  і, наприклад, для оболонки  $f/t=200$  складає 35%. Розв'язок першого наближення не показується через його низьку точність. При  $f/t=0$  розв'язок залишається коректним і відповідає критичному значенню зусилля у плиті при зсуві [2]. За допомогою знайдених критичних значень параметра  $\bar{S}$  визначається критичне значення погонного зусилля зсуву  $S_{xy} = \frac{D\pi^4 \bar{S}}{ab}$ . Критичне значення поперечного навантаження визначається залежністю  $q_{кр} = 2\pi^4 D k_{xy} \bar{S} / \beta b^2$ .

Приведений розв'язок вказує на присутність точки біфуркації у процесі деформації оболонок. Проте верхнє критичне навантаження, знайдене на основі розв'язку задачі в нелінійній постановці, завжди виявляється нижчим від біфуркаційного внаслідок чутливості оболонки до різного роду недосконалостей. Через це співставним вказані навантаження для оболонки з відношенням  $f/t=100$ . Розбіжність тут складають лише 3%, а нижнє критичне навантаження менше від верхнього приблизно на 9%. Нелінійна задача при цьому розв'язувалась методом Бубнова-Гальоркіна з 11 варійованими параметрами для функції  $\omega$  та  $\varphi$ . У функціях (3) індекси  $m, n$  приймали значення 1, 2, 3 при парній їх сумі.

Наведені порівняння вказують на несуттєву відмінність для оболонки типу гіперболічного параболоїда біфуркаційного і верхнього критичного навантаження.

Таким чином, наведений графік (рис. 2, крива 1) дозволяє визначити верхнє критичне значення поперечного навантаження для квадратної оболонки з різними значеннями відношення  $f/t$  з прийнятною для практичних розрахунків точністю. Отримані результати можуть бути використані при визначенні верхнього критичного значення навантаження покриття споруд.

1. Самольянов И. И. Прочность, устойчивость и колебания гиперболического параболоида / И.И. Самольянов. — Луцк, Луцкий индустриальный институт. 1993. — 316 с.

2. Пасічник Р.В., Гоцуляк Є.О. Стійкість чотирирохпелюсткового гіпара / Опір матеріалів і теорія споруд: Науково-технічний збірник – Випуск 78. – Київ: КНУБА. 2006 – С. 33-45.

УДК 665.775+532.135

## **НОРМУВАННЯ В'ЯЗКОСТІ ОКИСЛЕНИХ ДОРОЖНІХ БІТУМІВ**

### **VISCOSITY NORMALIZATION OF OXIDIZED PAVEMENT BITUMEN**

**Пиріг Я.І., к.т.н., ст. наук. співр. (ХНАДУ, м. Харків)**

**Pyrig Y.I., Ph.D, sr. researcher (Kharkiv National Automobile and Highway University, Kharkiv)**

У статті виконано аналіз вимог до в'язкості, що нормується у стандартах США та Європейського Союзу. На основі експериментально отриманих значень показників якості окислених і дистиляційних бітумів виконано порівняння значень їх в'язкостей за температур 60°C та 135°C.

Petroleum pavement bitumen viscosity is one of the fundamental indicators of quality. The use of rheological parameters makes it possible to evaluate both the structural and rheological characteristics of the binders, and to predict the behavior of bituminous binders and asphalt concrete on their base in a wide temperature range. The normalization of bitumen viscosity values was begun in 1963 with the accepting of a viscosity classification system for bitumen in the USA. Subsequently, viscosity indicators at temperatures of 60 °C and 135 °C were included into the standards of many countries of the world. In Ukraine, the rationing of viscosity indicators was started in 2017, when the harmonized European standard DSTU EN 12591: 2017 was accepted. Since the harmonized standard DSTU EN 12591: 2017 is focused on assessing the quality of distillation bitumens, it may not be acceptable for the quality control of oxidized bitumens by the normalized viscosity values. The paper analyzes the requirements for viscosity values in ASTM D3381 and EN 12591 standards. It is shown that viscosity values at 60 °C and 135 °C normalized in standards of the USA and Europe are significantly minimized and are much lower than experimentally determined values. The values of standard quality indicators (penetration, softening point temperature, ductility. For oxidized and distillation bitumens, the viscosity values were obtain using a rotation

viscometer in a wide range of temperatures (25–160°C) and speeds (0.06– 39.8 s – 1). Based on the data, it was found that the viscosity values at 60°C distillation bitumens exceed the viscosities of oxidized bitumens, and at 135°C values for bitumens of equal penetration are close. Such a difference in viscosity values at 60°C is explained by the peculiarities of the structural-rheological type of oxidized bitumen used in Ukraine. This is confirmed by the presence of viscosity anomalies for oxidized bitumen, which is the greater, the smaller the penetration of bitumen at 25°C. The obtained data can be used to set the standard viscosity values of bitumen at 60 °C and 135°C in the national standard.

Ключові слова: бітум, в'язкість, пенетрація, нормування.

Keywords: bitumen, viscosity, penetration, normalization

**Вступ.** Властивості дорожніх нафтових бітумів оцінюються за допомогою показників якості, які можуть бути розділені на умовні та фундаментальні. До перших відносяться стандартизовані в різних країнах світу вже понад віку такі показники, як пенетрація, температура розм'якшеності, дуктильність та інші. Визначення цих показників суттєво залежить від умов проведення випробування, а їх значення не можуть в повній мірі бути використані для об'єктивного прогнозування технологічної та експлуатаційної поведінки бітумів та виготовлених на них асфальтобетонів. До фундаментальних показників в першу чергу відноситься в'язкість, використання якої дозволяє оцінити структурно-реологічні особливості бітумів, а також прогнозувати поведінку як в'язучих, так і асфальтобетонів на їх основі в широкому діапазоні температур.

**Аналіз публікацій.** Вперше нормування в'язкості бітумів було прийнято в 1963 р. в США з введенням в дію стандарту ASTM D3381 [1], згідно якого вводилось розподілення в'язучих на марки за значеннями динамічної в'язкості, що визначались за 60°C та кінематичної в'язкості за 135°C [2]. Пізніше нормування в'язкості було введено в стандарти багатьох країн світу, зокрема, в загальноєвропейський стандарт EN 12591 [3].

Аналіз діючих зараз стандартів ASTM D3381 та EN 12591 свідчить про однаковий підхід до нормування в'язкості за температур 60°C та 135°C у США та Європейському Союзі (рис.1,2).

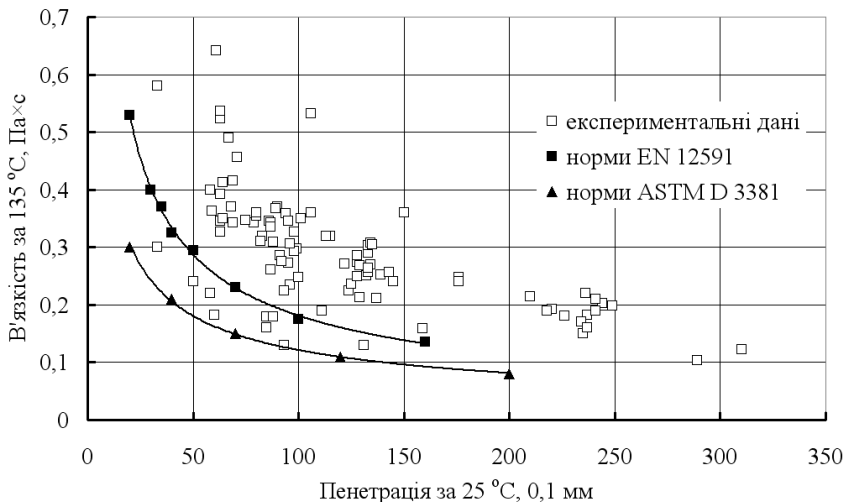


Рис. 1. Нормування в'язкості за 60°C в EN 12591 та ASTM D3381 та експериментальні значення в'язкості згідно з [4 – 6]

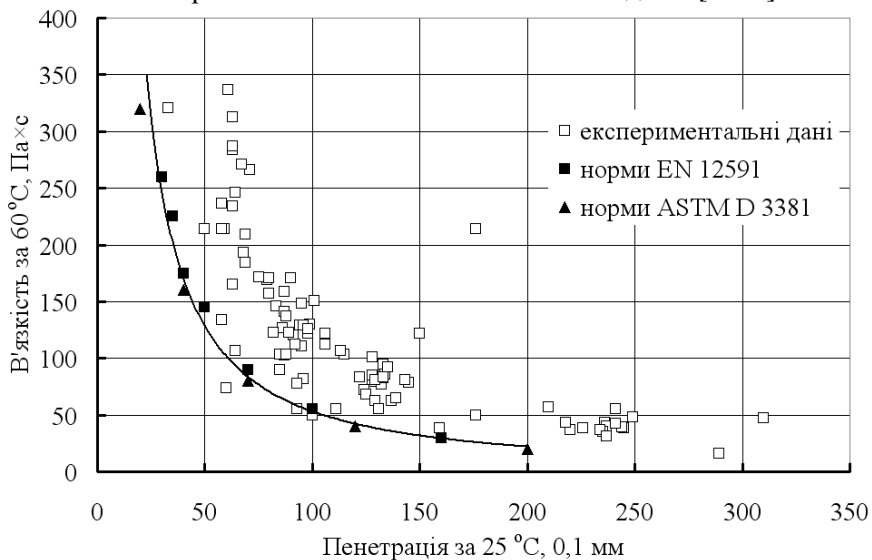


Рис. 2. Нормування в'язкості за 135°C в EN 12591 та ASTM D3381 та експериментальні значення в'язкості згідно з [4 – 6]



При цьому вимоги щодо норм динамічної в'язкості за 60°C однакові в обох стандартах, а вимоги щодо норм в'язкості за 135°C у стандарті США є значно меншими. Характерною рисою обох стандартів є те, що мінімальні нормовані значення в'язкостей за температур 60°C та 135°C є значно заниженими, про що свідчить вибірка з літературних джерел [4 – 6] експериментальних значень в'язкості бітумів різних марок, виготовлених з різної за географією добичі та властивостей сировини.

У вітчизняній дорожній практиці, незважаючи на широке дослідження різними науковцями реологічних властивостей окислених бітумів, питання нормування значень в'язкості розглядалось лише теоретично [7]. Поясненням цього була відсутність простого в експлуатації лабораторного обладнання, яке могло б широко використовуватися у виробничих лабораторіях та загальноприйнятій методикі визначення в'язкості у широкому діапазоні температур.

Перша спроба нормування динамічної в'язкості реалізована опосередковано (для накопичення статистичних даних) в міждержавному стандарті ГОСТ 33133-2014 «Бітуми нафтові дорожні в'язкі. Технічні умови». В цьому стандарті запропоновано визначати не лише динамічну в'язкість за 60°C, а й зміну її значень після старіння та стійкість структури в'язучого до впливу зсувних навантажень.

З 1.10.2017 р. в Україні введено в дію гармонізований європейський стандарт ДСТУ EN 12591:2017 [8], в якому нормуються значення в'язкості за 60°C та 135°C. Враховуючи, що європейський стандарт EN 12591 орієнтовано на оцінку якості дистиляційних бітумів, які використовуються в дорожніх галузях більшості країн світу і значно відрізняються за своїми властивостями від окислених бітумів, що використовуються в Україні, стає актуальним питання необхідності та доцільності перенесення нормативних вимог європейського стандарту на вітчизняні окислені бітуми.

З вересня 2016 р. на замовлення Державного агентства автомобільних доріг України в ХНАДУ виконуються роботи по перегляду національного стандарту ДСТУ 4044-2001 «Бітуми нафтові дорожні в'язкі. Технічні умови». В номенклатуру показників якості проекту нового стандарту введені показники

динамічної в'язкості за 60°C та 135°C, визначення яких запропоновано для накопичення даних з метою подальшого нормування.

**Мета і задача дослідження.** Враховуючи, що у вітчизняній дорожній практиці в'язкість визначалась лише в наукових цілях і даних щодо їх значень за температур 60°C та 135°C для окислених бітумів обмаль, було виконано експериментальне дослідження, метою якого була порівняльна оцінка реологічних показників окислених і дистиляційних бітумів близької пенетрації. В якості об'єктів дослідження прийняті бітуми, отримані окисленням в лабораторних умовах малов'язкого окисленого бітуму та дистиляційні бітуми фірми Nynas.

**Методи та об'єкти дослідження.** Для всіх прийнятих у дослідженні бітумів були визначені стандартні показники якості (пенетрація, температура розм'якшеності та дуктильність за 25°C), визначено індекс пенетрації за температурою розм'якшеності ( $IP_{Tp}$ ) та еквіпенетраційної температурою ( $IP_{T800}$ ) [9], а також на пластовіскозиметрі ПВР-2 в широкому діапазоні температур (від 25°C до 160°C) та швидкостей зсуву (від 0,06 с<sup>-1</sup> до 39,8 с<sup>-1</sup>) встановлені значення в'язкостей. Властивості бітумів наведені в табл. 1.

Таблиця 1  
Властивості окислених та дистиляційних бітумів

Бітуми		Показники якості						
		Пенетрація за 25 °С, 0,1 мм	Температура розм'якшеності, °С	Дуктильність за 25 °С, см	Індекс пенетрації		В'язкість, Па·с за °С	
					$IP_{Tp}$	$IP_{T800}$	60	135
Nynas	НБ1	60	48,9	> 100	-1,05	-2,42	630,96	1,45
	НБ2	84	45,7	> 100	-1,08	-1,61	436,52	0,80
	НБ3	141	43,0	> 100	-0,30	-1,46	251,19	0,58
	НБ4	189	39,2	> 100	-0,64	-1,20	141,25	0,44
лаборатор	Б6	40	60,6	12	0,61	1,33	630,96	3,25
	Б5	61	52,6	44	-0,08	0,36	501,19	1,42

	Б4	82	47,9	85	-0,51	0,07	316,23	1,00
	Б3	120	44,6	89	-0,33	-0,03	135,52	0,73
	Б2	130	43,3	> 100	-0,49	-0,08	104,95	0,67
	Б1	179	41,2	> 100	-0,02	-0,11	90,36	0,49
	Б0	193	40,7	66	0,11	-0,19	77,09	0,39

**Результати дослідження.** За значенням індексу пенетрації  $IP_{T800}$  дистиляційні бітуми відносяться до бітумів з реологічним типом «золь-гель» з наближенням до типу «золь» (зокрема бітум НБ1), а окислені бітуми до типу «золь-гель» з наближенням до типу «гель» (особливо високов'язкі марки – Б6 та Б5).

Отримані в'язкісно-пенетраційні залежності розглянутих у роботі окислених і дистиляційних бітумів наведені на рис. 3, 4. Аналіз цих залежностей свідчить про суттєве перевищення в'язкості за 60°C дистиляційних бітумів (в 1,6 – 1,8 раз) над значеннями в'язкості окислених бітумів однакової пенетрації.

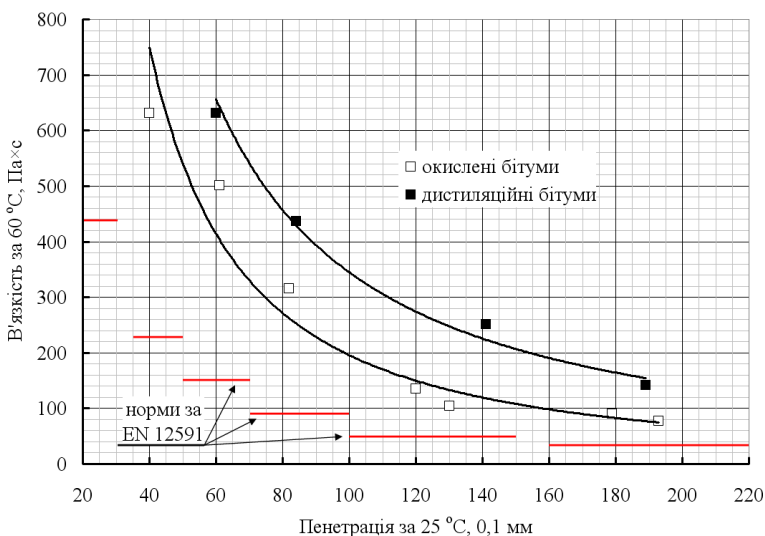


Рис. 3. Залежність в'язкості за 60°C від пенетрації бітумів

Наведені на рис. 3 залежності динамічної в'язкості за 60°C від penetрації за 25°C в'язучих свідчать про перевищення у 1,6 – 1,8 разів значень в'язкостей дистиляційних бітумів. Поясненням цього є належність бітумів, виготовлених за різними технологіями, до різних реологічних типів. Згідно з [10], дистиляційні бітуми відносяться до типу «золь», який характеризується надмолекулярною безперервною структурою смол (значення розтяжності за 25°C перевищують 100 – 150 см), що позначається на відсутності різниць у значеннях незруйнованої та повністю зруйнованої структури.

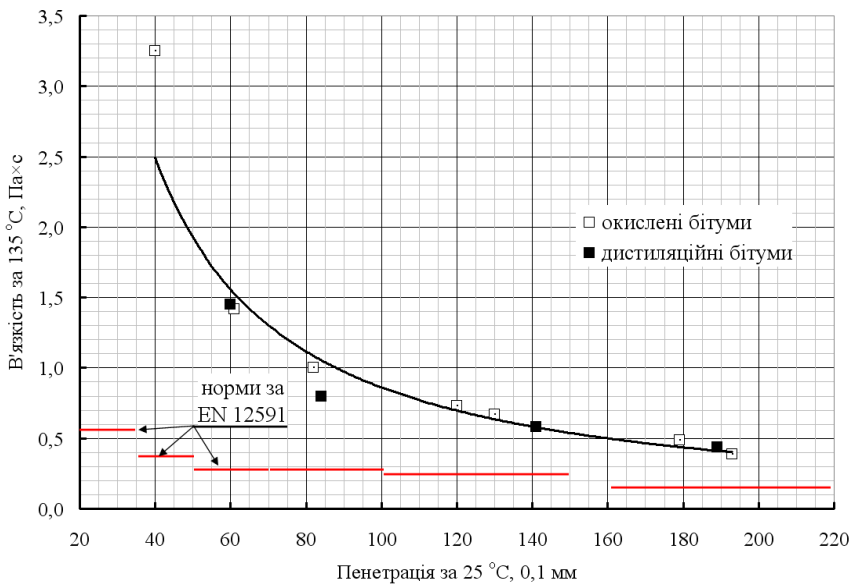


Рис. 4. Залежність в'язкості за 135°C від пенетрації бітумів

Бітуми типу «гель», до яких тяжіють окислені бітуми, характеризуються наявністю коагуляційної структурної сітки асфальтенів у значній кількості вуглеводнів (що проявляється в підвищених значеннях температури розм'якшеності). Це призводить до наявності значної різниці між в'язкістю незруйнованою та повністю зруйнованою структурою, а також

аномалії в'язкості (рис. 5). Після руйнування структурної сітки в'язкість окислених бітумів визначається вуглеводнями, які, на відміну від смол, мають меншу в'язкість.

Наявність аномалії в'язкості за температури 60°C у окислених бітумів призводить до необхідності введення нормованого значення швидкості зсуву при визначенні швидкості (як це зроблено в стандарті ГОСТ 33133-2014, де прийнято визначення динамічної в'язкості за 60°C при швидкості зсуву в 1,5 с<sup>-1</sup>) або визначення в'язкості за якнайменшими швидкостями зсуву (ця умова нормується методикою визначення динамічної в'язкості на віскозиметрах Брукфільда за EN 13399:2010), що може бути досить проблематичним для високов'язких окислених бітумів.

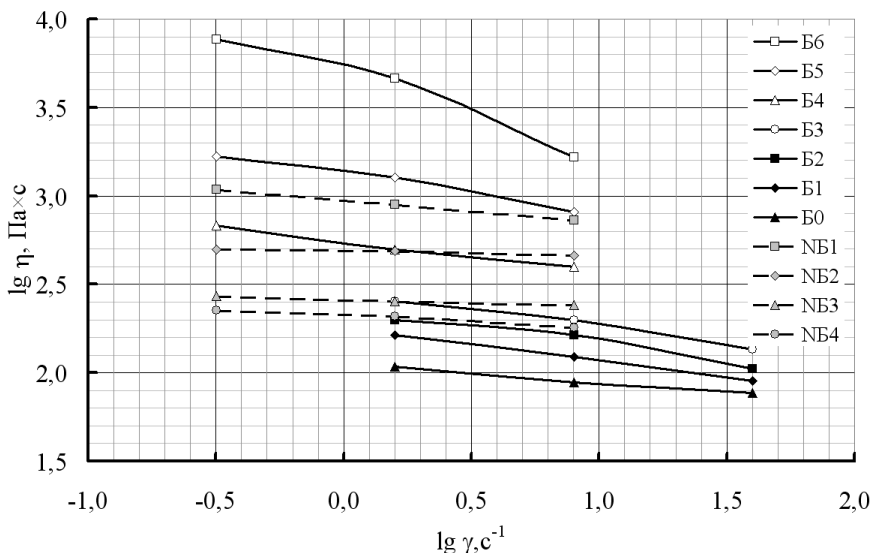


Рис. 5. В'язкісно-швидкісні залежності розглянутих у роботі бітумів

За температури 135 °С в'язкість як дистиляційних, так і окислених бітумів з рівною пенетрацією є близькою. Поясненням цього є те, що в'язкість за настільки високих температур, коли повністю зруйновані внутрішні структури в'язких, визначається лише в'язкістю вуглеводнів, яка є близькою як для дистиляційних, так і окислених бітумів.

З вищевикладеного можна зробити такі висновки:

1. Норми значень в'язкості за температур 60°C та 135°C, наведені в стандартах ASTM D3381 та EN 12591, є заниженими.

2. Значення динамічної в'язкості за 60°C дистиляційних бітумів значно перевищують значення в'язкості окислених бітумів близької пенетрації. За температури 135°C значення в'язкості дистиляційних та окислених бітумів практично однакові.

3. Для встановлення нижньої нормованої межі значень в'язкостей за температур 60°C та 135°C у проекті національного стандарту необхідно накопичити значну кількість даних, яка дозволить на основі статистичної обробки прийняти відповідне рішення.

1. ASTM D3381/D3381M. Standard Specification for Viscosity-Graded Asphalt Cement for Use in Pavement Construction. ASTM, 2013. 3 p.

2. Welborn J. Y. State of the Art in Asphalt Pavement Specification, Washington: DC, 1984. 184 p.

3. EN 12591:2009. Bitumen and bituminous binders. Specifications for paving grade bitumens. Brussels, 2009. 22 p.

4. Tons E., Goetz R. O., Moore R. Standardization of Asphalt Viscosity and Mix Design Procedures. Michigan: Michigan Department of State Highways and Transportation, 1975. 178 p.

5. Button Joe W., Epps Jon A., Little Dallas N., Gallaway Bob M. Asphalt temperature susceptibility and its effect on pavements. *Transportation Research Record 843*. Washington DC.: *Transportation Research Board. National Research Council.*, 1982. P.p. 118 – 126.

6. Wang D., Tetteh-Wayoe H., Anderson K. O. Low temperature properties of asphalt cements and mixtures used in the C-SHRP Lamont test road in Alberta. Edmonton, Alberta: University of Alberta. 1992. 33 p.

7. Руденская И. М., Руденский А. В. Органические вяжущие для дорожного строительства. Москва: Транспорт, 1984. 229 с.

8. ДСТУ EN 12591:2017 (EN 12591:2009, IDT). Бітум та бітумні в'язучі. Технічні вимоги до дорожніх бітумів. Київ, 2017. 30 с.

9. Пыриг Я. И. О показателе температурной чувствительности битумов. *Вестник ХНАДУ: сб. науч. тр.* Харьков, 2015. № 69. С. 128-133.

10. Колбановская А. С., Михайлов В. В. Дорожные битумы. Москва: Транспорт, 1973. 264 с.

УДК 625.7

## **ПОШУК АЛЬТЕРНАТИВНИХ ПОКРИТТІВ ДОРОЖНЬОГО ОДЯГУ ЖИТЛОВИХ ВУЛИЦЬ**

**Процюк В.О., асистент (Луцький національний технічний університет, м. Луцьк), Дробішинець С.Я., к.т.н., доц. (Луцький національний технічний університет)**

**Protsiuk V.O., assistant (Lutsk national technical university, Lutsk), Drobyshtynets S.Ja., Ph.D. in Engineering, Associate Professor, (Lutsk National Technical University)**

У статті розглянуті та порівняні існуючі найтиповіші варіанти матеріалів верхнього шару покриття проїзної частини. Наведено вартість та терміни експлуатації шарів покриття. Визначено, що найоптимальнішим варіантом (за вартістю) є щебеневе покриття, влаштоване методом напівпросочення бітумом.

Work on the arrangement of the pavement upper layers is very costly in comparison with work related to the arrangement of the subgrade, foundation layers or landscaping.

In the settlements, the capital type of pavements is to be applied on main roads and streets of city and district values, the light type is on streets and roads of local importance (residential streets, streets and roads in scientific-industrial, industrial and municipal-warehouse areas) and on roads and streets of rural settlements, transitional type - on driveways and cycling tracks.

In this work, an analysis of the cost calculations for the arrangement and operation life of the pavement upper layers from different materials, it can be concluded that the asphalt concrete layers have a service life twice as long as the other coatings, however, respectively, the cost is 2 - 5 times higher compared to others.

It has been established that alternative (in economy terms) materials (in relation to asphalt concrete) to provide pavements on residential streets with low traffic intensity, driveways, streets and roads in scientific, industrial, and municipal-storage zones are rubble pavements, which are arranged by the method of semi-impregnation

bitumen (bituminous emulsion), thin-layer pavements and cast emulsion-mineral pavements.

It is shown in the work that these deficiencies can be eliminated by performing an additional surface treatment, which is a coating of fine-grained stone material treated with bitumen. This allows you to increase the roughness, equality and water resistance of road pavement, as well as improve the wear resistance of the pavement.

The cost of this double pavement will be 168.9 thousand UAH for 1000 m<sup>2</sup> pavement, which is 62% of the arranging cost the coverage of asphalt concrete, while the operation is almost inferior to him.

In the significant underfunding conditions of streets and roads repairs in settlements, an alternative (from an view economic point) to asphalt concrete pavements is the arrangement of gravel pavements by a method of semi-impregnation with bitumen or bitumen emulsion and pavements it with the upper layer of surface treatment on residential streets with an intensity up to 1000 cars per day traffic.

Ключові слова: покриття, міцність, житлова вулиця, асфальтобетон, напівпросочення.

Keywords: pavement, strength, street, asphalt, semi-impregnation.

**Вступ.** Розвиток промисловості та економічної безпеки держави, регіону та навіть міста напряму залежить від мобільності даної території, тобто часу пересування пасажирів та доставки вантажу, та безпеки дорожнього руху на автомобільних дорогах. Зменшення часу на проїзд і доставку вантажу досягається завдяки розвитку мережі транспортних сполучень і залежить від завантаження транспортних шляхів, їх транспортно-експлуатаційних якостей і організації дорожнього руху.

В період економічної кризи та значного недофінансування дорожньої галузі, про розбудову мережі автомобільних доріг мова не йде взагалі. В цілому по Україні відбуваються капітальні ремонти та поточні середні ремонти автомобільних доріг загального користування і вулиць населених пунктів.

**Аналіз останніх досліджень.** Улаштування верхніх шарів конструкції дорожнього одягу є досить дороговартісним процесом у порівнянні з роботами, пов'язаними з улаштування земляного полотна, шарів основи чи благоустроєм.



Згідно з класифікацією за типами за ДБН В.2.3-4:2015 [1] та ДБН В.2.3-5:2018 [2] дорожні одяги поділяються на: капітального типу, удосконаленого полегшеного типу та перехідного типу. В населених пунктах капітальний тип згідно з табл. 8.1 [2] необхідно застосовувати на магістральних дорогах і вулицях загальноміського і районного значень, полегшений тип – на вулицях і дорогах місцевого значення (житлові вулиці, вулиці та дороги в науково-виробничих, промислових і комунально-складських зонах) і на дорогах і вулицях сільських поселень, перехідний тип – на проїздах і велосипедних доріжках.

Залежно від типу покриття, під час конструювання дорожнього одягу, найбільш популярними матеріалами верхніх шарів покриття в населених пунктах є:

- асфальтобетон гарячий щільний дрібнозернистий I або II марки, згідно з ДСТУ Б В.2.7-119:2011 [3];

- щебенево-мастиківий асфальтобетон (ЩМА-15), згідно з ДСТУ Б В.2.7-127:2015 [4];

- литі емульсійно-мінеральні покриття, згідно з ВБН В.2.3-218-175-2002 [5];

- кам'яні матеріали, оброблені в'язучими методом змішування в установці чи на дорозі;

- холодний ресайклінг;

- щебенево покриття, влаштоване методом напівпросочення бітумом (бітумною емульсією);

- улаштування шару зносу (тонкошарові), згідно з ВБН В.2.3-218-532:2007 [6];

- фракціоновані кам'яні матеріали не укріплені в'язучими матеріалами;

- бруківка.

**Постановка мети та завдань досліджень.** В даній роботі було розраховано відповідно до [7] вартість влаштування 1000 м<sup>2</sup> верхнього шару покриття із дотриманням мінімальних товщин. Результати розрахунків наведено у таблиці 1 і представлено графічно (рис. 1).

Проаналізувавши розрахунки вартості з улаштування і терміну експлуатації [8] верхніх шарів покриття із різних матеріалів, можна зробити висновок, що асфальтобетонні шари (і ЩМА) мають термін

служби вдвічі довший за інші покриття, проте, відповідно, і вартість у 2 – 5 рази вищу порівняно з іншими.

Таблиця 1

Порівняльна характеристика вартості і терміну експлуатації матеріалів верхнього шару покриття

№	Матеріал верхнього шару	Місце застосування	Термін експлуатації, роки	Вартість (без ПДВ), тис.грн./1000м <sup>2</sup>
1	Асфальтобетон гарячий щільний дрібнозернистий типу Б марки I або II	Всі категорії вулиць і доріг	9-12	273,9 <sup>1</sup>
2	Щебенево-мастиковий асфальтобетон (ЩМА-15)	Магістральні дороги, Магістральні вулиці загальноміського значення	10-15	327,5 <sup>1</sup>
3	Літі емульсійно-мінеральні суміші	Житлові вулиці, вулиці та дороги в науково-виробничих, промислових і комунально-складських зонах	5	134,3
4	Щебенево покриття влаштоване методом напівпросочення бітумом (бітумною емульсією)	Теж саме	8	134,9
5	Улаштування шару зносу (тонкошар)	Теж саме	4	63,3
6	Фракціоновані кам'яні матеріали не укріплені в'язучими матеріалами	Проїзди, велосипедні доріжки	5	

Продовження таблиці 1

№	Матеріал верхнього шару	Місце застосування	Термін експлуатації, роки	Вартість (без ПДВ), тис.грн./1000м <sup>2</sup>
7	Бруківка (фігурні елементи мощення)	Вулиці і площі історичних населених пунктів, тротуари, садово-паркові пішохідні доріжки і зони, зупинки транспорту, відкриті автостоянки, території АЗС	15	378,7 <sup>2</sup>

Примітка: 1. Врахована вартість розливу бітумної емульсії в кількості 0,3 л/м<sup>2</sup> перед улаштуванням верхнього шару.  
 2. Врахована вартість вирівнюючого і підстильного шарів із висівок і висівко-цементної суміші відповідно товщиною по 4 см.



Рис. 1. Порівняльний аналіз вартості улаштування верхнього шару покриття

Крім цього, асфальтобетонні шари мають, у порівнянні з іншими наведеними матеріалами, низку інших переваг, таких як:

модуль пружності шару при пружному прогині (у 3 – 4 рази більший за інші матеріали [9], крім бруківки, в якій не вимірюється цей параметр); опір руйнуванню від розтягу при згині (в 5 – 7 разів більший [9], крім бруківки і неукріплених в'язучими матеріалами); більший коефіцієнт зчеплення; краща рівність, а тому нижчий показник шумового забруднення; і водонепроникність.

Висока вартість влаштування асфальтобетонного покриття пояснюється високою вартістю асфальтобетонної суміші (2013 грн./тонну), до складу якої входить дорогий імпортований бітум (становить 37 % вартості суміші), щебінь і мінеральний порошок, а також необхідністю нагріву всіх компонентів до високих температур. В якості паливних матеріалів для нагріву використовують природний газ (це близько 10% від вартості готової суміші).

Влаштування покриття житлових вулиць відповідно до [2] забороняється виконувати із бруківки (фігурних елементів мощення) та фракціонованих кам'яних матеріалів, неукріплених в'язучими матеріалами.

Тому на даний час альтернативними (з точки зору економії) матеріалами (відносно асфальтобетонного) для влаштування покриття на житлових вулицях з невисокою інтенсивністю руху (переважно приватний сектор), проїздах, вулицях та дороги в науково-виробничих, промислових і комунально-складських зонах є щебеневі покриття, що влаштовуються методом напівпросочення бітумом (бітумною емульсією), тонкошарові покриття і литі емульсійно-мінеральні покриття.

У місті Луцьку в останні два роки почали широко застосовувати технологію влаштування покриття вулиць у приватних секторах із щебеню, що влаштовуються методом напівпросочення бітумом або бітумною емульсією товщиною 4 см (інколи 5 см). Так, у 2017 – 2018 роках під час виконання поточних ремонтів житлових вулиць таке покриття було влаштоване на 32 вулицях міста [10]. Загальна площа покриття склала 48,7 тис. м<sup>2</sup>, а вартість будівельно-ремонтних робіт – близько 6,5 млн. грн. У випадку влаштування асфальтобетонного покриття на цих вулицях вартість робіт будівельних робіт становила б біля 15 млн. грн. Отже, влаштування покриття за цією технологією дозволило зекономити біля 8,5 млн. грн. за два роки і мати тверде покриття вулиць.

Звісно, що дане покриття має менший термін експлуатації та гіршу рівність порівняно з асфальтобетоном, проте завдяки бітумній плівці покриття відводить воду із проїзної частини і захищає шари основи та земляного полотна від зволоження.

Крім того покриття, влаштовані за способом просочення, мають достатню міцність, гарну шорсткість і можуть витримати інтенсивність руху до 1000 авт./добу. При цьому, відповідно до розрахунків (див. табл. 1 і рис. 1), вартість вдвічі нижча за асфальтобетон.

Технологія влаштування покриття за способом просочення полягає в тому, що верхній недоуцільнений шар щебеню просочують бітумом на глибину 4 – 8 см, після чого розсипають дрібніший щебінь (клинєць) та інтенсивно ущільнюють його важкими котками. Під час ущільнення відбувається заклинювання щебінок і остиглий в'язучий матеріал забезпечує їх зв'язність.

Дана технологія є складним процесом, який вимагає значного досвіду виконання таких робіт, так як надлишки бітуму можуть призводити до утворенню зсувів, хвиль, а недостатня кількість бітуму в покритті може викликати зменшення зв'язності щебінок, вилушування їх при русі автомобілів і призводити до подальшого руйнування покриття.

Проте вказані недоліки можна усунути шляхом виконання додаткової поверхневої обробки, що являє собою покриття із дрібнозернистого кам'яного матеріалу, обробленого бітумом. Це дозволяє підвищити шорсткість, рівність і водостійкість дорожнього одягу, а також покращити зносостійкість покриття.

Вартість такого подвійного покриття буде становити 168,9 тис. грн./1000 м<sup>2</sup> покриття, що складає 62% вартості улаштування покриття із асфальтобетону, а за експлуатаційними параметрами майже не поступатися йому.

**Висновок.** В умовах значного недофінансування ремонтних робіт вулиць і доріг у населених пунктах альтернативою (з економічної точки зору) асфальтобетонних покриттів є улаштування водонепроникного щебеневого покриття методом напівпросочення бітумом або бітумною емульсією та покривання його верхнім шаром поверхневої обробки на житлових вулицях з інтенсивністю руху до 1000 авто/добу. Дане покриття має рівну неслизьку і безпилну поверхню і допускає рух автомобілів із підвищеними

швидкостями. Така конструкція забезпечує рух автомобілів великої вантажопідйомності протягом усього року.

### **Література**

1. ДБН В.2.3-4:2015 Споруди транспорту. Автомобільні дороги. Частина І. Проектування. Частина ІІ. Будівництво. – [Чинний від 2016-04-01]. – К.: Державне підприємство «Укравхбудінформ» (Мінрегіон України), 2015. – 104 с.
2. ДБН В.2.3-5:2018 Вулиці та дороги населених пунктів. – [Чинний від 2018-09-01]. – К. : Державне підприємство «Укравхбудінформ» (Мінрегіон України), 2018. – 554 с.
3. ДСТУ Б В.2.7-119:2011. Суміші асфальтобетонні і асфальтобетон дорожній та аеродромний. Технічні умови. – [Чинний від 2012-10-01]. – К.: Державне підприємство «Укравхбудінформ» (Мінрегіон України), 2012. – 55с.
4. ДСТУ Б В.2.7-127:2015 Суміші асфальтобетонні і асфальтобетон щобенево-мастикові. Технічні умови. – [Чинний від 2016-07-01]. – К. : Державне підприємство «Укравхбудінформ» (Мінрегіон України), 2015. – 26с.
5. ВБН В.2.3-218-175-2002 Споруди транспорту. Влаштування тонкошарових покриттів з литих емульсійно-мінеральних та холодних асфальтобетонних сумішей. – [Чинний від 2004-01-01]. – К. : Державна служба автомобільних доріг України (УКРАВТОДОР), 2002. – 11 с.
6. ВБН В.2.3-218-532:2007 Споруди транспорту. Влаштування тонкошарових покриттів на автомобільних дорогах державного значення. – [Чинний від 2007-04-01]. – К. : Державна служба автомобільних доріг України (УКРАВТОДОР), 2007. – 11 с.
7. ДСТУ Б Д.2.4-18:2014 Ресурсні елементні кошторисні норми на ремонтно-будівельні роботи. Благоустрій (Збірник 18). – [Чинний від 2014-09-01]. – К.: Державне підприємство «Укравхбудінформ» (Мінрегіон України), 2014. – 117 с.
8. ВБН Г.1-218-050-2001 Міжремонтні строки експлуатації дорожніх одягів та покриттів на автомобільних дорогах загального користування. – [Чинний від 2002-01-01]. – К. : Міністерство регіонального розвитку, будівництва та житлово-комунального господарства України, 2001. – 7 с.
9. ВБН В.2.3-218-186-2004 Споруди транспорту. Дорожній одяг нежорсткого типу. – [Чинний від 2005-01-01]. – К. : Державна служба автомобільних доріг України (Укравтодор), 2004. – 151 с.
10. Prozorro. Публічні закупівлі. [Електронний ресурс]. <https://prozorro.gov.ua>.

УДК 624.011

**ПРИМЕНИМОСТЬ МЕТОДА ПРИСТЕНОЧНЫХ ФУНКЦИЙ  
ПРИ МОДЕЛИРОВАНИИ ВЕТРОВЫХ И СНЕГОВЫХ  
ВОЗДЕЙСТВИИ НА ЗДАНИЯ И СООРУЖЕНИЯ. ЧАСТЬ 1.**

**ЗАСТОСУВАННЯ МЕТОДУ ПРИСТІНКОВИХ ФУНКЦІЙ  
ПРИ МОДЕЛЮВАННІ ВІТРОВИХ І СНІГОВИХ ВПЛИВІВ НА  
БУДІВЛІ І СПОРУДИ. ЧАСТИНА 1.**

**APPLICATION OF THE METHOD OF WALL FUNCTIONS AT  
MODELING OF WIND AND SNOW IMPACT ON BUILDINGS  
AND STRUCTURES. PART 1.**

Стоянов В.В., д.т.н проф. (ОГАСА, г. Одесса), Жгалли Ш., асп.,  
(ОГАСА, г. Одесса)

Стоянов В.В., д.т.н проф. (ОДАБА, м. Одеса), Жгалли Ш., асп.,  
(ОДАБА, м. Одеса)

Stojanov V.V., T.Sc.D., professor (The Odessa State Academy of  
Building and Architecture, Odessa), Jgalli S. P.G. (The Odessa State  
Academy of Building and Architecture, Odessa)

Рівняння Рейнольдса можливо використовувати для розрахунку поля швидкості в усіх областях турбулентного пограншару. Однак, так як товщина в'язкого і буферного шарів дуже мала, вирішити рівняння в області цих шарів може бути вкрай важко. За допомогою використання пристінкових функцій можливо відмовитися від вирішення рівнянь Рейнольдса в буферній області та аналітично розрахувати швидкість поблизу стінки.

The Reynolds equations can be used to calculate the velocity field in all regions of the turbulent boundary layer. However, since the thickness of the viscous and buffer layers is very small, it is extremely difficult to solve the equations in the region of these layers. By using wall functions can be dispensed solutions Reynolds equations in the buffer region and analytically to calculate the velocity near the wall. The

method of wall functions is a special boundary condition, improves the accuracy of the simulation of the turbulent boundary layer on a relatively coarse grid. it is a way to give up a fair resolution of the viscous sublayer of the computational grid. Thus, to improve the accuracy of the result using certain velocity and temperature profiles which attempt to predict the actual profiles of the wall. All this can significantly reduce the computational grid.

The problem of modeling the wind and snow effects on buildings and structures lies in the region of applicability of several turbulence models, therefore it is necessary to conduct research, to select the combination of the model and the wall function, which will give the most realistic and accurate result.

The model of wall functions in the ANSYS program complex is described, which allows to simulate turbulent flows of liquid and gas near solid impermeable surfaces on different grids. Considers several turbulence models: the standard model  $k-\varepsilon$ , RNG model  $k-\varepsilon$ , Realizable model  $k-\varepsilon$ , the standard model of  $k-\omega$ , Transition  $k-k\ell-\omega$ , Transition SST and RSM. The results of solving several test problems are discussed and demonstrated.

Due to the large amount of work, modeling of wind, snow impact on hyperbolic paraboloids. The general results are presented separately in five articles in order to simplify the formulation and completeness.

Ключевые слова: уравнения Рейнольдса, турбулентного погранслоя, вязкого, буферного, пристеночных функций, моделировании, ветровых, снеговых, воздействия, ansys, стандартный модель  $k-\varepsilon$ , rng модель  $k-\varepsilon$ , realizable модель  $k-\varepsilon$ , стандартный модель  $k-\omega$ , transition  $k-k\ell-\omega$ , transition SST, rsm.

Ключові слова: рівняння Рейнольдса, турбулентного погранслоя, в'язкого, буферного, пристінкових функцій, моделюванні, вітрових, снігових, впливу, ansys, стандартний модель  $k-\varepsilon$ , RNG модель  $k-\varepsilon$ , Realizable модель  $k-\varepsilon$ , стандартний модель  $k-\omega$ , Transition  $k-k\ell-\omega$ , Transition SST, rsm.

Keywords: уравнения Рейнольдса, турбулентного погранслоя, вязкого, буферного, пристеночных функций, моделировании, ветровых, снеговых, воздействия, ansys, стандартный модель  $k-\varepsilon$ ,



rng модель  $k-\varepsilon$ , realizable модель  $k-\varepsilon$ , стандартный модель  $k-\omega$ , transition  $k-k\ell-\omega$ , transition SST, rsm.

**Введение.** Большинство течений, встречающихся в природе и технике, турбулентные [1]. Для моделирования турбулентных потоков используются различные модели (алгебраические, с одним уравнением конвективно-диффузионного типа, с двумя уравнениями, с семью уравнениями и др.). Особое место в теории турбулентности занимает моделирование пограничного слоя около твердой поверхности [2]. Известны два подхода к моделированию турбулентного пограничного слоя: с разрешением ламинарного подслоя и без разрешения ламинарного подслоя. Последний подход предполагает использование эмпирических (полученных экспериментальным путем) профилей скорости и турбулентных характеристик, или, как их иначе называют, пристеночных функций [3]. Если разрешать пограничный слой около объекта сложной формы здания, то сетка будет чрезмерно большой даже для современных суперкомпьютеров. Поэтому использование пристеночных функций предпочтительно для инженерных расчетов.

**Применимости метода пристеночных функций.** Моделирование пограничного слоя требует применения мелкой сетки вблизи поверхности тела. Из-за малого размера ячеек приходится выбирать малый шаг по времени, большое количество ячеек также замедляет счет. С целью достижения приемлемой точности при сравнительно грубой сетке разработаны методы пристеночных функций (wall functions) [4].

Идея состоит в том, чтобы использовать универсальность логарифмического профиля скорости. В общем случае из счетной области выделяется часть, прилегающая к телу, и в этой новой области решаются специальные уравнения. Но возможна и экономная реализация метода пристеночных функций, которая сводится к тому, чтобы в ячейках, граничащих с поверхностью тела, аппроксимировать скорость не прямой или полиномом, а специальной функцией, имеющей вид логарифмического профиля. В минимальном варианте этот особый способ аппроксимации используется только для вычисления поверхностного трения и

зависящего от него потока импульса через поверхность тела, в то время как потоки вещества, импульса и энергии между ячейками вычисляются обычным способом [5].

Таким образом, все сводится к специальному алгоритму вычисления поверхностного трения, что сильно упрощает применение метода. Но, несмотря на простоту, этот метод может быть очень эффективен и существенно повышать точность расчетов по сравнению с обычным условием прилипания.

Метод пристеночных функций имеет смысл применять на сравнительно грубых сетках, когда ближайшая к поверхности тела ячейка больше вязкого подслоя. Но существует и верхний предел огрубления сетки, при котором даже этот метод не даст правильных результатов – когда ячейка выходит за пределы той части пограничного слоя, где реальный профиль скорости близок к логарифмическому [6].

В случае турбулентного течения профиль скорости может быть разбит на три области [7-10]: вязкий подслой, логарифмический слой и переходный. Положение внешней границы логарифмического слоя зависит от числа  $Re$  так, как это показано на рис.1. Размер логарифмического слоя растет с увеличением числа  $Re$ .

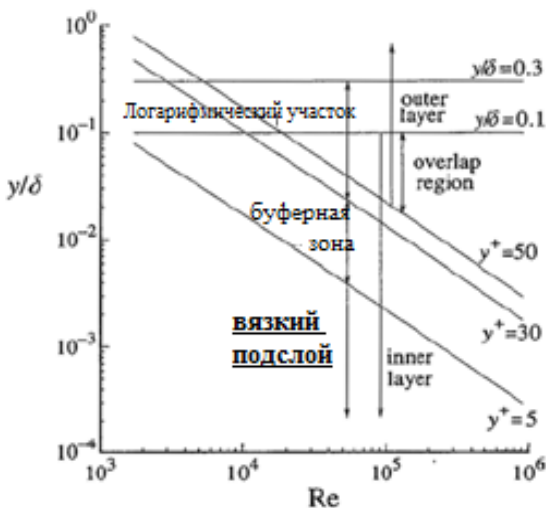


Рис.1. Подразделы пристеночной области

Где:

-вязкий подслой:  $y^+ < 5$  (профиль скорости считается линейным, а вязкое напряжение доминирует в сдвиге стенки)

-буферной зоны:  $5 < y^+ < 30$  (доминирует как вязкие, так и турбулентные сдвиги).

-Логарифмический участок:  $y^+ > 30$  (соответствует области, где доминирует турбулентный сдвиг).

Функция  $y^+$  определяет, является ли влияния в пристеночной зоне ламинарными или турбулентными, следовательно, указывая часть разрешенного турбулентного пограничного слоя. Она описывается как:

$$y^+ = \frac{u_\tau y}{\nu}; \quad u_\tau = \sqrt{\frac{\tau_w}{\rho}} \quad (1)$$

где  $y$  - высота от стены до средних пристеночных ячеек,  $\nu$  - кинематическая вязкость,  $u_\tau$  - динамическая скорость,  $\tau_w$  - напряжение сдвига на стенке,  $\rho$  - плотность жидкости или газа.

**Постановка задания.** Далее проведен анализ влияния диапазона пристеночной функции при модели турбулентности  $k-\varepsilon$  и разных конфигураций сетки на конечной точности результатов.

На рис.2, представлена вычислительная область, что использовалась нами для настоящего анализа и для достижения поставленных целей путем сравнения с экспериментальными результатами выявлены Meng, T., Hibi, K., и другими [2]. Число Рейнольдса на  $H$  (высота здания) при  $U_H = 4.45$  м/с (скорость потока при  $z = H$ ) составляло  $2,4 \times 10^4$ .

Для исследования несжимаемых стационарных течений в трехмерной обстановке, применялись уравнения RANS, при разных модели турбулентности. Сетки построены в ANSYS ICEM CFD.

На рис.3. представлена 4 конфигурация сетки, тип а,б,в и г, с высотой первой ячейки от поверхности равно  $0,04H$ , и размером  $130(x) \times 120(y) \times 78(z)$  для типа (г) и общим количеством ячеек 1,3 миллионов ячеек. Промежуточный рост между соседними ячейками для всех сеток составляет 1.10, 1.02 и 1.10 в последствие по  $x$ ,  $y$  и  $z$ .

Для остальных конфигураций сетки на рис.3. показано количество ячеек.

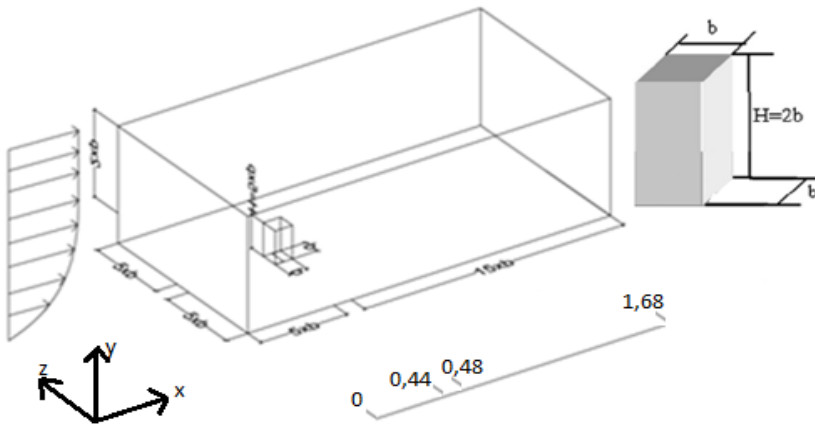


Рис.2. Схема вычислительной области и граничные условия

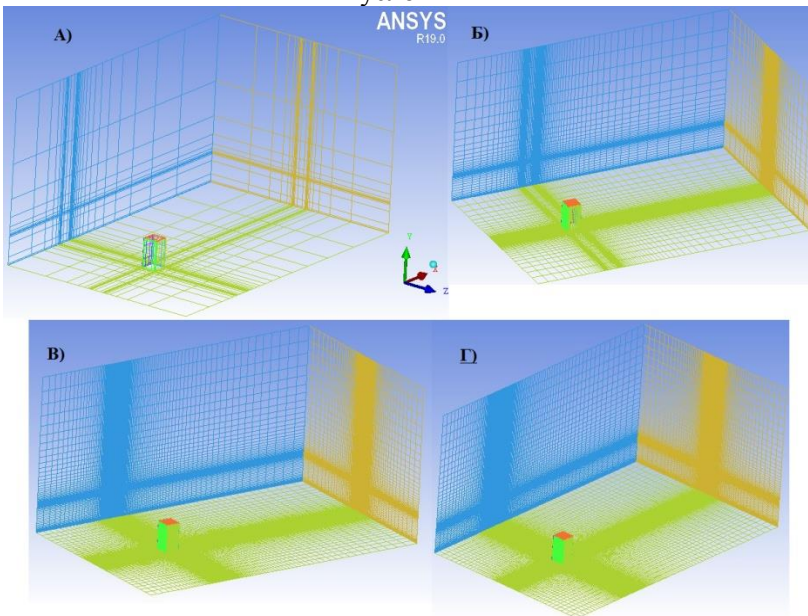


Рис.3. Разные конфигурации сетки с количеством конечных ячеек: а)  $n= 17253$ , б)  $n= 565993$ , в)  $n= 910928$ , г)  $n= 1373463$

Профіля распределения ветра по высоте ( $u$ ), турбулентная кинетическая энергия ( $k$ ) и скорости диссипации турбулентной энергии ( $\varepsilon$ ), установленные на входной границе, показаны на (рис.4). Отметим, что следующие данные были применены в физической испытании в аэродинамической трубе в 1998 году [2].

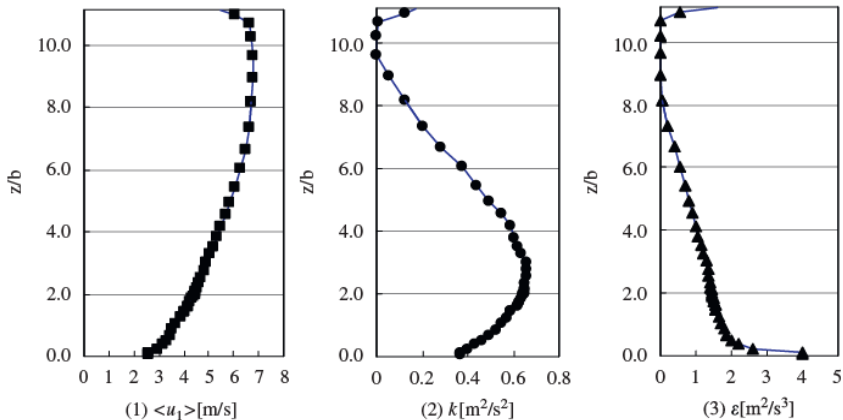


Рис. 4. Граничное условие потока при модели турбулентности  $k - \varepsilon$ .

**Основной материал и результаты.** Значения  $y^+$ , полученные при стандартных  $k - \varepsilon$ -модели турбулентности для трех рассмотренных сеток, с разрешению в буферном слое 20, и логарифмической области 40 и 110 представленный на рис (рис.5)

Действительно, из рис.5. видно как метод пристеночных функции эффективен и существенно повышать точность расчетов, при его применении на грубых сетках. Таким образом, проблемы со сходимостью и скоростью вычисления сводится к минимуму.

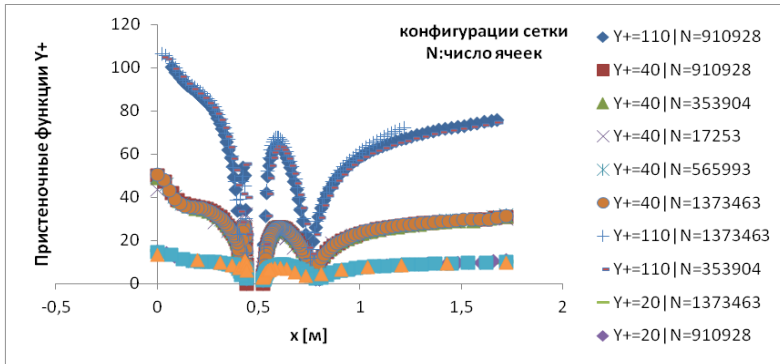


Рис. 5. Рассматриваемые функции  $u^+$

На рис.6. показано сравнение средних профилей скорости вдоль потока в линии симметрии  $x/H = 2,75$ , при разных конфигурациях сетки, для выявления независимости сетки на конечном результате моделирования и связи между диапазоном пристеночных функции и конфигурации сетки.

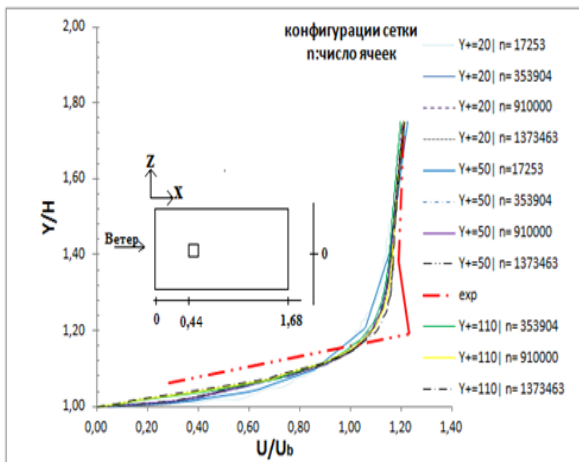


Рис. 6. Сравнение средних профилей скоростей вдоль потока в линии симметрии  $x/H = 2,75$  при стандартном  $k - \varepsilon$ , и  $R_{en} = 2,4 \times 10^4$  наряду с изменением конфигурации сетки

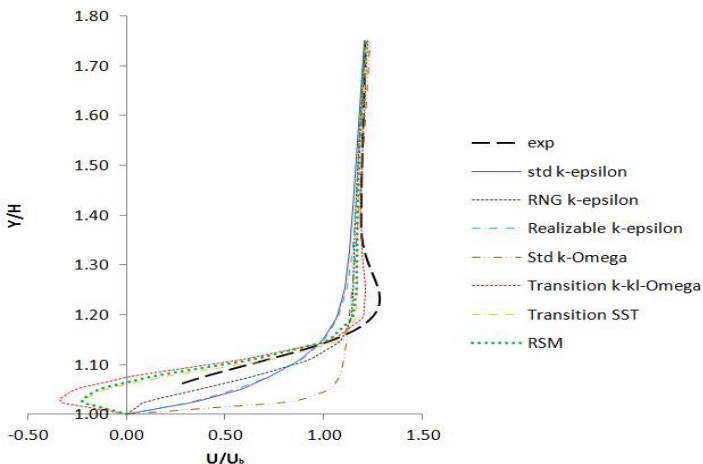


Рис. 7. Сравнение средних профилей скоростей вдоль потока в линии симметрии  $x/H = 2,75$  при разных моделях турбулентности и  $R_{en} = 2,4 \times 10^4$

**Выводы и перспективы дальнейших исследований.** После сравнения результатов, показанных на (рис.6), в качестве оптимальных моделей турбулентности для проведения инженерных расчётов при которых результаты вычислений более точные выступает transition k-kl-omega. Однако, здесь не было сравнения между исправными моделями  $k - \varepsilon$ , и LES в нестационарном режиме и для полноты картины во второй части статьи представлен сравнительный анализ вычисления с использованием различных исправных моделей  $k - \varepsilon$ , (т. е. Модели LK, модели MMK и модели  $k - \varepsilon$  Дурбина) с моделью (LES), путем сравнения их результатов с экспериментальными данными.

1. Мазо А.Б., Моделирование турбулентных течений несжимаемой жидкости. Учебное пособие.– Казань: КГУ, 2007.–106с.

2. Осадчая Д.М., Математическое моделирование в задачах управления пограничным слоем при различных режимах течения. диссертаций.– Казань: 2005.– 116с.

3. Луцкий А.Е., Северин А.В., Простейшая реализация метода пристеночных функций // Препринты ИПМ им.М.В.Келдыша. 2013. No 38.22 с.
4. Knopp T. On grid-independence of RANS predictions for aerodynamic flows using model-consistent universal wall-functions // European Conference on Computational Fluid Dynamics ECCOMAS CFD 2006.
5. Grotjans H., Menter F. R. Wall Functions for General Application CFD Codes. 4th, Vol 1 pts 1-2; Proceedings of the fourth European computational fluid dynamics conference; 1998; Athens. Page:1112-1117.
6. К. Н. Волков, "Формулировка граничных условий на стенке в расчетах турбулентных течений на неструктурированных сетках", Ж. вычисл. матем. и матем. физ., 54:2 (2014), 336–351; Comput. Math. Math. Phys., 54:2 (2014), 353–367
7. Шлихтинг Г., Теория пограничного слоя. М.: Наука, 1974.
8. Vogel J. C., Eaton J. K., Combined Heat Transfer and Fluid Dynamic Measurements Downstream of a Backward-Facing Step // Journal of Heat Transfer. 1985.Vol. 107. P. 922–929.
9. Флетчер К., Вычислительные методы в динамике жидкостей в двух томах. М.: Мир, 1991.
10. Лойцянский Л.Г., Механика жидкости и газа. М.:Наука, 1973.



УДК 625.85

**ВИЗНАЧЕННЯ ТЕМПЕРАТУРИ РОЗМ'ЯКШЕННЯ  
МОДИФІКОВАНИХ БІТУМІВ ЗА КІЛЬЦЕМ ТА КУЛЕЮ**

**DETERMINATION OF THE TEMPERATURE OF MODERN  
BITUM MIXTURES BETWEEN RING AND KULU**

**Талах Л.О., к.т.н., доц., Ужегова О.А., к.т.н., доц., Дробішинець С.Я., к.т.н., доц. (Луцький НТУ, м. Луцьк)**

**Talakh L.O., Ph.D. associate professor, Uzhehova O.A. Ph.D. associate professor, Drobyshynets S.Y., Ph.D. associate professor (Lutsk National Technical University, Lutsk)**

Наведено результати експериментальних досліджень визначення температури розм'якшення за кільцем та кулею дорожніх бітумів, модифікованих полімерно-активними добавками Kraton D, Calprene C-411, Calprene C-501 і восковою добавкою Sasobit.

The growth of the share of large-sized vehicles on Ukrainian highways requires strengthening of the carrying capacity of road clothing in general and of asphalt concrete in particular. Under the influence of precipitation in road asphalt concrete coatings there is a breakdown in the form of peeling, extinction, potholes. The reason for such behavior of road asphalt concrete under conditions of influence of water, temperature and movement of vehicles is the displacement of bitumen film with water from the surface of mineral constituents of asphalt concrete.

In these conditions, the use of modified bitumen can significantly increase the strength of asphalt concrete at high temperatures and at the same time ensure its high resistance to cracks in the winter.

The purpose and tasks of the research was to analyze the feasibility of using modified bitumen for road wear and to determine the effective way of introducing additives to its composition to improve the physical and mechanical properties aimed at increasing the durability of asphalt concrete coatings.

For the determination of the softening temperature of bitumen and modified bitumen, the standard methods used for the study of bitumen and modified bitumen were used.

In determining the softening temperature of bitumen, modified with additives Kraton D1101, Calprene C-411, Calpens C-501 and Sasobit, results were obtained and to determine the effective method of adding additives to its composition, aimed at increasing the deformation properties of asphalt concrete coatings.

The results of experimental studies of determination of the temperature of softening of a ring and a ball of road bitumen modified by polymeric active additives Kraton D, Calprene C-411, Calprene C-501 and Sasobit wax are given.

Ключові слова: бітум, модифікований бітум, добавка, температура розм'якшення.

Keywords: bitumen, modified bitumen, additive, softening temperature.

В умовах великого приросту частки великогабаритних транспортних засобів на автомобільних дорогах України, використання модифікованих бітумів дозволяє значно збільшити міцність асфальтобетону при високих температурах та забезпечити одночасно достатньо високу його стійкість проти тріщиноутворення взимку.

Ефективність дії модифікаторів визначають переважно з використанням методів визначення адгезійних властивостей бітумів.

За вихідну сировину був взятий бітум Кременчуцького НПЗ марки БНД 90/130 і бітум Мозирського НПЗ (Білорусь) марки 60/90. Полімерно активні добавки Kraton D, Calprene і воскова добавка Sasobit. Процентний вміст в'язучого складав 2% і 3%.

Kraton D (виробник Польща) – чистий лінійний блок-сополімер на основі стиролу і бутадієну. Вміст стиролу 31 %.

Calprene (виробництво компанії Dynasol (Іспанія)) – лінійний блок-сополімер на основі стиролу і бутадієну.

Sasobit (виробництво Sasol Wax, Південно африканська республіка) – це синтетичний парафіновий віск, кристалічний аліфатичних вуглеводень, який отримується при газифікації вугілля

в процесі синтезу Фішера-Тропша (ФТ). Існує деяка різниця між бітумінозними восками природного походження і восками ФТ в їх структурі і фізичних властивостях. Віск ФТ має більші довжини ланцюгів і більшу чистоту кристалічної решітки. Довжина ланцюгів вуглеводнів в Sasobit знаходиться в діапазоні 40-115 вуглеводневих атомів, в той час як довжини ланцюгів натуральних бітумінозних парафінів в бітумі від 22 до 45 вуглеводневих атомів. Цим пояснюється суттєва відмінність фізичних властивостей продукту Sasobit від парафінів, які присутні в бітумах. Це призводить до того, що воски ФТ мають більшу температуру плавлення (85-115) °С.

Випробування бітумів та модифікованих бітумів проводили згідно методик [1].

Температура розм'якшення є умовною характеристикою теплостійкості бітуму та його переходу з в'язкого в текучий стан. Це температура, при якій бітум, який знаходиться в кільці заданих розмірів, розм'якшується в рідині (воді для в'язких бітумів), яка підігрівається з нормованою швидкістю, а потім, опускаючись під дією кулі, торкається контрольної полички приладу. За багаточисельними даними бітум при температурі розм'якшення характеризується penetрацією  $800 \times 0,1$  мм та абсолютною в'язкістю, близькою до 1500 Па с. Тому з деяким наближенням температура розм'якшення може розглядатись як температура рівної в'язкості для всіх бітумів. Чим менша температура розм'якшення, тим менша температуростійкість бітуму. Використання таких бітумів у асфальтобетонних покриттях буде спонукати до пластичних деформацій у вигляді хвилі, напливів та колій. З огляду на вище вказане, очевидно, що у кліматичних районах з високою температурою повітря доцільне використання бітумів з меншою penetрацією та підвищеною температурою розм'якшення.

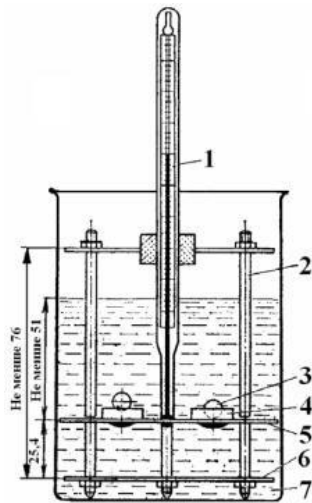
Для визначення температури розм'якшення використовували прилад «Кільце і куля» (рис.1).

Попередньо підготовлений бітум заливали з деяким запасом в латунні кільця, які розташовані на скляній поверхні, покритій сумішшю талька з гліцерином у співвідношенні 1:3. Зразки з бітумом охолоджували на повітрі протягом 20 хв при температурі  $(25 \pm 5)$  °С, а надлишок бітуму зрізали нагрітим ножем врівень з краями кілець.

Кільця з в'язучим встановлювали в отвори середнього диска. Термометр з ціною поділу  $0,5\text{ }^{\circ}\text{C}$  встановлювали в середній отвір верхнього та середнього дисків штатива так, щоб кінець ртутного резервуару був на одному рівні з нижньою поверхнею бітуму в кільці. Штатив з кільцями розміщували у хімічний стакан діаметром 90 мм та висотою 115 мм, заповнений водою, температура якої становила  $(5 \pm 1)\text{ }^{\circ}\text{C}$ . Висота шару води над поверхнею бітуму має бути не менше 50 мм. Після 10-хвилинного витримання у воді прилад діставали зі стакану і на кожне кільце пінцетом укладали сталеву кулю діаметром  $(9,5 \pm 0,05)$  мм та масою  $(3,5 \pm 0,05)$  г. Кулі попередньо охолоджували до температури  $(5 \pm 1)\text{ }^{\circ}\text{C}$ . Після цього прилад знову опускали у стакан, уникаючи при цьому появи бульбашок повітря на поверхні в'язучого.



а)



б)

Рис. 1. Схема (а) та прилад (б) для визначення температури розм'якшення «кільце і куля»: 1 – термометр; 2 – стійка штатива; 3 – куля; 4 – кільце; 5 – верхня пластина; 6 – нижня пластина; 7 – хімічний стакан

Для в'язучих з температурою розм'якшення 80–110°C стакан заповнювали сумішшю води з гліцерином у відношенні 1:2, а для бітумів з температурою розм'якшення більше 110°C у стакан заливали гліцерин. Температура попереднього 10-хвилинного витримання зразків в'язучого в цих випадках має бути  $(34 \pm 1)^\circ\text{C}$ . До цієї ж температури розігривається і сталава куля. Стакан зі штативом поміщували на нагрівальний пристрій, забезпечуючи при цьому горизонтальне положення площини кілець. Рідину у стакані починали підігрівати так, щоб швидкість піднімання температури після перших 3 хв підігріву складала  $(5 \pm 0,5)^\circ\text{C}$  за хвилину. Спостерігали за розм'якшенням бітуму і фіксували температуру, при якій бітум під дією маси кулі торкнеться контрольного нижнього диска. За показник температури розм'якшення приймали середнє значення з результатів двох паралельних визначень, якщо різниця між значеннями випробувань не перевищує  $1^\circ\text{C}$  для бітумів з температурою розм'якшеності до  $80^\circ\text{C}$  або  $2^\circ\text{C}$  для бітумів з температурою розм'якшеності більше  $80^\circ\text{C}$ .

Результати випробувань наведено в табл. 1 і на рис. 2.

Таблиця 1  
Результати випробувань температури розм'якшення  $T_p$ , °C бітуму

Склад в'язучого	Марка вхідного бітуму	Вміст модифікатора, %	$T_p$ , °C			
			Випробування 1	Випробування 2	Випробування 3	Середнє значення
Кременчуцький НПЗ	БНД 90/130	-	43	43,5	44	43,5
Мозирський НПЗ	БНД 60/90	-	47,5	48	49	48,2

БНД+КР (Kraton D)	БНД 90/130	2	48,8	49	48	48,6
	БНД 90/130	3	48	49,5	47,8	48,4
БНД+Calprene C-411	БНД 90/130	2	47	49,5	48	48,2
	БНД 90/130	3	56	58	57,5	57,2
БНД+Calprene C-501	БНД 90/130	2	49	47	48,5	48,2
	БНД 90/130	3	55	52	53	53,3
БНД+Sasobit	БНД 90/130	2	67	64	68	66,3
	БНД 90/130	3	80	78	83	80,3

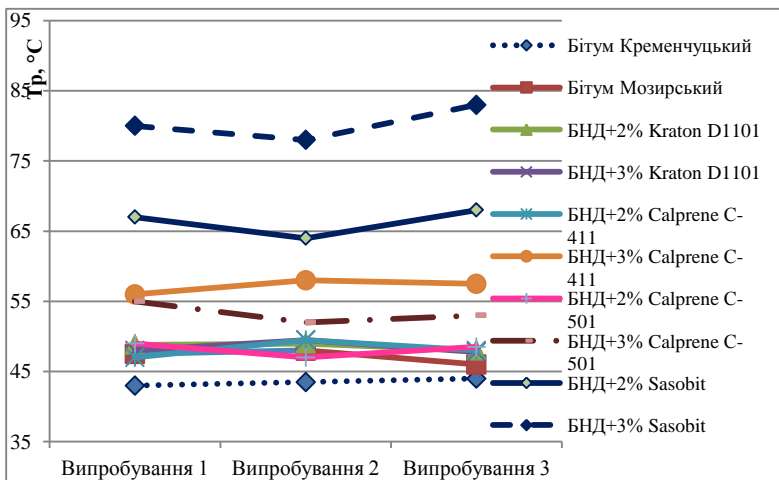


Рис. 2. Залежність між температурою розм'якшення  $T_p$ , °C і вмістом добавки

### **Висновки**

1. Оптимальна концентрація Calprene C-411 складає 2,5-3% (в залежності від в'язкості бітуму) та Calprene C-501 не менше 3%.
2. Calprene C-411 (радіальний) працює більш активно, ніж Calprene C-501 (лінійний) і забезпечує вищу теплостійкість при однаковому вмісті полімерів.
3. Термоеластопластами Calprene C-411 та Calprene C-501 підвищують температуру розм'якшення бітумів на 8-15°C.
4. Введення у бітум Kraton D1101 підвищує теплостійкість. Температура розм'якшення в'язучих підвищується на 2-4°C.
5. Структуруюча добавка Sasobit легко суміщається з бітумами при температурі 140-180°C протягом 1 год.
6. Введення в бітум 2-3% добавки Sasobit значно підвищує теплостійкість бітумів, тим самим можна прогнозувати підвищення опору покриттів колісутворенню.

### **Список використаної літератури**

1. Битумы нефтяные. Метод определения температуры размягчения по кольцу и шару.) (Бітуми нафтові. Метод визначення температури розм'якшення за кільцем та кулею) – ГОСТ 11506-73\*.
2. Будівельні матеріали. Бітуми дорожні, модифіковані полімерами. Технічні умови – ДСТУ Б В.2.7-135:2007. — К.: Держбуд України, 2007 – 32 с.

УДК 625.85

## **ВИЗНАЧЕННЯ ОДНОРІДНОСТІ ТА РОЗТЯЖНОСТІ (ДУКТИЛЬНОСТІ) МОДИФІКОВАНИХ БІТУМІВ**

### **DETERMINATION OF UNIFORMITY AND POPULATION (DYNAMICITY) OF MODIFIED BITUMES**

**Талах Л.О., к.т.н., доц., Парфентьєва І.О., к.т.н., доц., Процюк В.О., асистент, Корева О.О., магістр (Луцький НТУ, м. Луцьк)**

**Talakh L.O., Ph.D associate professor, Parfentieva I.O., Ph.D. associate professor, Protsiuk V.O., assistant, Coreva O.O., master (Lutsk National Technical University, Lutsk)**

Наведено результати експериментальних досліджень однорідності та розтяжності (дуктильності) дорожніх бітумів, модифікованих полімерно-активними добавками Kraton D, Calprene C-411, Calprene C-501 і восковою добавкою Sasobit.

Homogeneity characterizes the uniform distribution of polymer in bitumen and the dispersion of its particles. This property of the bitumen-polymeric binder is used in its production to determine the mixing time of bitumen with the polymer, as well as for operational and receiving control. In these conditions, the use of modified bitumen can significantly increase the strength of asphalt concrete at high temperatures and at the same time ensure its high resistance to cracks in the winter.

The bitumen stretch is the ability of the sample (in the form of eight) to increase the length without rupture continuity at a constant rate of deformation and a given temperature. The exponent value is the absolute elongation (in centimeters) of the sample until it ruptures. The tensile index is correlated with the cohesive strength of bitumen and its resistance to aging during the period of operation. The high value of tensile strength indicates a significant content in bitumen resins, and small amounts of oils and asphaltenes. For the determination of the softening temperature of bitumen and modified bitumen, the standard methods used for the study of bitumen and modified bitumen were used.

The results of experimental studies of homogeneity and elongation (ductility) of road bitumen modified by polymeric active



additives Kraton D1101, Calprene C-411, Calprene C-501 and Sasobit wax were introduced.

Ключові слова: бітум, модифікований бітум, добавка, однорідність, дуктильність.

Keywords: bitumen, modified bitumen, additive, uniformity, ductility.

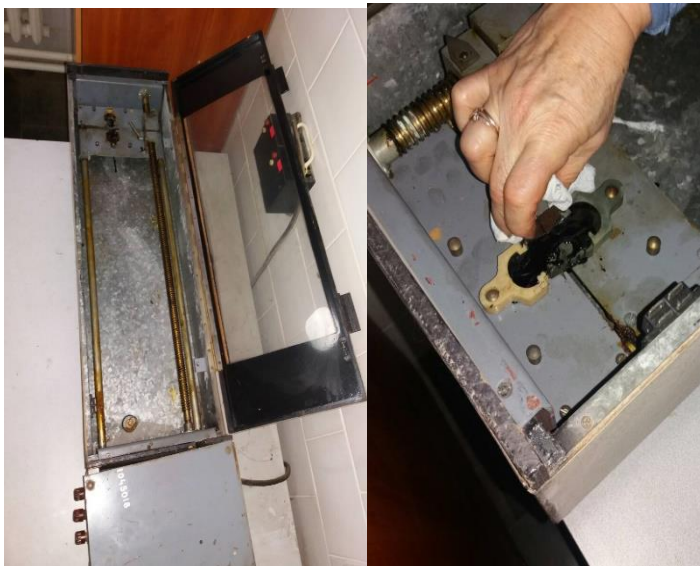
Однорідність характеризує рівномірність розподілу полімеру в бітумі та дисперсність його частинок. Ця властивість бітумополімерного в'язучого використовується при його виробництві для визначення часу змішування бітуму з полімером, а також для операційного та приймального контролю.

Випробування бітумів та модифікованих бітумів на однорідність проводили згідно методик [1].

Пробу бітумополімерного в'язучого масою 0,5 кг відливали у фарфоровий стакан. Температура в'язучого в стакані має бути не меншою за температуру його змішування. Вона становила  $(25 \pm 0,1)$  °С. Скляну паличку занурювали у пробу в'язучого на 3–4 с, потім виймали звідти і оцінювали стан плівки в'язучого на її поверхні. Бітумополімерне в'язуче має стікати з палички рівномірно і на її поверхні не повинно бути згустків, грудочок та крупинок. Однорідність визначали порівнянням результатів трьох випробувань. Якщо два з трьох випробувань дають позитивний результат, то в'язуче вважають таким, що витримало випробування на однорідність, його можна використовувати для інших випробувань.

Розтяжність бітуму – це здатність зразка (у формі вісімки) до збільшення довжини без розриву суцільності при постійній швидкості деформування та заданій температурі. Показником розтяжності є абсолютне подовження (в сантиметрах) зразка до моменту його розриву. Показник розтяжності корелюється з когезійною міцністю бітуму і стійкістю його проти старіння за період експлуатації. Високе значення розтяжності свідчить про значний вміст у бітумі смол, а мале – оливи та асфальтенів.

Для визначення розтяжності використовували дуктилометр (рис.1).



а) б)  
Рис. 1. Дуктилометр для випробування бітуму на розтяжність:  
а) – зразок-вісімка; б) – дуктилометр

Внутрішню сторону вкладишів форм-вісімок та пластину, на якій розміщується форма з бітумом покривали сумішшю талька з гліцерином 1 : 3. Підготовлений до випробувань бітум заливали в три форми тонким струменем від одного кінця форми до другого. Рівень бітуму має бути дещо вищим від країв форми. Охолоджували бітум у формі 30–40 хв при температурі оточуючого середовища 25°C. Після цього надлишок бітуму зрізали гарячим ножем від середини до країв так, щоб бітум заповнював форми рівень з краями.

Пластину зі зразком розміщували у водяній ванні дуктилометра. Рівень води над шаром бітуму має бути не менш 25 мм. При визначенні розтяжності при 25°C температура води у ванні підтримувалася  $(25 \pm 0,5)^\circ\text{C}$ , при визначенні розтяжності при 0°C –  $(0 - 0,5)^\circ\text{C}$ . Через 1 год пластину з формами, в які залито бітум, виймали з води і встановлювали їх на опорні

площадки дуктилометра, для чого кільця затискувачів форми надівали на штифти відповідно до положок та упорних пластин дуктилометра. Знімали бокові вкладиші форм. Температура в дуктилометрі відповідала умовам випробування ( $25 \pm 0,5$ )°C або ( $0 \pm 0,5$ )°C.

Вмикали двигун дуктилометра так, щоб він забезпечував розтяжність з швидкістю 5 см/хв, та спостерігали за розтягуванням бітуму. Якщо щільність випробованого бітуму значно вища або нижча щільності води, що призводить відповідно до падіння нитки бітуму на дно або її випливання, щільність води регулюють у першому випадку додаванням розчину повареної солі, а в другому – етилового спирту (в нашому випадку нитка падала на дно, тому ми додавали проварену сіль). Зразок розтягували до розриву. В момент розриву брали відлік по лінійці у сантиметрах. Показник розтяжності визначали як середнє арифметичне результатів трьох паралельних випробувань. Розходження між результатами випробувань не повинні перевищувати 10% від середнього арифметичного результатів, які порівнюються.

За вихідну сировину був взятий бітум Кременчуцького НПЗ марки БНД 90/130 і бітум Мозирського НПЗ (Білорусь) марки 60/90. Полімерно активні добавки Kraton D, Calprene і воскова добавка Sasobit. Процентний вміст в'язучого складав 2% і 3%.

Kraton D (виробник Польща) – чистий лінійний блок-сополімер на основі стиrolу і бутадієну. Вміст стиrolу 31%.

Calprene (виробництво компанії Dynasol (Іспанія)) – лінійний блок-сополімер на основі стиrolу і бутадієну.

Sasobit (виробництво Sasol Wax, Південно африканська республіка) – це синтетичний парафіновий віск, кристалічний аліфатичних вуглеводень, який отримується при газифікації вугілля в процесі синтезу Фішера-Тропша (ФТ).

Випробування бітумів та модифікованих бітумів на розтяжність проводили згідно методик [2].

Результати випробувань наведено в табл. 1 і 2 та рис. 2 і 3.

Результати випробувань бітуму на розтяжність при температурі 25°C

Склад в'язучого	Марка вхідного бітуму	Вміст модифікатора, %	D <sub>25</sub> , см			
			Випробування 1	Випробування 2	Випробування 3	Середнє значення
Кременчуцький НПЗ	БНД 90/130	-	91	90	92	91
Мозирський НПЗ	БНД 60/90	-	90	90	93	91
БНД+КР (Kraton D1101)	БНД 90/130	2	48	48	49	48,3
	БНД 90/130	3	55	51	54	53,3
БНД+Calprene C-411	БНД 90/130	2	74	74	75	74,3
	БНД 90/130	3	72	71	73	72
БНД+Calprene C-501	БНД 90/130	2	75	73	76	74,7

*"Сучасні технології та методи розрахунків у будівництві", випуск 10, 2018*

	БНД 90/130	3	78	79	78	78,3
БНД+Sasobit	БНД 90/130	2	39	41,5	37	39,2
	БНД 90/130	3	33	30	29	30,7

Таблиця 2

Результати випробувань бітуму на розтяжність при температурі 0°C

Склад в'язучого	Марка вхідного бітуму	Вміст модифікатора, %	D <sub>0</sub> , см			
			Випробування 1	Випробування 2	Випробування 3	Середнє значення
Кременчуцький НПЗ	БНД 90/130	-	5,5	5,4	5,6	5,5
Мозирський НПЗ	БНД 60/90	-	4,6	5	5,1	4,9
БНД+КР (Kraton D1101)	БНД 90/130	2	15,5	14	14,8	14,8

*"Сучасні технології та методи розрахунків у будівництві", випуск 10, 2018*

	БНД 90/130	3	16	15,5	16,5	16
БНД+Calprene C-411	БНД 90/130	2	13,1	13,6	13,9	13,5
	БНД 90/130	3	16,5	15,5	16,9	16,3
БНД+Calprene C-501	БНД 90/130	2	14,1	14,5	15	14,5
	БНД 90/130	3	16	16,5	15,8	16,1
БНД+Sasobit	БНД 90/130	2	2,4	2,5	2,5	2,5
	БНД 90/130	3	2	1,6	2	1,9

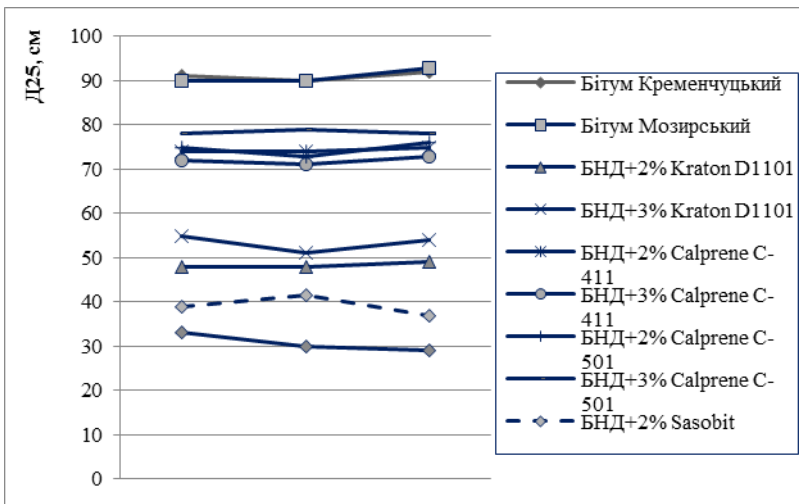


Рис. 2. Залежність між розтяжністю (дуктильністю) і вмістом добавки при температурі 25°C

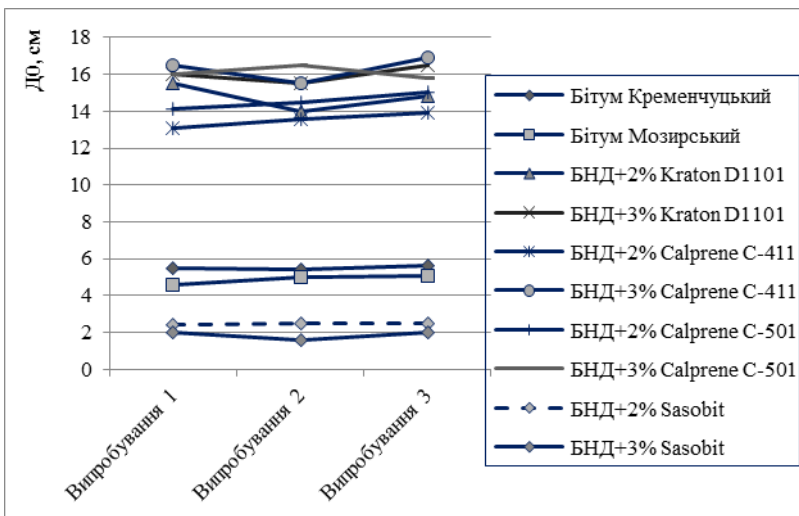


Рис. 3. Залежність між розтяжністю (дуктильністю) і вмістом добавки при температурі 0°C

### **Висновки**

1. Випробування бітуму і модифікованого бітуму полімерно активними добавки Kraton D1101, Calprene C-411, Calprene C-501 і восковою добавка Sasobit. на однорідність дало позитивний результат.

2. Добавка Kraton D1101 у бітуми покращує низькотемпературні характеристики бітумів: в 1,5-4 рази збільшується розтяжність в'язучих при 0 °С.

3. Показники розтяжності (дуктильності) при 25 °С з додаванням добавок погіршуються, а при 0 °С – підвищуються у бітумах, модифікованих полімерно активними добавками Calprene C-411, Calprene C-501 та Kraton D1101, тобто покращується низькотемпературна поведінка.

4. Спостерігається значне розшарування модифікованих бітумів при зберіганні. Особливо це стосується бітумів, модифікованих 3 % Calprene C-411 та Calprene C-501. Після ретельного перемішування однорідність відновлюється.

5. Добавка Sasobit є структуруючою високомолекулярною речовиною, на відміну від полімерних модифікаторів типу термоеластопластів, не поліпшує низькотемпературну поведінку в'язучого. Враховуючи, що Sasobit суттєво підвищує температуру розм'якшення, є необхідність в додатковому дослідженні можливості сумісного використання полімерної і структуруючої добавок.

### **Список використаної літератури**

1. Будівельні матеріали. Бітуми дорожні, модифіковані полімерами. Технічні умови – ДСТУ Б В.2.7-135:2007. — К.: Держбуд України, 2007 – 32 с.
2. Бітумы нефтяные. Метод определения растяжимости (с Изменениями N 1, 2). (Бітуми нафтові. Метод визначення розтяжності) – ГОСТ 11505-75.



УДК 330.131.5

## **ЗАСТОСУВАННЯ КОНЦЕПЦІЇ АНАЛІЗУ МЕРЕЖ ПРИ РЕАЛІЗАЦІЇ БУДІВЕЛЬНИХ ПРОЕКТІВ**

### **APPLICATION OF THE CONCEPT NETWORK ANALYSIS IN THE IMPLEMENTATION OF CONSTRUCTION PROJECTS**

**Трач Р.В., к.е.н., (Варшавський університет природничих наук,  
Варшава, Польща)**

**Roman Trach, PhD in Economics, (Warsaw University of Life  
Sciences, Warsaw, Poland)**

У статті досліджено підходи та методи аналізу ефективних організаційних механізмів інтеграції будівельних підприємств. Одним із методів, що знайшли своє використання в будівництві є метод аналізу соціальних мереж. Аналіз мережі підприємств, які реалізують будівельний проект, поряд з договірними відносинами і фінансовими стимулами, дає можливість краще зрозуміти інтегровану систему.

The classic triad "owner-architect-general contractor" are the main participants of traditional projects. They make contracts that regulate the rights and obligations of the parties and establish procedures for solving the entire range of issues during the operation of contractual relations. However, modern projects, especially large ones, require a wide range of participants. A project team consists of the project main stakeholders as follows: owners, architects, engineers, general contractors, main sub-contractors, suppliers, and manufacturers.

Taking into account the large number of project participants, it becomes very important to optimize the cooperation between them. The problems with communication lead to the division of the construction process to the stages, the significant number of changes and non-operating costs, and as a result to the increased project duration and increased costs. The building design and construction industry needs to move towards a better coordination of participants and more collaborative approaches to overcome problems. The problem can be addressed by viewing the construction team as an integrated group of

participants within a network, rather than as a group of participants. The team needs to consist of a cohesive network where members focus on building long term relationships that are transferred from activity to activity.

Relationships can be analyzed between organizations where social and information relationships exist. Network analysis can address coordination and learning within the organization. By mapping the structure of interactions, the researcher is able to identify channels through which information flows between the nodes of the network.

The successful teams show a high degree of connectivity between team members with a high degree of collaboration. The traditional perspective of the project team is a group of participants focusing on a project rather than an integrated group of participants within a network. The networks are the measurable characteristics that affect project efficiency.

The article explores approaches and methods for analyzing effective organizational mechanisms for the integration of construction enterprises. One of the methods that have found their application in construction is the method of Social Network Analysis. Analysis of the network of enterprises implementing the construction project, along with contractual relations and financial incentives, provides an opportunity to better understand the integrated system.

**Ключові слова:** мережа, будівельний проект, Аналіз Соціальних Мереж, SNA.

**Keywords:** network, construction project, Social Network Analysis, SNA.

**Вступ.** На даний час, переважна більшість будівельних проектів реалізується структурами класичного типу: консорціуми, холдинги, концерни. Основними недоліками цих структур є складна система управління, що не дозволяє своєчасно реагувати на дії зовнішнього і внутрішнього середовища. Мінімізація недоліків традиційних структур можлива, в тому числі, за рахунок впровадження нових більш ефективних форм взаємодії підприємств, що може послужити базою для їхнього подальшого розвитку.

У зв'язку з цим, значний інтерес становить дослідження мережевої організаційної структури, основним організаційним

принципом якої є об'єднання в рамках партнерських відносин юридично самостійних підприємств, кожне з яких, реалізуючи власні інтереси, сприяє підвищенню ефективності функціонування всієї мережі.

**Постановка задачі.** Все більш актуальними стають питання дослідження підходів, методів, моделей, що сприяють створенню ефективного організаційно-економічного механізму інтеграції будівельних підприємств у формі мереж. Перевага формування ефективної системи організації взаємодії будівельних підприємств проявляється в появі синергетичного ефекту, обумовленого системними властивостями нової структури, в зростанні ефективності використання наявних ресурсів.

**Результати досліджень.** Так, S. Pryke [1] вказує на складність будівельних проектів і передбачає, що середовище, в якому вони реалізуються, є нелінійним, складним і інтерактивним. Будівельні проекти важко аналізувати з використанням традиційних методів аналізу, таких як структурний аналіз або підходи, засновані на технологічному порівнянні. Автор припускає, що вирішенням проблеми може стати аналіз мереж обміну інформацією. Аналіз мережі підприємств, які реалізують будівельний проект, поряд з договірними відносинами і фінансовими стимулами, дає можливість краще зрозуміти інтегровану систему. Це може привести до повного розуміння систем, складових проекту і допоможе сформулювати теорію соціальної ефективності проектної коаліції. Автор розглядає проект будівництва як мережу відносин і проводить аналогію між мережею будівельних підприємств і соціальною мережею.

P. Chinowsky [2] також досліджує мережі, які притаманні будівельним проектам, і зазначає, що відносини між організаціями можуть бути проаналізовані, в тому середовищі де існують соціальні та інформаційні відносини. Він зазначає, що мережевий аналіз може стосуватися координації та навчання всередині організації. Зіставляючи структуру взаємовідносин, дослідник може ідентифікувати канали, через які відбувається обмін інформацією між вузлами мережі. Дослідження показують, що продуктивність в будівельних проектах залежить в тому числі і від соціальних аспектів всередині команди, включаючи довіру і рівень спілкування. Соціальні аспекти є основою відносин, які розвиваються між учасниками команди. Він також зазначає, що

успішні команди демонструють високий ступінь взаємодії між членами команди разом із значним ступенем співробітництва. Соціальні мережі можуть грати вирішальну роль у визначенні того, як вирішуються проблеми. S.Pryke і P.Chinowsky розглядають Аналіз Соціальних Мереж (*англ. Social Network Analysis, SNA*) як корисний інструмент для дослідження ефективності реалізації проекту і організації будівництва.

Проаналізуємо походження та розвиток аналізу соціальних мереж. С. Dempwolf і L. Lyles [3] стверджують, що всі форми мережевого аналізу виходять з теорії графів, розробленої Ейлером в 1736 році. Важливим етапом у розвитку мережевого аналізу було дослідження Я. Морено в 1930 роках, в якому для опису мережі використовувалися соціограма, що отримала назву SNA. P.Chinowsky, J. Diekmann, і V.Galotti [4] також відзначають, що концепція SNA була введена Морено в 1934 році для представлення моделей міжособистісних відносин. Протягом 1940-1960 років структурні підходи відображали учасників і взаємовідносини як мережі, які можна було аналізувати математично з використанням теорії графів і матричної алгебри. Концепція SNA була введена в середовище групової динаміки в поєднанні з концепцією, що групи або окремі індивіди обмінюються інформацією в ході будь-якої діяльності. Тому будь-яка діяльність вимагає обміну інформацією та знаннями, які можуть бути представлені за допомогою використання соціограм. Мережевий обмін інформацією може бути проаналізований математично і дає можливість дослідникам отримати інформацію про потенційну ефективність та про слабкі сторони групи.

A. Marin and B. Wellman [5] визначають аналіз соціальної мережі як набір соціально значущих вузлів або членів мережі, пов'язаних одним або декількома відносинами. С. Aggarwal [6] дає загальний опис SNA як мережі учасників і відносин, де вузли складаються з учасників, а грані відображають взаємодію між ними. Він зазначає, що соціальні мережі також можуть бути створені з конкретних видів взаємодій в різних спільнотах. С. Butts [7] визначає SNA як міждисциплінарний метод дослідження, метою якого є передбачити структуру взаємовідносин між соціальними суб'єктами і його вплив на інших суб'єктів, в той час як K. Mayer [8] передбачає, що SNA має в своєму арсеналі широкий спектр методів

з використанням дискурсивних і візуальних засобів для вирішення питань соціальних структур.

Знайшли своє використання методи аналізу соціальних мереж і в будівництві. Сучасні дослідження в галузі будівництва з використанням SNA відображають відносини з двох точок зору. S.Pryke [9] розглядає відносини в контексті між організаційних відносин, тоді як P.Chinowsky розглядає внутрішньо організаційні відносини. Однак міжорганізаційні мережі утворені при реалізації будівельних проєктів, в свою чергу складаються із внутрішньо організаційних мереж. P. Chinowsky виділяє дві різні категорії мереж, які можуть бути проаналізовані в будівельних проєктах. Це інформаційно-орієнтовані мережі і соціальні мережі. Інформаційні мережі складаються з мереж зв'язку, інформації та знань. Вивчення відносин в рамках різного рівня мереж може показати, як інформація протікає між суб'єктами всередині організацій під час реалізації проєкту. Автор аналізує інформаційні мережі, засновані на інформації та знаннях, обмін якими відбувається в ході реалізації будівельного проєкту. Він зазначає, що ці мережі є вимірюваними характеристиками і впливають на ефективність проєкту. Він ідентифікує три типи інформаційних мереж. Перший - це мережа зв'язку, яка представляє собою неформальну мережу, що об'єднує команду проєкту. Ці мережі мають важливе значення, оскільки вони можуть активуватися, коли виникають несподівані проблеми. Другий тип - це інформаційна мережа, яка об'єднує учасників мережі, з якими взаємодіє окремий член команди, при виконанні різного роду завдань. У цих типах мереж інформація протікає в двох напрямках. Ці мережі також важливі, оскільки вони впливають на ефективність передачі інформації всередині організації. Третій тип - мережа знань. Мережі знань є важливим компонентом високопродуктивних мереж і є ключовими для інноваційних організацій нового покоління.

Автор вважає, що такого рівня взаємодії важко досягти, поки в мережі не буде встановлений максимальний рівень довіри. Рисунок 1 і 2, показують, відмінності між мережами.

Перша діаграма показує формальну мережу всередині організації, в якій роль учасників прямо пропорційна розміру вузла.

Порівняння проходить з неформальною мережею зв'язку всередині організації.

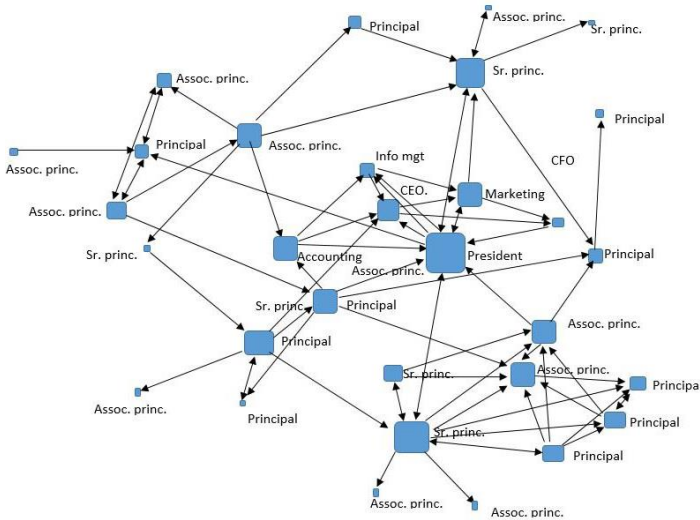


Рис. 1. Формальна мережа в рамках організації

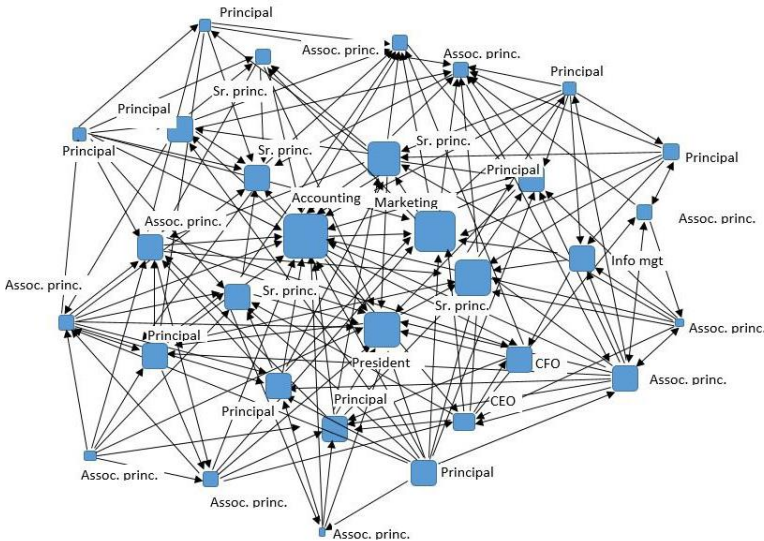
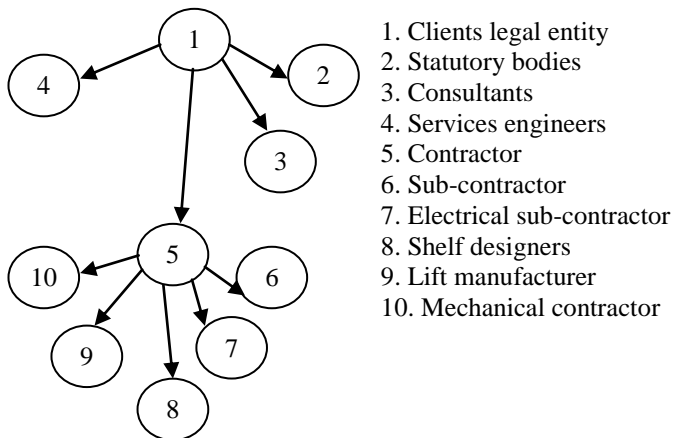


Рис. 2. Неофіційні мережі всередині організації

Моделюється ситуація, при якій учасники мережі звертаються за допомогою або інформацією, яка необхідна для виконання їх роботи до інших учасників мережі. На другому малюнку роль

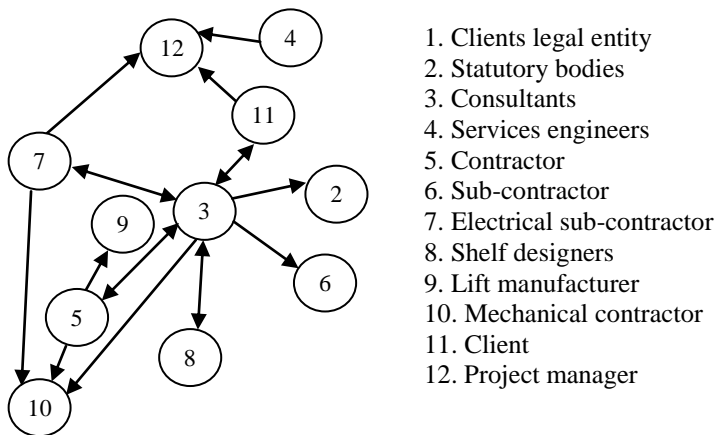
учасників прямо пропорційна розміру вузла і акцентується увага на важливості розуміння неформальної мережі, а саме на процесі поширення інформації в мережі.

В свою чергу S.Рруке аналізує договірні відносини та відносини обміну інформацією всередині мереж.



1. Clients legal entity
2. Statutory bodies
3. Consultants
4. Services engineers
5. Contractor
6. Sub-contractor
7. Electrical sub-contractor
8. Shelf designers
9. Lift manufacturer
10. Mechanical contractor

Рис. 3. Відносини між будівельними організаціями - договірні зв'язки



1. Clients legal entity
2. Statutory bodies
3. Consultants
4. Services engineers
5. Contractor
6. Sub-contractor
7. Electrical sub-contractor
8. Shelf designers
9. Lift manufacturer
10. Mechanical contractor
11. Client
12. Project manager

Рис. 4. Відносини між будівельними організаціями - відносини обміну інформацією

На рисунках 3 і 4 показані дві різні мережі одного і того ж будівельного проекту та відмінності між договірними відносинами і відносинами обміну інформацією. Автор використовує SNA для аналізу різних мережевих аспектів в чотирьох будівельних проектах з використанням традиційних та партнерських відносин. Підхід SNA може виявити переваги реалізації спільних проектів будівництва.

**Висновок.** Отже, враховуючи постійно зростаючі складність та збільшення кількості учасників реалізації будівельних проектів, все більш актуальним стає питання дослідження підходів та методів аналізу ефективних організаційних механізмів інтеграції будівельних підприємств. Одним із методів, що знайшли своє використання в будівництві є метод аналізу соціальних мереж. Аналіз мережі підприємств, які реалізують будівельний проект, поряд з договірними відносинами і фінансовими стимулами, дає можливість краще зрозуміти інтегровану систему.

### **Список використаних джерел**

1. Pryke, S. (2006). Projects as networks of relationships. In S. Pryke, & H. Smyth, *The management of complex projects: a relationship approach* (pp. 213 - 235). Oxford: Blackwell Publishing Ltd.
2. Chinowsky, P. (2011). A network and culture perspective. In P. Chinowsky, & A. Songer, *Organization management in construction* (pp. 41 - 59). Abingdon: Spon Press.
3. Dempwolf, C., & Lyles, L. (2012). The uses of social network analysis in planning: a review of the literature. *Journal of planning literature*, 3-21.
4. Chinowsky, P., Diekmann, J., & Galotti, V. (2008). Social network model of construction. *Journal of construction engineering and management*, 804-812.
5. Marin, A., & Wellman, B. (2011). Social network analysis: an introduction. In J. Scott, & P. Carrington, *The Sage handbook of social network analysis* (pp. 11-25). London: Sage.
6. Aggarwal, C. (2011). *Social networks data analytics*. New York: Kluwer Academic Publishers.
7. Butts, C. (2008). Social network analysis: a methodological introduction. *Asian journal of social psychology*, 13 - 41.
8. Mayer, K. (2012). Objectifying social structures: network visualization as means of social optimization. *Theory & Psychology*, 162-178.
9. Pryke, S. (2012). *Social network analysis in construction*. Oxford: Wiley-Blackwell.



УДК 666.692

**СИЛУРОПОР – ШТУЧНИЙ ПОРИСТИЙ ЗАПОВНЮВАЧ ІЗ  
ТЕХНОГЕННОЇ СИРОВИНИ ГІРНИЧО-МЕТАЛУРГІЙНИХ  
ПІДПРИЄМСТВ КРИВОГО РОГУ**

**SILUROPOR AS THE ARTIFICIAL POROUS CONCRETE  
AGGREGATE MADE OF THE TECHNOGENIC RAW  
MATERIALS OF THE ORE MINING AND SMELTING  
ENTERPRISES IN KRYVYI RIH**

**Хільченко О.П., ст. викладач (КНУ, м. Кривий Ріг)**

**Khylchenko A.P., Senior Lecturer (Krivoy Rog National University,  
Krivoy Rog city)**

**Анотація.** Розглянуті питання виготовлення штучного пористого заповнювача - силуропору на основі техногенних сировинних матеріалів гірничо-металургійних підприємств Кривого Рогу.

**Abstract.** Production of building materials, which are made of the industrial wastes (that is, of the technogenic raw materials), is the issue of great importance in Kryvyi Rih as the enterprises of the ore mining and smelting industry transfer more than 60 million tons of the overburden rock and cleaning rejects to dump pits and tailing dumps per annum. Many thousand hectares of fertile land are being lost every year, and these processes do much harm to the environment of the region. Therefore, involvement of the industrial wastes to further processing with the purpose of production of the artificial porous concrete aggregates is the actual problem.

The goal of this investigation is to develop the artificial porous concrete aggregate (silyropor), which must be made on the basis of the technogenic raw materials of ore mining and smelting enterprises in Kryvyi Rih provided that this artificial porous concrete aggregate will both high quality and low energy intensity parameters. Standard and special methods were used in the course of these investigations in order to determine properties of various components and composition of the

charge material as well as composition of the raw particles of the concrete aggregate.

In the course of selection of relevant composition of the charge material, silicate technogenic raw materials as well as clay and shale materials of the overburden rock were used as these materials are not utilized in industrial production. Use of the finely ground materials in the charge material (fineness: up to 1 mm) did make it possible to receive the raw particles of the concrete aggregate which had a satisfactory quality. In order to increase strength of the raw particles, we have added up to 2,5% of the activated clay technogenic materials. In this case, it was possible to achieve increase of compression strength of the raw particles up to 10,1 N approximately, while their impact strength will be increased by 5 times.

These investigations have made it possible to develop new method of manufacture of the concrete aggregate for concretes with the help of such components of the charge material, which differ from the already known components and which make it possible to manufacture siluropor, which has sufficiently high quality and low energy intensity parameters.

**Ключові слова:** силуропор, спосіб виготовлення силуропору, склад шихти, сировинні гранули силуропору.

**Keywords:** siluropor, method of manufacture of the siluropor, composition of the charge material, raw particles.

**Вступ.** Сучасний напрямок у виробництві будівельних конструкцій ґрунтується на застосуванні легких і полегшених бетонів, для виробництва яких необхідно використовувати легкі заповнювачі [1].

Сьогодні будівельні матеріали і виробни виготовляють, в основному, з природної сировини і рідше з побічних продуктів промисловості [2]. Проте, щорічно здобич у великих кількостях сировини за наявності взаємозамінних техногенних відходів інших галузей промисловості погіршує екологічну обстановку. Техногенні відходи – це відходи виробництва, які шкідливо впливають на життєдіяльність людини та навколишнє середовище [3].

У Криворізькому залізорудному басейні поряд з видобутком багатой залізної руди великий розвиток отримало використання бідних руд шляхом їх збагачення і агломерації. Збагачення залізних

руд гірничо-збагачувальними комбінатами (ГЗК) супроводжується утворенням великої кількості відходів до 50 ... 55% від їх початкової маси. Щорічно складається в сховища до 60 млн.  $m^3$  відходів збагачення. В цілому, з початку експлуатації ГЗК, в хвостосховищах Кривбасу накопичено близько 1,5 млрд.  $m^3$  відходів збагачення. Ці відходи погіршують екологічну ситуацію на Криворіжжі та їх можна розглядати як штучно створену сировинну базу для будівництва та виготовлення будівельних матеріалів [4].

Використання відходів гірничо-металургійної промисловості для виробництва будівельних матеріалів в тому числі і заповнювачів для бетону є актуальним, так як розширює сировинну базу та покращує екологію [5].

**Аналіз останніх досліджень та публікацій.** В даний час існує значна кількість технологій виготовлення штучних пористих заповнювачів. А так же значна кількість рекомендованих складів шихти для їх виготовлення, в тому числі і з використанням відходів гірничо-збагачувальних комбінатів [6].

Аналіз відомих технологій отримання штучних пористих заповнювачів і складів шихти для їх приготування показав, що отримані в даний час по відомих технологіям і з відомих шихт легкі наповнювачі мають цілу низку недоліків. Зокрема, або одержувані наповнювачі не в повній мірі відповідають сучасним вимогам, або технологія їх отримання досить складна і малоефективна внаслідок високої енергоємності [7].

**Мета та завдання.** Метою дослідження є отримання штучного пористого заповнювача виготовленого на основі техногенної сировини гірничо-металургійних підприємств Кривого Рогу.

Звідси випливають наступні завдання досліджень:

- визначити вплив компонентів шихти для виготовлення штучного пористого заповнювача з техногенної сировини на його фізико-механічні властивості;
- встановити взаємозв'язок між складом та властивостями компонентів шихти для виготовлення штучного пористого заповнювача та процесом термообробки;

**Результати досліджень.** З огляду на викладене, в даний роботі поставлена мета отримання легких заповнювачів на основі відходів техногенної сировини і розробка способу їх отримання з максимальною економією енергоресурсів.

Дослідження і розробку технології виробництва штучного пористого заповнювача для бетону проводили в лабораторії наповнювачів і бетонів кафедри технології будівельних виробів та конструкцій Криворізького національного університету.

Для підбору складу шихти використовували силікатну техногенну сировину та глинисто-сланцеві розкритні породи кар'єрів, які не мають промислового використання. Застосування тонкоподрібнених матеріалів в шихти дозволило отримати сирі гранули заповнювача задовільної якості (таб. 1).

Введення в шихту менше 25% подрібненої сланцевої сировини не дозволяє отримати досить міцні гранули пористого заповнювача, особливо по ударних навантаженнях. На якісні показники сирих гранул силуропору робить позитивний вплив добавка в шихту 1 ... 2% активованої глинястої техногенної сировини.

Таблиця 1

Якісні показники сирих гранул різних складів

Шифр складу	Масова частка вологи, %	Міцність	
		при стиску, Н/ок	при ударі, раз
1	8,9	5,9	3
2	8,85	7	3
3	8,8	9	4
4	8,75	10,8	5
5	8,95	11,2	6
6	9,1	12,1	6

На рис. 1.1-1.6 приведені залежності властивостей сирих гранул і отриманого з них штучного пористого заповнювача силуропору від крупності сировинного порошку, кількості та щільності змочувального розчину, часу грануляції та кількості складових шихти.

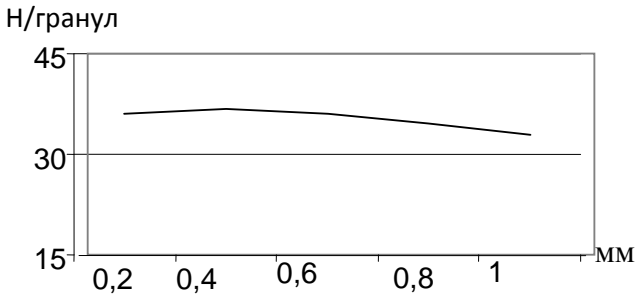


Рис. 1.1. Залежність міцності вологих сировинних гранул від крупності сировинного порошку, мм

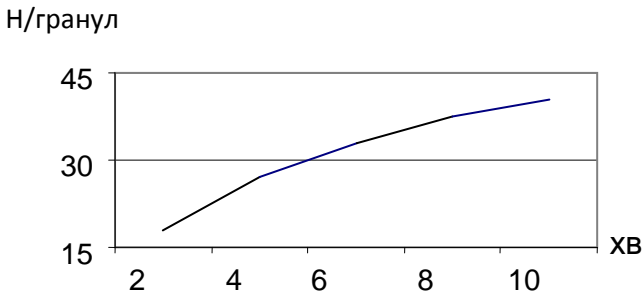


Рис. 1.2. Залежність міцності сировинних гранул від часу грануляції техногенної стровини, хв.

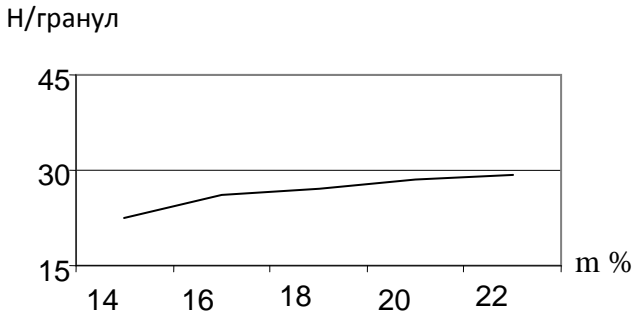


Рис. 1.3. Залежність міцності сировинних гранул від кількості змочувального розчину, m %

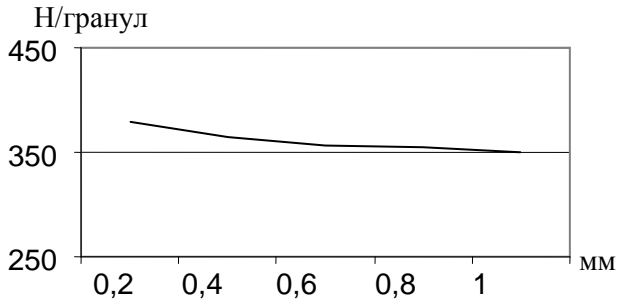


Рис.1.4 . Залежність міцності сухих сировинних гранул від крупності техногенної сировини, мм

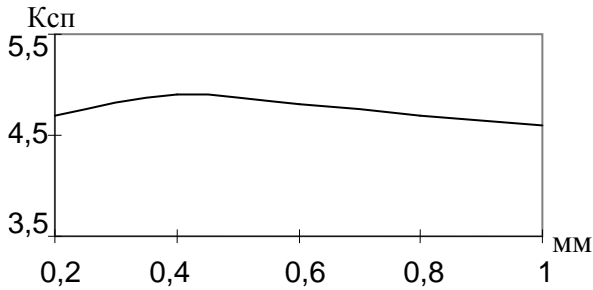


Рис.1.5 . Залежність коефіцієнта спучення сировинних гранул від крупності техногенної сировини, мм

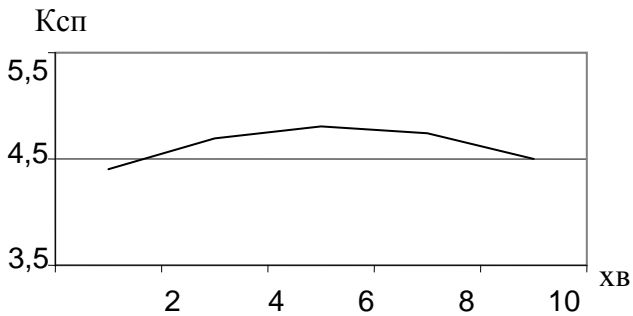


Рис.1.6 . Залежність коефіцієнта спучення сировинних гранул від часу грануляції, хв

Так як процес подрібнення сировинних матеріалів, особливо сланцевої техногенної сировини, досить енергоматеріалоємкий, були проведені дослідження впливу крупності цієї сировини на процес виготовлення сировинних гранул та їх міцності (табл. 2)

Таблиця 2  
Зміна міцності сирих гранул при різній крупності вспучуючого компоненту шихти

Масова частка (%) класів, мм			Масова частка вологи, %	Міцність	
3 - 1	1 - 0,1	0,1 - 0,01		при стиску, Н/ок	при ударі, раз
0,0	0,0	100,0	9,1	10,1	5
10	60	30	9,3	7,5	4
30	65	5	9,2	6,8	4
0,0	100,0	0,0	9,0	9,8	6
100,0	0,0	0,0	9,0	4,8	4

Найкращі показники для сировинної суміші по виготовленню сирих гранул силуропору, що складається наполовину з силікатної техногенної сировини і наполовину зі сланцевої техногенної сировини, отримані при крупності останніх менше 0,1 мм. Для збільшення міцності сирих гранул при крупності сланцевої техногенної сировини 1...0,1 мм добавляли у шихту 1,5% активованої глинистої техногенної сировини при цьому їх міцність при стисканні досягала - 10,2 Н/ок та міцність при ударі - 6 разів. Збільшення кількості сланцевої техногенної сировини крупності 3 ... 1 мм несприятливо відбивається на міцності сирих гранул. Тому максимально допустиму крупність сланцевої техногенної сировини обмежили величиною в 1 мм.

Процес термічної обробки сировинних гранул силуропору складається з наступних операцій: сушка сирих гранул, їх нагрівання до температури спучування, витримка при температурі спучування і охолодження.

Сушка сирих гранул при виробництві штучного пористого заповнювача силуропору виконувалась традиційним методом - спочатку сушка продувом, а потім подальший перехід на реверсивну сушку. У процесі досліджень встановлено, що в порівнянні з керамзитовими гранулами тривалість процесу сушки сирих гранул силуропору при температурі 270 ... 320°C збільшується.

З метою поліпшення процесу сушіння сирих гранул штучного пористого заповнювача і зниження його тривалості практично до звичайного рівня (10 ... 15 хв) збільшили введення в усі склади шихт до 2 ... 2,5% глинистої активованої техногенної сировини.

У процесі розробки виготовлення силуропору досліджувався повільний режим нагріву (швидкість підвищення температури до 50°C/хв), що дало змогу отримати заповнювач насипною щільністю (400...500 кг/м<sup>3</sup>).

Дослідження процесу спучування матеріалу свідчать про досить невисокий температурний рівень процесів для досліджених складів шихт.

Значний вплив на швидкість поризації надає склад теплоносія, що подається в піч. Зниження співвідношення до (1: 0,8) дозволяє значно покращити показник насипної щільності готового заповнювача.

Охолодження пористого заповнювача вимагає більшого на 35 ... 40% часу, внаслідок зменшення товщини шару, якщо термічна обробка проводиться на конвеєрних машинах. При використанні для термічної обробки трубчастої обертової печі процес охолодження нічим не відрізняється від виробництва керамзиту.

Структурні особливості гранул заповнювача із техногенної сировини інтегральна макропористість, розподіл пор по розмірам, ширина перегородок пор, а також визначення фазового складу заповнювача цього виду досліджувались методом світової мікроскопії і методом рентенофазного аналізу.

**Висновки та перспективи подальших досліджень.** Виконані дослідження дозволили розробити спосіб виробництва штучного пористого заповнювача для бетону – силуропору із техногенної



сировини гірничо-металургійних підприємств Кривого Рогу. Даний спосіб і використані компоненти шихти відрізняються від відомих і забезпечують отримання легкого заповнювача - силуропору досить високої якості із зниженими енерговитратами.

Проведені дослідження дали змогу встановити крупність сировинного порошку, часу його грануляції на властивості сировинних гранул штучного пористого заповнювача - силуропору та встановити оптимальні їх значення :

- міцність сировинних гранул при стисканні – 10,2 Н/ок та міцність при ударі - 6 разів.

- сировинні матеріали повинні бути подрібнені до частинок розміром 1 мм;

### **Література**

1. Симонов М.З. Основы технологии легких бетонов. [Текст]/ М.З. Симонов// - М.: Стройиздат, 1993. – 581с.
2. Кривенко П.В. Заповнювачі для бетону: [Підручник] / П.В. Кривенко, К.К. Пушкарьова, М.О. Кочевих. – К.: ФАДА ЛТД, 2001. – 399 с.
3. Барышников В.Г. Вторичные материальные ресурсы горной металлургии: [Справочник] / В.Г. Барышников, Г.И. Пашков и др. – М.: Экономика, 1986. – 344 с.
4. Онацкий С.П. Производство керамзита [Текст] / С.П. Онацкий // – М.: Стройиздат, 1987. – 333 с.
5. Шишкин А.А. Поризованные бетоны для ремонта строительных конструкций: Монография [Текст] / А.А. Шишкин, Ю.И. Чабан. – Кривой Рог: «Минерал», 2005. – 160 с.
6. Комиссаренко Б.С. Керамзитобетон для эффективных ограждающих конструкций [Текст] / Б.С. Комиссаренко, А.Г. Чикнорьян. – Самара: СамГАСА, 2003. – 134 с.
7. Макридин Н.И. Искусственные пористые заполнители и легкие бетоны: учеб. пособие / Н.И. Макридин, И.Н. Максимова. – Пенза: ПГУАС, 2013. – 324 с.

УДК 624.012.25

## **ЗЧЕПЛЕННЯ МЕТАЛЕВИХ ТА КОМПЗИТНИХ СТЕРЖНІВ З ВАЖКИМ БЕТОНОМ**

### **ASSEMBLY OF METAL AND COMPOSITE STEEL WITH HARD CONCRETE**

**Чапук О.С., к.т.н, доц., Гришкова А.В., асп., Кислюк Д.Я., к.т.н, доц., Задорожнікова І.В. к.т.н, доц., Пахолюк О.А. к.т.н, доц. (Луцький національний технічний університет, м. Луцьк)**

**Chapyuk O., Ph.D., Assoc., Grishkova A., PhD student., Kysliuk D., Ph.D., Assoc., Zadorozhnikova I., Ph.D., Assoc., Pakholiuk O., Ph.D., Assoc. (Lutsk National Technical University, Lutsk)**

Наведено експериментальні дослідження випробувань зчеплення металевої арматури та композитної склопластикової з важким бетоном за балковим методом RILEM-CEB-FIP, досліджено розподіл дотичних напружень в контактному шарі бетону з арматурою та виконано порівняльний аналіз поведінки арматурного стержня в бетоні в дослідних зразках сталевий арматури серповидного профілю та композитної склопластикової.

Experimental researches of testing the adhesion of the steel crescent-shaped rebar and a composite fiberglass rebar with heavy concrete by the RILEM-CEB-FIP beam method were conducted. The essence of this method is that during the tests were measured movements of the free ends of the rebar, located at the ends of the beams, which had a rectangular cross section. Each of the beams consists of two halves which are joined in the stretched zone with the rebar  $d=16\text{mm}$  for the steel crescent-shaped profile and  $d=10\text{mm}$  for composite fiberglass rebar (because the tensile strength of fiberglass rebar approximately is 25% higher than metal). In the compressed area are used two embedded parts and the metal cylinder. In each of the halves of beam the rod has grip with concrete in  $10d$  ( $d$  is the rebar diameter), in other areas there is no grip, because the reinforcing bar is placed in a plastic tube. Beams tested by two concentrated forces, the distance between them are 400mm. Loads on the tested samples are applied in steps of 5 kN. The movement of the free ends of the studied reinforcing rebar was measured by a dial indicator with a scale division of 0.001 mm. In the beams at each step of

the load, the longitudinal deformations of the rebar recessed in concrete were measured using strain gauges. The distribution of tangential stresses in the contact layer of concrete with reinforcing rebar in anchoring zones of 10 d length, each of which is divided into separate sections, is investigated. At each it section in the rebar, the force is applied to the concrete, which is passed to the concrete due to the occurrence of the stresses of the grip and to the subsequent parts of the rebar (applies only to the sites located in the anchoring zones). According to the average tension stresses, in each section the diagrams of their distribution along the length of anchoring of the reinforcing rebar in concrete for various loading levels are constructed. A comparative analysis of the behavior of a reinforcing rebar in concrete in experimental samples is performed steel crescent-shaped rebar and composite fiberglass reinforcement.

Ключові слова: арматура серповидного профілю, композитна склопластикова арматура, важкий бетон, балковий метод RILEM-CEB-FIP, зчеплення, дотичні напруження, тензорезистори, тензометрична станція

Key words: crescent-shaped reinforcement, composite fiberglass reinforcement, heavy concrete, RILEM-CEB-FIP beam method, clutch, tensile stresses, strain gauge, strain gauge station

**Вступ.** Залізобетонні конструкції є найбільш поширеними в промисловому, цивільному та гідротехнічному будівництві. Сталева арматура завдяки здатності сприймати великі, в порівнянні з бетоном, розтягувальні зусилля стала основною частиною залізобетонних конструкцій, що працюють на розтяг та на згин. Бетон в свою чергу сприймає стискаючі навантаження на конструкцію та забезпечує довготривале збереження арматури в умовах впливу агресивного середовища. В сучасній світовій практиці поряд з традиційною металевою арматурою все більш широке застосування знаходить композитна неметалева арматура, яка застосовується в конструкціях, що експлуатуються в умовах агресивного середовища.

**Аналіз останніх досліджень.** В останні роки для виготовлення залізобетонних конструкцій широко розпочали використовувати арматурний прокат серповидного профілю згідно з ДСТУ 3760:2006

[1]. Прокат класу А500С рекомендується для використання в якості як ненапруженої, так і для попередньо напруженої арматури.

В Україні освоєно виробництво неметалевої композитної арматури [2]. Для більш широкого її застосування в будівництві необхідні цілеспрямовані експериментальні дослідження зчеплення з бетоном, міцності, жорсткості та тріщиностійкості конструкцій.

**Постановка мети і задач досліджень.** Сили зчеплення створюють у найближчому до арматури бетоні складний напружено-деформований стан [3]. Цей стан призводить до розподілу навантажень по осі арматури, внаслідок яких поздовжні зусилля по арматурі стають змінними по всій довжині стержня. Згідно проведених експериментальних досліджень зчеплення важкого бетону зі сталевую арматурою серповидного профілю та склокомпозитною, в даній статті ставиться задача порівняти напружено-деформовані стани зчеплення обох видів арматури з бетоном в представлених зразках-балках, випробуваних на згин за балковим методом RILEM/CEB/FIP.

**Методика досліджень.** Експериментальні дослідження випробування бетонних балок здійснювались балковим методом RILEM/CEB/FIB на згин (рис. 1).

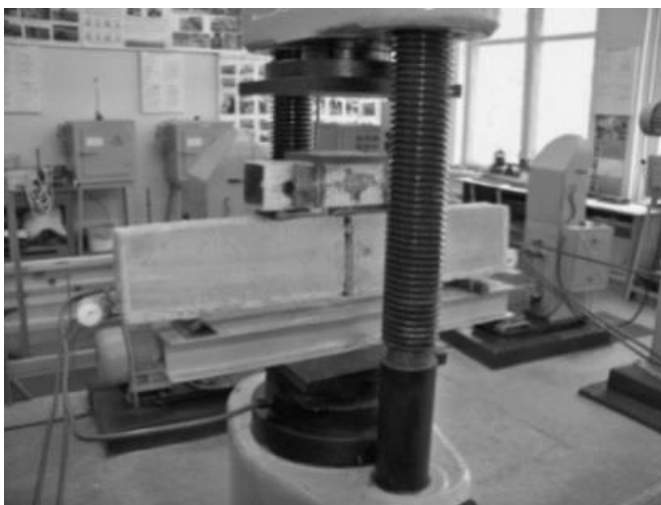


Рис. 1. Загальний вигляд випробування бетонних балок

Суть цього методу в тому, що в процесі випробувань вимірюються переміщення вільних кінців досліджуваного стержня, розташованих на торцях балок.

Для дослідження обраний бетон класу С20/25. Дослідні зразки-балки довжиною 1230мм мали прямокутний поперечний переріз розміром 120x220мм. Балка складається з двох половинок, які з'єднані в розтягнутій зоні арматурним стержнем діаметром  $d=16\text{мм}$  для металеві арматури та  $d=10\text{мм}$  для композитної (оскільки міцність на розрив склопластикової арматури приблизно на 25% більша ніж металеві). В стиснутій зоні використано шарнір у вигляді двох закладних деталей та металевим циліндром між ними. В кожній з половинок балки стержень має зчеплення з бетоном довжиною  $10d$  ( $d$  – діаметр стержнів), на інших ділянках зчеплення відсутнє, так як арматурний стержень поміщений у пластикові трубки. Конструкція балок наведена на рис. 2.

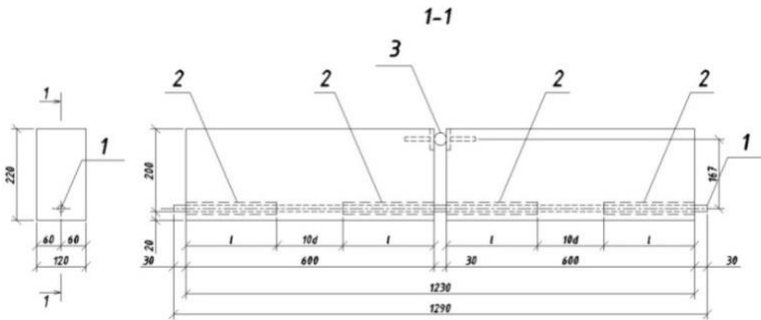


Рис. 2. Конструкція дослідного зразка - бетонної балки:

- 1 – арматурний стержень;
- 2 – пластикова трубка; 3 – сталевий циліндр

Балки випробовувались двома зосередженими силами, відстань між якими становила 400мм. Навантаження дослідних зразків здійснювалось ступенями по 5 кН. В балках на кожному ступені навантаження вимірювали поздовжні деформації стержня, заробленого в бетон, за допомогою тензорезисторів.

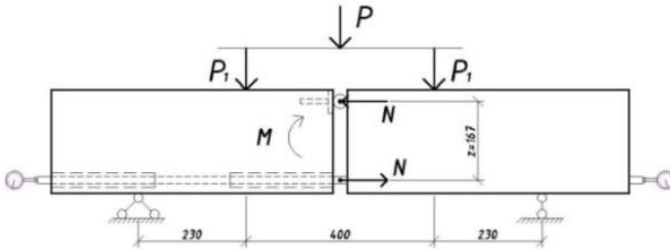


Рис. 3. Схема випробувань бетонних балок

**Результати досліджень.** Під час випробувань зразка – бетонної балки Б1 за допомогою тензорезисторів вимірювалися деформації арматурного стержня  $\varepsilon_{si}$ , які виникають всередині довжини стержня, тобто в точках  $i - 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9$  (Рис. 4).

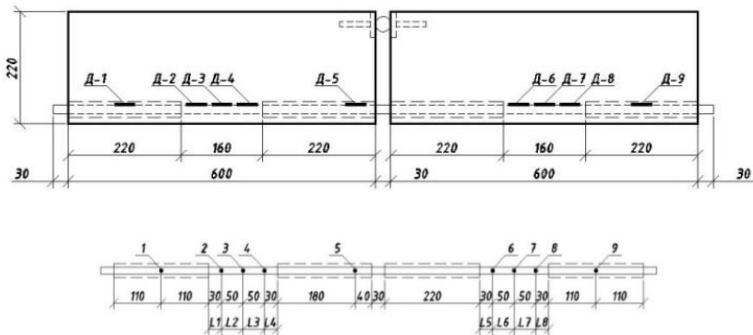


Рис. 4. Схема розташування тензорезисторів у дослідному зразку – бетонній балці Б1

Для того, щоб оцінити розподіл дотичних напружень зчеплення металевого стержня з бетоном [4], детальніше розглядаються ділянки анкерування (довжиною  $10d$ ), на яких розміщені точки  $i - 2, 3, 4, 6, 7, 8$  для Б1. Ці точки розділили зони анкерування стержня на 8 ділянок. Прийнято, що на кожній  $i$ -тій ділянці в стержні діє зусилля  $f_{ydi} A_s$ , яке передається на бетон внаслідок виникнення напружень зчеплення та на наступні ділянки стержня (стосується лише ділянок, розташованих в зонах анкерування). У цьому

випадку дотичні напруження зчеплення в середині ділянок  $\tau_{ci}$  можна визначити за формулою (1):

$$\tau_{ci} = \frac{(f_{ydi} - f_{yd,i-1}) \cdot A_s}{\pi d l_i}, \quad (1)$$

де,  $f_{ydi}$  і  $f_{yd,i-1}$  - напруження в стержні на  $i$ -тій та попередніх ділянках;

$l_i$  - довжина  $i$ -тої ділянки.

Середні дотичні напруження зчеплення арматурного стержня з бетоном  $\tau_c$  можна визначити за формулою (2):

$$\tau_c = \frac{(f_{yd}) \cdot A_s}{\pi d l}, \quad (2)$$

де,  $f_{yd}$  - напруження в стержні;

$l$  - довжина стержня.

При руйнуванні балки Б-1 ( $P_u = 55$ кН) максимальні дотичні напруження зчеплення досягли найбільшого значення  $\tau_{cm} = 9,3$  МПа в лівій частині зразка, а в правій -  $\tau_{cm} = 8,5$  МПа. Звичайно, руйнування балки відбулося через недостатню довжину анкерування стержня  $10d$ , а для розриву арматури необхідна довжина не менше  $25d$ .

Що стосується зразка – бетонної балки Б2 (див. рис. 5), яка армована склопластиковою арматурою  $\varnothing 10$ АКС800 [5], то руйнівне навантаження склало  $P = 34$ кН, що на 38% менше граничного навантаження балки Б1.

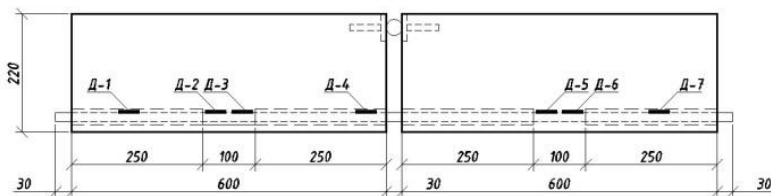


Рис. 5. Схема розташування тензорезисторів в дослідному зразку – бетонній балці Б2

Перед руйнуванням балки Б-2 при граничному навантаженні  $P_u = 34\text{кН}$  максимальні дотичні напруження зчеплення арматури та бетону досягли найбільшого значення  $\tau_{cm} = 9,75\text{МПа}$  в лівій зоні анкерування (Д-2), а в правій -  $\tau_{cm} = 9,15\text{МПа}$  (Д-6).

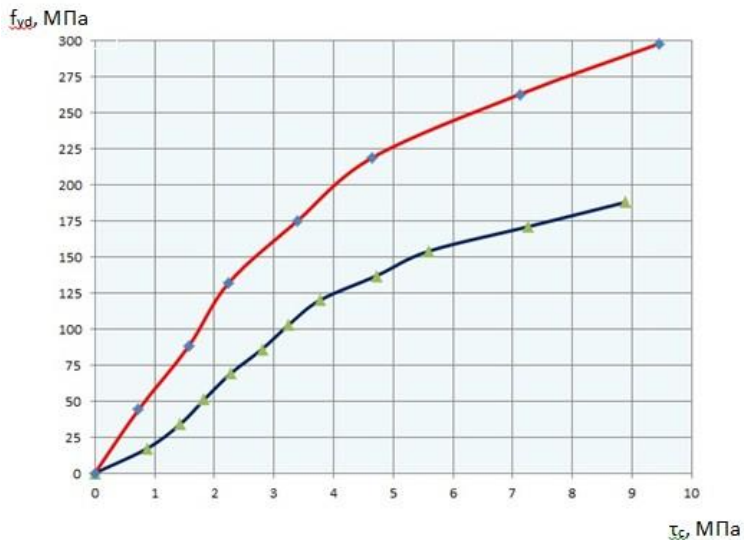


Рис. 6. Залежність середніх значень максимальних дотичних напружень зчеплення арматурних стержнів з бетоном  $\tau_c$ , МПа обох ділянок зчеплення балок Б-1 та Б-2 від напружень в стержнях  $f_{yd}$ , МПа —■— Ø16A500C; —◆— Ø10AKC600

Для проведення порівняння напружено-деформованих станів в дослідних зразках-балках Б1 та Б2 дані щодо отриманих дотичних напружень зведено до таблиці 1.

Створені графіки залежностей середніх значень максимальних дотичних напружень зчеплення арматурних стержнів з бетоном  $\tau_{ср}$ , МПа обох ділянок зчеплення балок Б-1 та Б-2 від напружень в стержнях  $f_{yd}$ , МПа (рис. 6).



Таблиця 1

Значення дотичних напружень зчеплення  $\tau_c$ , МПа  
металевої арматури Ø16A500C та склопластикової Ø10AKC600  
з важким бетоном

Рівень навантаження, кН	Дотичне напруження $\tau_c$ , МПа зчеплення металевої арматури Ø16A500C з бетоном			Дотичне напруження $\tau_c$ , МПа зчеплення склопластикової арматури Ø10AKC800 з бетоном		
	$\tau_{\text{ліве}}$ , МПа	$\tau_{\text{праве}}$ , МПа	$\tau_{\text{сєр}}$ , МПа	$\tau_{\text{ліве}}$ , МПа	$\tau_{\text{праве}}$ , МПа	$\tau_{\text{сєр}}$ , МПа
5	1,14	0,6	0,87	0,88	0,59	0,73
10	1,51	1,35	1,43	1,71	1,44	1,57
15	1,54	2,12	1,83	2,51	1,98	2,24
20	2,04	2,50	2,27	3,77	3,01	3,39
25	2,31	3,29	2,80	4,86	4,44	4,65
30	3,49	3,01	3,25	7,14	7,10	7,12
34				9,75	9,15	9,45
35	4,67	2,88	3,77			
40	4,97	4,47	4,72			
45	6,92	4,27	5,59			
50	8,31	6,19	7,25			
55	9,30	8,49	8,90			

Провівши аналіз кожної з ділянок зчеплення видно, що при збільшенні навантаження бетонної балки на ділянках контакту арматури з бетоном спостерігається переміщення дотичних напружень від початкової до кінцевої зони анкерування і максимальні значення складають в середньому в металевій арматурі Ø16A500C -  $\tau_c = 8,9$  МПа, а в композитній Ø10AKC600 -  $\tau_c = 9,45$  МПа, що на 9,4% більше.

Як видно з графіка на рисунку 6, значні нормальні напруження в композитній арматурі не призводять до збільшення дотичних. Це пов'язано з меншою деформативністю композитної арматури, хоча максимальні дотичні напруження зчеплення з бетоном всього на 9,4% більші порівняно з металевою. Для більш детального порівняння необхідно ще провести додаткові експериментальні дослідження.

## **Висновки**

1. Розподіл дотичних напружень зчеплення як металевої, так і композитної арматури з бетоном однаковий та має параболічний вигляд.

2. При збільшенні навантаження бетонної балки на ділянках контакту арматури з бетоном спостерігається переміщення дотичних напружень зчеплення з бетоном від початкової до кінцевої зони анкерування і для металевої арматури Ø16A500C вони на 9,4% менші ніж для склопластикової Ø10AKC800.

3. Граничні дотичні напруження на всій ділянці зчеплення у склопластикової арматури Ø10AKC800 з бетоном більші на 38% порівняно з металевою арматурою серповидного профілю Ø16A500C.

1. ДСТУ 3760:2006. Прокат арматурний для залізобетонних конструкцій. 2. Климов Ю.А. Экспериментальные исследования сцепления композитной неметаллической арматуры с бетоном. – [Електронний ресурс] / Ю.А. Климов, О.С. Солдатченко, Д.А. Орешкин / Режим доступу: [http://frp-rebar.com/frprebar\\_test\\_adhesion\\_concrete.html](http://frp-rebar.com/frprebar_test_adhesion_concrete.html). 3. Бабич Є.М. Чапюк О.С. Вавринюк Б.А. Напружено-деформаційний стан контакту з бетоном арматури серповидного профілю / Містобудування та територіальне планування: Науково-технічний збірник. – Київ: КНУБА, 2011. – Випуск 40. – С. 74-82. 4. Чапюк О.С., Гришкова А.В. Характеристика напружено-деформованого стану зчеплення з бетоном арматури серповидного профілю / Містобудування та територіальне планування: Науково-технічний збірник. – Київ: КНУБА, 2011. – Випуск 54. – С.7. 5. Чапюк О.С., Кислюк Д.Я., Гришкова А.В., Орешкін Д.О. Напружено-деформований стан зчеплення композитної склопластикової арматури з важким бетоном / Сучасні технології та методи розрахунків у будівництві. – Луцьк: ЛНТУ, 2015. – Випуск 4. – С.232-239.

УДК 691.322

**БЕТОННІ ВИРОБИ ДЛЯ РЕКОНСТРУКЦІЇ ТА  
ІНЖЕНЕРНОГО БЛАГОУСТРОЮ МІСЬКИХ ТЕРИТОРІЙ**

**CONCRETE PRODUCTS FOR RECONSTRUCTION AND  
ENGINEERING IMPROVEMENT OF URBAN AREAS**

**Чепурна С.М., к.т.н., ст. викладач (Харківський національний університет міського господарства імені О.М. Бекетова),  
Жидкова Т.В., к.т.н., доцент (Харківський національний університет міського господарства імені О.М. Бекетова), Чепурна М.Є., ст. 4 курсу  
ПЦБ (Харківський національний університет міського господарства імені О.М. Бекетова)**

**Chepurna S.M., PhD, Senior lecturer Associate (O.M. Beketov National University of Urban Economy in Kharkiv), Zhydkova T.V., PhD, Associate Professor O.M. Beketov National University of Urban Economy in Kharkiv), Chepurna M.E., student 4 courses Civil Engineering (O.M. Beketov National University of Urban Economy in Kharkiv)**

У статті наведені результати комплексних досліджень бетонів з добавкою високодисперсного кальциту та оксиду заліза (охри) на естетичність, довговічність та експлуатаційні властивості. Розроблено склад бетону яскравого жовтого кольору для виготовлення елементів універсального дизайну.

The article presents the results of complex studies on the concrete with the addition highly dispersed calcite and iron oxide (ocher) on the aesthetics, durability and performance properties. The most important aspect of the future product, used for engineering improvement is its color range, because bright objects attract more attention than buildings made of gray cement. To obtain different colors of concretes, various mineral and artificial colors are used - pigments. At the same time, pigments must meet certain requirements: they must be resistant in the alkaline environment of cement, resistant to the action of sunlight, have low cost and meet the requirements of ecology. Artificial pigments do not always meet these requirements. Therefore, for the study were taken mineral, in particular iron oxide (ocher) - a yellow pigment. But for

obtaining bright decorative concretes, white cement is used, which has a high cost, and the use of Portland cement for making such products gives them muted shades of primary colors and a dirty gray color.

The goal is to obtain concrete that is most appropriate in composition, structure and properties for the manufacture of products for engineering improvement, given that such products are operated in the open air, exposed to atmospheric factors (humidity variation, insolation, low temperatures, etc.). One of the ways to obtain decorative concrete with desired properties is the development of concrete mixtures on Portland cement and the use of natural carbonate additives. The authors are conducting research on the development of compositions of decorative concretes with the addition of highly dispersed chalk and color pigments. The results of the study showed that the introduction of highly dispersed calcite in an amount of 10–20% increases frost resistance, corrosion resistance, water resistance, and concretes get a bright color. The composition of concrete using iron oxide (ocher) has been developed. The concrete has a bright yellow, which can be actively used for elements of universal design.

Ключові слова: бетон, пігмент, охра, морозостійкість, корозійна стійкість, тактильні смуги.

Keywords: concrete, pigment, ocher, frost resistance, corrosion test, universal design elements.

**Вступ.** За останні роки різко змінилося ставлення до ландшафтної архітектури та елементів зовнішнього благоустрою. Зріс інтерес до нових конструктивних рішень, сучасних матеріалів, стилістики оформлення міського простору.

До елементів інженерного благоустрою міських територій належать покриття вулиць, площ, набережних, підпірні стінки, сходи, огорожі, вуличні меблі, альтанки, садово-паркові скульптури, альтанки, лави, фонтани, вазони, паркани, стовпи ліхтарів, а також візуальні елементи універсального дизайну – попереджувальні смуги та тактильні інформаційні покажчики.

Найважливішим аспектом майбутнього виробу, що використовується для інженерного благоустрою, є його кольорова гамма, адже яскраві об'єкти привертають більше уваги, ніж споруди, що виконані із сірого цементу. Для цього до складу бетонної суміші вводять різноманітні мінеральні барвники –

пігменти. Пігменти повинні відповідати певним вимогам: мати стійкість до лужного середовища цементу, до дії сонячного світла, дії кисню повітря, мати відносно невисоку вартість і відповідати сучасним вимогам екології [1, 2, 3].

Основним матеріалом, що використовується для виготовлення елементів інженерного благоустрою, на даний час є бетон. За оцінками фахівців, майже половина малих архітектурних форм виготовляється з цього матеріалу. Застосування бетону при створенні текстурних ефектів і складних форм значно дешевше, ніж при використанні каменю, плитки або мармуру, при цьому бетон не поступається цим матеріалам за якістю і довговічністю.

Основними вимогами до бетонних сумішей, які використовуються для виготовлення декоративних виробів, є: здатність до ущільнення у формах складної конфігурації; наявність високих показників атмосферної, корозійної стійкості та морозостійкості. На відміну від інших матеріалів бетон при додаванні пігментів може бути розфарбований в різні кольори [1, 2, 3].

Основним недоліком бетонів на портландцементі є неможливість отримання яскравих насичених кольорів: лужне середовище цементної суміші надає їм, як правило, приглушених відтінків основних кольорів чи брудно-сірого відтінку. Для уникнення цього ефекту й отримання декоративного бетону застосовують білий цемент, що значно збільшує вартість виробів. До того ж, такі бетони не відповідають необхідним вимогам щодо стирання, довговічності та декоративності, тобто опірності агресивному середовищу [5, 6].

**Аналіз останніх досліджень.** Одним зі шляхів отримання необхідного результату є розробка складу бетонної суміші на портландцементі з використанням природних карбонатних добавок, зокрема, крейди. Крейда – мінеральна осадова порода біогенного походження, є літологічним різновидом вапняків і складається з м'якої пухкої слабозцементованої, дрібнозернистої маси, що представлена тонким (2-5, рідше 10 мкм), органогенним і пелітоморфним кальцитом, кальцитовими уламками, а також залишками кокколів (2-5 мкм) [4]. Крейда містить катіони, які входять до складу більшості клінкерних мінералів.

Поверхня крейди у водних дисперсіях має надлишковий негативний заряд, про що свідчить невелике від'ємне значення

$\zeta$ -потенціалу, при цьому еквіпотенціальна точка крейди відповідає рН від 5 до 7 [7]. Пояснюється це тим, що поверхня крейди, за даними [8], вкрита аморфною формою кремнезему, тому механізм взаємодії крейди з клінкерними мінералами та продуктами їх гідратації суттєво відрізняється від відомих механізмів взаємодії інших карбонатних порід.

Високодисперсна крейда гідрофільна, тому її можна використовувати як добавку для отримання декоративних бетонів та виробів з них, бо крейда впливає на формування фазового складу гідросилікатів кальцію. При цьому основними продуктами гідратації є низькоосновні гідросилікати типу CSH(I) і гідрокарбосилікати кальцію, що веде до підвищення міцності й морозостійкості таких сполук [9]. В присутності кальциту може також змінюватися і характер кристалізації гідросилікатів кальцію, а саме: замість великих волокнистих кристалів утворюються дрібні з більш розвинутою поверхнею.

На даний час авторами проводяться дослідження щодо отримання складу декоративних бетонів із добавкою високодисперсної крейди та кольорових пігментів.

Однією з актуальних проблем сьогодення є створення міського середовища, дружнього для всіх, із застосуванням принципів універсального дизайну. Основним кольором, який розрізняють люди з вадами зору, є яскравий жовтий колір. Саме тому його й застосовують для розроблення складу бетону яскравого жовтого кольору для виготовлення елементів універсального дизайну – попереджувальних смуг і тактильних інформаційних покажчиків, як засіб орієнтування й попередження про небезпеку або перешкоди при пересуванні на об'єктах соціальної, інженерно-транспортної інфраструктури, пішохідних шляхах, прилеглою до об'єктів території.

**Мета досліджень.** Розробка складу бетонної суміші на портландцементі з добавкою високодисперсної крейди для бетонів яскравого жовтого кольору.

**Матеріали та методи дослідження.** В експериментальних дослідженнях застосовувалися портландцемент марки ПЦ І-500Н, кварцовий пісок з модулем крупності  $M_k=0,9$ , гранітний щебінь фракції 2,5÷5 мм і 5÷10 мм, крейда Слов'янського родовища,

пігмент охра - глина, що забарвлена оксидами заліза, яка має різноманітні відтінки від світло-жовтого, золотистого до темного, червонуватого і навіть коричневого. Склад суміші був визначений з урахуванням того, що такі бетони експлуатуються на відкритому повітрі та піддаються впливу атмосферних факторів, зокрема низьким температурам, сонцю, опадам, а також умовам агресивного середовища.

Багаторічними попередніми дослідженнями було визначено високий рівень корозійної стійкості й морозостійкості цементного каменю, у складі якого присутня високодисперсна крейда, та бетонів на його основі [10, 11, 12].

Морозостійкість визначалась на зразках-кубах  $100 \times 100 \times 100$  мм за прискореним методом при температурі заморожування  $-18 \pm 2^\circ\text{C}$ , коли середовище насичення і відтавання були вода і 5% розчин хлориду натрію ( $\text{NaCl}$ ) згідно з ДСТУ Б В. 2.7–42–97.

Для підтвердження корозійної стійкості була використана експресна методика оцінювання корозійної стійкості цементного каменю в агресивному рідкому середовищі, розроблена М.І. Стрелковим [13, 14]. За основу була прийнята концентраційна діаграма чотирикомпонентної системи ( $\text{Na}^+$ ,  $\text{Mg}^{2+}$ ,  $\text{Cl}^-$ ,  $\text{SO}_4^{2-}$ , за якою висока агресивність цієї системи зумовлена утворенням сполук з великою молекулярною масою в результаті хімічної взаємодії між солями системи  $\text{NaCl}$ ,  $\text{Na}_2\text{SO}_4$ ,  $\text{MgCl}_2$ ,  $\text{MgSO}_4$  та продуктами гідратації цементу.

Дослідженнями було також доведено позитивний вплив високодисперсної крейди на водонепроникність бетонів [15].

Дослідження фізико-механічних властивостей проводили на зразках, модифікованих 10 %, 20 %, 30 % та 40 % високодисперсної крейди (табл. 1).

**Результати дослідження.** Морозостійкість бетонних зразків визначалася двома способами: 1 спосіб – при насиченні й відтаванні зразків у водному середовищі; 2 спосіб – при насиченні й відтаванні зразків у 5 відсотковому розчині хлориду натрію ( $\text{NaCl}$ ). Для визначення фактичної зміни міцності зразків через задану кількість циклів заморожування й відтавання визначали коефіцієнт морозостійкості за формулою:

$$K_{мор} = \frac{f_{cm}^{мор}}{f_{cm}^{28}}, \quad (1)$$

де  $f_{cm}^{мор}$  – границя міцності зразків після випробування на заморожування-відтавання, МПа;

$f_{cm}^{28}$  – міцності зразків після 28 - добового твердіння, МПа.

Таблиця 1  
Склад бетонних зразків

Марка цементу	% крейди від сумарної маси цементу	Витрати матеріалу, %		В/Ц
		Ц	К	
ПЦ I-500Н	0	100	-	0,466
	10	90	10	0,460
	20	80	20	0,462
	30	70	30	0,468
	40	60	40	0,472

\*Ц- портландцемент; К- високодисперсна крейда

Марка бетону за морозостійкістю вважається забезпеченою через необхідну кількість циклів, якщо  $K_{мор} \geq 0,95$  [16]. Морозостійкість оцінювалася за кількістю циклів заморожування та відтавання.

Дослідження морозостійкості показало, що марка за морозостійкості бетону, модифікованого 10 % крейди, становить  $F400$ , а бетонів, модифікованих 20 %, 30 %, 40 % високодисперсної крейди, становить  $F300$  (табл. 2) [17].

Відповідно до експресної методики, корозійна стійкість в'язучого компонента бетону оцінювалася за ступенем впливу агресивного середовища на фракцію 140-315 мкм подрібненого цементного каменю. Зміна величини седиментаційного осаду, що складається з продуктів корозії, які утворилися у цементному камені під дією агресивних розчинів.

Дослідження показали, що введення високодисперсної крейди забезпечує високі показники корозійної стійкості.



Таблиця 2  
Коефіцієнти морозостійкості

Відсоток крейди від сумарної маси цементу	Кількість циклів заморожування та відтавання							
	за 1 способом				за 2 способом			
	100	200	300	400	45	75	110	150
0	1,16	1,2	1,18	0,96	1,21	1,18	1,0	0,75
10	1,18	1,25	1,2	0,98	1,28	1,26	1,15	0,95
20	1,14	1,18	1,12	0,95	1,25	1,21	1,1	0,8
30	1,09	1,12	1,05	–	1,15	1,11	0,89	–
40	1,02	0,95	0,75	–	1,11	1,04	0,82	–

Ступінь стійкості зразків встановлювався за величиною коефіцієнта стійкості ( $K_c$ ), який визначався за формулою:

$$K_c = \frac{f_{cm}^{3\text{міс}}}{f_{cm}^{28}} \quad (2)$$

де  $f_{ct}^{3\text{міс}}$  – міцність на стиск зразка після занурення в агресивне середовище на протязі 3 місяців, МПа;

$f_{ct}^{28}$  – міцності зразків після 28 - добового твердіння до занурення у агресивне середовище, МПа.

Найбільш агресивними щодо портландцементу і в'язучого, модифікованого високодисперсною крейдою, є чотирикомпонентні розчини (табл. 3).

Зразки з добавкою 10-20 % високодисперсної крейди найбільш стійкі у всіх агресивних середовищах (коефіцієнт стійкості  $K_c$  перевищує 85 %), у той час як цементний камінь без добавок у цих розчинах не дуже стійкий. Для забезпечення підвищення корозійної стійкості оптимальна кількість добавки високодисперсної крейди становить 10-20 % [18].

Необхідна кількість пігменту, що вводиться до складу бетонної суміші, визначається бажаним кольором. Збільшення кількості

пігменту до певного рівня призводить до збільшення інтенсивності фарбування. Дослідження впливу охри в кількості від 1 до 3% від маси цементу на властивості бетонної суміші з добавкою високодисперсного кальциту показали зменшення пористості зразків. Показники морозостійкості й водонепроникності не змінились.

Таблиця 3

Коефіцієнт стійкості цементного каменю

Д Ц+Д %	Початкова міцність на стиск $f_{cd}$ , МПа	Коефіцієнт стійкості, %, в агресивному розчині (номер розчину)*					
		12	13	17	23	27	31
0	41,8	70	78	62	85	76	67
10	41,9	120	103	99	92	90	95
20	38,4	123	99	98	92	85	93
30	33,5	98	95	88	86	93	91
40	25,4	86	91	76	78	87	86

\*12 - 0,4NaCl+0,2Na<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>+0,27MgCl<sub>2</sub>+0,13MgSO<sub>4</sub>; 31 - 0,2MgCl<sub>2</sub>+0,8MgSO<sub>4</sub>;  
27 - MgCl<sub>2</sub>; 13 - 0,42NaCl + 0,4Na<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> +0,13MgCl<sub>2</sub>+0,27MgSO<sub>4</sub>;  
17- 0,13NaCl+0,27Na<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>+0,2MgCl<sub>2</sub>+0,4MgSO<sub>4</sub>;  
23 - 0,1NaCl+0,1Na<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>+0,4MgCl<sub>2</sub>+0,4MgSO<sub>4</sub>.

**Висновки.** Отримані результати показали, що бетонні зразки з добавкою високодисперсної крейди мають яскраво білий колір, що дозволяє використовувати її як альтернативу білому цементу. Експериментально встановлено, що добавка високодисперсної крейди в кількості 10 % від маси цементу зумовлює підвищення: морозостійкості у воді – на 26 %, у розчині NaCl – на 28 %; корозійної стійкості в розчинах хлоридів – на 18 %, сульфатів – на 32 %, магнезійних – на 39 %.

Введення до складу бетонної суміші з добавкою високодисперсної крейди жовтого пігменту охри не знижує фізико-механічні та експлуатаційні характеристики суміші. Дозування пігменту становить від 1 до 3% від маси цементу, залежно від бажаного кольору. Бетони з добавкою високодисперсної крейди й

пігменту (охри) можна рекомендувати для виготовлення виробів, що використовуються для інженерного благоустрою міських територій та елементів універсального дизайну.

1. Деденёва Е.Б. Мелкозернистые бетоны для декоративных архитектурных форм города Харьков / Е.Б. Деденева, О.И. Дёмина // Тези доповідей 69-ї наук.-техн. конф. Харківського нац. ун-ту буд-ва та арх. – Харків: ХНУБА. – 2014. – С. 10.

2. Деденева Е.Б. Применение декоративных мелкозернистых бетонов для малых архитектурных форм / Е.Б. Деденёва, О.И. Демина, А.В. Рачковская и др. // Зб. наук. праць Харківського ун-ту Повітряних Сил: мех-ка, буд-во та електропостачання. – Харків, 2016. – Вип. 3(48). – С. 108–111.

3. Устинова А.А. Модификация бетона для малых архитектурных форм / Устинова А.А., Потапова Е.Н., Коняшкина А.Ю. // Успехи в химии и химической технологии, 2017. – Т. XXXI, № 3. – С. 114-116.

4. Аршинніков Д.І. Порівняльний аналіз мінералогічного складу природної крейди родовищ України / Аршинніков Д.І., Свідерський В.А. // Technology audit and production reserves, 2015. – Vol. 4, № 4 (24). – P. 7-11.

5. Гузий С. Г. Исследования реологических и физико-механических свойств декоративных бетонов / С. Г. Гузий, С. А. Теренчук // Scientific Journal «ScienceRise» - 2016. – №9/2(26). – С. 49-54.

6. Пьячев В. А. Белый портландцемент – средство расширения архитектурного разнообразия / Пьячев В. А., Руднов В. С. // Наука и бизнес: пути развития, 2010. – № 2. – С. 1415.

7. Полуэктова В.А. Коллоидно-химические свойства водных дисперсий мела и мрамора / Полуэктова В.А., Ломаченко В.А., Столярова З.В., Ломаченко С.М. [и др.] // Фундаментальные исследования: Технические науки, 2014. – № 9. – С. 1205–1209.

8. Горькова И.М. Физико-химические исследования дисперсных осадочных пород в строительных целях / Горькова И.М. – М. : Стройиздат, 1975. – 152 с.

9. Паус К.Ф. Химия и технология мела / Паус К.Ф., Евтушенко И.С. – М. : Стройиздат, 1977. – С. 97 – 137.

10. Жидкова Т.В. Бетон с добавкой мела, как высокодисперсной составляющей его вяжущего компонента: дис. канд. техн. наук : 05.23.05 / Харьковский автомобильно-дорожный ин-т. Харьков, 1992. 147 с.

11. Чепурна С.Н. Бетон підвищеної водонепроникності та корозійної стійкості з добавкою високодисперсної крейди: дис. канд. техн. наук : 05.23.05 / Український державний університет залізничного транспорту. Харьков, 2018. 147 с.

12. А. с. 1498732, МПК: С04В 7/00 Вяжущее/ Мелешко М.А., Стрелков М. И., Попов Г.М., Спиранде Р.А. Жидкова Т. В. . – заявка (21) 4349885/23-33 (22) 24. 12.87 (46), опублик. 07.08.89. Бюл. Р 29 (71) [7]

13. Стрелков М.И. Ускоренная оценка агрессивности к бетону водных растворов с учетом многокомпонентности их состава [Текст] / М.И. Стрелков, И.Н. Заславский // Лен.ПромстройНИИпроект – 1987. – С. 4-10.

14. Об агрессивности по отношению к бетону жидких сред с учетом многокомпонентности их составов [Текст] / [М.И. Стрелков, М.Н. Заславский, В.В. Ворончук, С.Л. Дугина] // Неорганические материалы. – 1990 – Т.26, № 4. – С. 865-868.

15. Чепурная С.Н. Підвищення водонепроникності бетонів з добавкою високодисперсної крейди / СМ Чепурна, ТВ Жидкова, МС Чепурна // Сучасні технології та методи розрахунків у будівництві. Збірник наукових праць. Випуск 5. Луцьк – 2016 – С. 85-91.

16. Дворкін Л.Й. Основи бетонознавства / Дворкін Л.Й., Дворкін О.Л. – Київ : Основа, 2007. – С. 42–43, 160, 165, 169, 176.

15. Чепурная С.Н. Морозостойкость бетона на основе вяжущего компонента, содержащего карбонат кальция (мел) / С.Н. Чепурная, М.С. Золотов // Науковий вісник будівництва. – Харків: ХДТУБА ХОТВ АБУ, 2009. – № 54. – С. 66-70.

16. Чепурная С.Н. Повышение коррозионной стойкости бетона транспортных сооружений добавкой высокодисперсного кальцита /С.Н. Чепурная, А.А. Плагин, О.С. Борзяк // Науковий вісник будівництва. – Харків: ХДТУБА ХОТВ АБУ, 2018. – № 1(91). - С. 292–298.

УДК 77.026.31

**ИНЖЕНЕРНАЯ РЕСТАВРАЦИЯ ПАМЯТНИКОВ ИСТОРИИ  
И АРХИТЕКТУРЫ ТУРКМЕНИСТАНА  
(ОПЫТ И ПРОБЛЕМЫ ЭКСПЕДИЦИИ)**

**ИНЖЕНЕРНА РЕСТАВРАЦІЯ ПАМ'ЯТОК ІСТОРІЇ ТА  
АРХИТЕКТУРИ ТУРКМЕНИСТАНУ  
(ДОСВІД І ПРОБЛЕМИ ЕКСПЕДИЦІЇ)**

**ENGINEERING RESTORATION OF TURKMENISTAN'S  
HISTORICAL AND ARCHITECTURAL MONUMENTS  
(EXPEDITION EXPERIENCE AND PROBLEMS)**

**Плахотный Г.Н. к.т.н., доц., Чернева Е.С. к.т.н., доц. (Одесская государственная академия строительства и архитектуры)**

**Плахотний Г.Н. к.т.н., доц., Чернева Е.С. к.т.н., доц. (Одеська державна академія будівництва та архітектури)**

**Plahotny G.N., Ph.D. in Engineering, Associate Professor, Chernieva O.S., Ph.D. in Engineering, Associate Professor (The Odessa State Academy of Building & Architecture)**

В статье рассказывается об опыте проведения масштабнейшей экспедиции сотрудниками ОГАСА в Туркменистан с целью выполнения технического обследования памятников истории и архитектуры.

У статті розповідається про досвід проведення наймасштабнішої експедиції співробітниками ОДАБА в Туркменістан з метою виконання технічного обстеження пам'яток історії та архітектури.

The article describes the experience of a large-scale expedition by OGASA explorers to Turkmenistan in order to carry out a technical survey of historical and architectural monuments. There were two objects (architectural monuments) for examination. Their initial technical condition was analyzed and measures for their recovery were proposed. The aim of the work was to study the technical condition of objects,

determine the causes of damage, the possibility of eliminating them and recreating the original condition of historical and architectural monuments. At the time of the survey, the main part of the Old Nisa buildings was buried as a result of the impact of sediment from the side of the Kopetdag hills. During the excavations of the territory of Old Nisa in the 50s and 60s of the twentieth century, conducted by various archaeological expeditions, the problem of conservation and preservation of raw clay bricks and stones appeared. After examining the archival documents the expedition explorers developed a number of measures for the raw bricks' and stones' preservation of Old Nisa buildings. The next object of the expedition's survey was the monument of history and architecture of the Chardzhou city - Iranian mosque, built in the early twentieth century. The mosque was in unsatisfactory technical condition and required repair and restoration work (to recreate the lost parts of the minaret, the entrance stairs, doorways, roofing). To reinforce the bearing walls, a monolithic reinforced concrete belt and a metal belt were installed in the inner side of the outer walls, which was fastened with anchor bolts. To reinforce the underground part, a double-sided reinforced ferrule was used. To enhance the substructure, the electrochemical method of soil consolidation was recommended to apply.

Ключевые слова: реставрация, техническое состояние, повреждение, мечеть, памятник архитектуры.

Ключові слова: реставрація, технічний стан, пошкодження, мечеть, пам'ятка архітектури.

Keywords: restoration, technical condition, damage, mosque, architectural monument.

Актуальность мониторинга и технического обследования зданий и сооружений не вызывает сомнений, в особенности если это касается памятников истории и архитектуры. В 90-х годах XX века группа сотрудников межрегионального центра «Реставрация, реконструкция и экология окружающей среды» (далее по тексту МЦ «Реставрация») Одесской государственной академии строительства и архитектуры участвовала в экспедиции на территории Туркменистана с целью обследования технического состояния памятников архитектуры и истории. Территория Туркменистана на южных склонах Копетдага является

пересечением исторических торговых и культурных путей, связывающих Европу с Азией. Еще с III века до н.э. в двадцати километрах на юго-запад от Ашхабада располагалось парфянское государство – грозный соперник Рима в борьбе за господство на Ближнем Востоке. Упоминается г. Парфавнис, в центре которого находились городища Новая и Старая Ниса. Постройка Старой Нисы была выполнена на естественной возвышенности и располагалась внутри огромной крепости. На территории крепости находился дворцово-храмовый комплекс и так называемый квадратный дом – царская сокровищница [1]. В плане стены крепости образуют неправильный растянутый пятиугольник, который может быть вписан в правильный геометрический эллипс. Большая ось этого эллипса параллельна геометрическому меридиану Земли [2].

Крепостные стены имели в основании толщину 8-9м. Нижние ярусы стен были выполнены из обожженного глиняного кирпича. Дополнительно стены были укреплены 50 прямоугольными башнями. Древние греки подчиняли свои замыслы определенным величинам. Так, число башен с каждой стороны крепости было не случайным. На восточной и северной стенах было по 25 башен, на западной стене – 16 башен, на южной – 9. Оказывается, что число башен вписывается в формулу, которая является священным египетским треугольником древних:

$$3^2+4^2+5^2=50$$

Верхние ярусы башен, а также колонны и полуколонны в зданиях были выполнены из сырцового глиняного кирпича на глиняном растворе. Со временем, эти конструкции из глины и сырцового кирпича были частично разрушены и деформированы.

На момент обследования, основная часть строений Старой Нисы погребена в результате воздействия наносов грунтов со стороны возвышенностей Копетдага. При раскопках территории Старой Нисы в 50-х и 60-х годах XX века, проводимых разными археологическими экспедициями появилась проблема консервации и сохранения сырцовых глиняных кирпичей и камней.

Изучив архивные данные сотрудниками МЦ «Рестаурация», участвующими в экспедиции, были даны ряд предположений и мероприятий по консервации и сохранению сырцовых кирпичей и камней. В дальнейшем все мероприятия были воплощены в жизнь и

в 2007 году руины парфянской крепости были внесены в список Всемирного наследия ЮНЕСКО (рис.1).



Рис.1. Современный вид парфянской крепости Старой Нисы

Следующим объектом обследования экспедиции стал памятник истории и архитектуры города Чарджоу (современное название Туркменабад) – Иранская мечеть, возведенная в начале XX-го века.

Социальные события 20-х и 30-х годов существенно повлияли на сохранность этого храма. Был разрушен минарет, в здании располагались столовая, общежитие, а на момент обследования краеведческий музей.

Строительство канала привело к поднятию уровня подземных вод на прилегающих территориях, в том числе территорию г. Чарджоу, а также грунтов и оснований фундаментов мечети. Основные работы, выполненные экспедицией в 90-х годах, позволили определить техническое состояние несущих конструкций с учетом динамики их дальнейших деформаций.

Конструктивная схема здания – зальный тип. Несущими вертикальными конструкциями служат наружные стены и поперечные внутренние стены, образующие женскую часть мечети.

Грунты основания представлены сложным напластованием суглинков, супесей и мелких водонасыщенных песков (табл.1).

Фундаменты здания – ленточные, выполнены из бутового плитного камня – песчаника на известковом растворе.

Определение конструкции фундаментов выполнялось путем шурфования. Вскрытием фундаментов в шурфах обнаружены места подтопления. Выполненные работы также включали вскрытие ранее засыпанной части входного крыльца и подземных культовых строений во дворе мечети (рис.2).



Таблиця 1

Физико-механические характеристики грунтов основания

Мощность	Номер слоя и название грунта	Физико-механические характеристики									
		$\rho, \text{г/см}^3$	$\rho_{\text{в}}, \text{г/см}^3$	$\rho_{\text{д}}, \text{г/см}^3$	W, %	$W_L/W_p$	$W_L \cdot W_p$	n, %	e	c, МПа	$E_{\text{гр}}, \text{МПа}$
1,0	1. Насыпной грунт	-	-	-	-	-/-	-	-	-	-	-
0,8	2. Суглинок	2,73	1,72	1,43	22,7	33/23	10	47,5	0,9	0,13	5,0
2,1	3. Супесь темно-серая пластичная	2,71	1,75	1,42	30,0	32/28	4	50	0,89	0,01	10,0
4,8	4. Песок мелкий, водонасыщенный	2,67	1,93	1,54	27,4	-/-	-	42,3	0,74	-	20,0

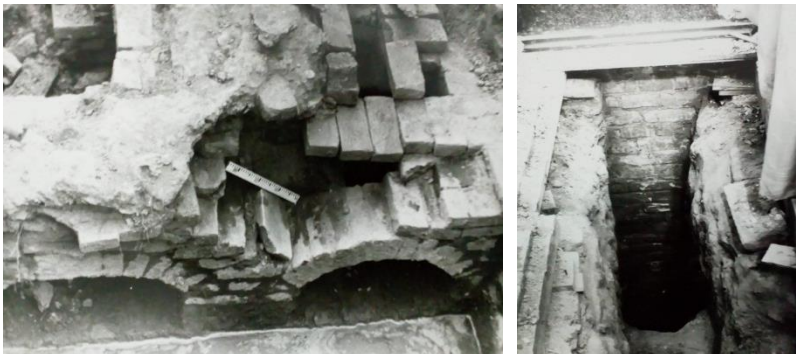


Рис.2 Вскрытие подземных культовых строений и фундамента мечети [3]

Стены здания состоят из цельного глиняного кирпича на сложном растворе.

Покрытие выполнено из деревянных стропильных ферм с подвесным потолком, образующих чердачное помещение.

Первоначально кровля была из металлических листов, позже замененных на волнистые асбестоцементные листы.

В процессе эксплуатации здание претерпело значительные деформации и изменения. В результате локального повышения уровня подземных вод осадка части фундаментов превысила

предельное значение. Надземная часть здания имеет систему вертикальных и наклонных сквозных направленных трещин, разделивших ее на отдельные дискретные блоки (рис.3). Большая часть кирпичей, из которых выполнены наружные стены мечети, имеют паутину трещин, свидетельствующую о температурных деформациях. Растворные швы частично отсутствуют, открывая таким образом доступ холодному воздуху и влаге. На боковом фасаде имеется сквозная трещина на всю высоту стены с шириной раскрытия до 5см. По периметру здания имеется несколько участков выпадания наружного слоя кладки.

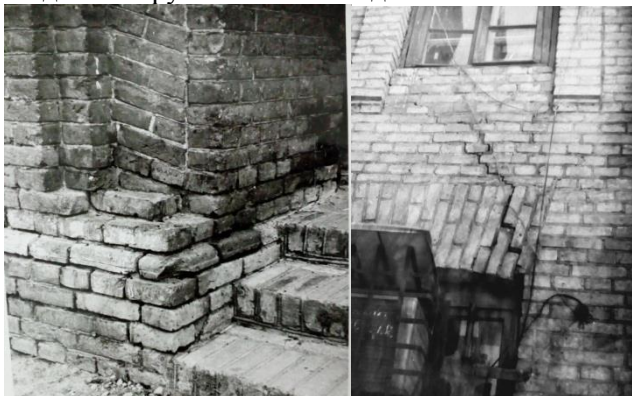


Рис.3. Деформации наружных стен мечети (из материалов технического заключения экспедиции)[3]

Часть оконных и дверных кирпичных перемычек деформированы. Как показала система настенных фиксирующих маяков, установленных на основных трещинах несущих стен, динамика деформаций здания продолжается (наблюдение за маяками проводилось в течении полугода).

Таким образом, здание иранской мечети в г. Чарджоу, согласно выводов экспедиции находилось в неудовлетворительном техническом состоянии и требовало проведения ремонтно-реставрационных работ (воссоздать утраченные детали минарета, входной лестницы, дверных проемов, кровли).

Для усиления несущих стен предполагалось устройство в карнизной части монолитного железобетонного пояс с закладными деталями для крепления стропильных ферм и устройства

металлического пояса с внутренней стороны наружных стен, который крепился к последним при помощи анкерных болтов.

Для усиления подземной части предполагалось устройство двусторонней железобетонной обоймы, позволяющей расширить тело ленточного фундамента.

Для усиления грунтов оснований было рекомендовано применить электрохимический метод закрепления грунта [4]. На данный момент здание восстановлено полностью, действует как краеведческий музей города Туркменабад (рис.4).



Рис.4. Вид на момент обследования и современный вид мечети

Выводы: старение и разрушение строительных конструкций зданий и сооружений – необратимый процесс. Однако мы можем на него повлиять и не допустить разрушения, путем проведения постоянного мониторинга за техническим состоянием объекта и своевременных ремонтно-реставрационных работ. К счастью, благодаря усилиям сотрудников ОГАСА, учувствовавших в экспедиции в Туркменистан в 90-х годах XX века удалось это сделать вовремя, благодаря чему сегодня эти сооружения радуют глаз жителям и являются основными туристическими объектами страны.

1. Массон В.М., Старая Ниса – резиденции парфянских царей / О.М. Массон. - Ленинград: «Наука», 1985. 12с. 2. Зернов В.Б., Загадки Нисы. / В.Б. Зернов // «Человек и стихия»: Сборник научных работ - Л.: Гидрометеоздат, 1990. - 216с. 4. Лисенко В.А., Инструментально-визуальное обследование состояния здания, фотофиксация объекта / В.А. Лисенко, Г.Н. Плахотный, Г.И. Матвиенко, Э.Н. Члиянец. – Одесса: ОИСИ, 1991. – 32с. 3. Алтухов А.С., Методика реставрации памятников архитектуры / А.С. Алтухов, Г.В. Алферова, Б.А. Ржаницын и др.– Москва: Стройиздат, 1977. – 168с.

УДК 666.948 : 666.972.112

**ДОСЛІДЖЕННЯ ВПЛИВУ МІЦЕЛЯРНОГО КАТАЛІЗУ НА  
МІЦНІСТЬ ЛУЖНОГО РЕАКЦІЙНОГО ПОРОШКОВОГО  
БЕТОНУ**

**STUDY OF COMPOUNDS OF MICELLAR CATALYSIS ON THE  
STRENGTH OF ALKALINE REACTION POWDER CONCRETE**

**Шишкіна О.О., к.т.н., доц. (КНУ, Кривий Ріг), Шишкін О.О.,  
д.т.н., проф. (КНУ, Кривий Ріг)**

**Shishkina A., Ph.D., senior lecturer (Kryvyi Rih National  
University, Kryvyi Rih), Shishkin A. DSc in engineering, professor  
(Kryvyi Rih National University, Kryvyi Rih)**

У статі описано властивості лужного реакційного порошкового бетону в залежності від вмісту колоїдних поверхнево-активних речовин.

Under certain conditions, an increase in the rate of hydration of the binder promotes an increase in the strength of concrete under compression. This is especially true of reactive powder concretes. Considering the specific effect of the surfactants that form micelles, research aimed at further improving and developing the technology of concrete based on the domain granulated slag and the alkaline component, using the above-mentioned surfactants are relevant.

The effect of surfactants capable of forming micelles on the rate of formation and the final value of compressive strength of alkaline reactive powder concretes was studied. A feature of the research was the study of the simultaneous effects of surfactants that form micelles, and the reaction powder or aggregate to change the strength of concrete. It has been established that the indicated micellar solutions and reaction powders change the nature of the formation of the strength of alkaline reactive powder concretes. The rate of formation of strength in the initial periods increases due to micellar catalysis of the granulation of the domain granulated slag, and their increased compressive strength is maintained in the later stages of hardening.

The strength of alkaline reactive powder concretes with the use of surfactants capable of forming micelles, reaches 260% of the strength of such concrete without additives.

It has been proven that micellar catalysis can be used to control the curing process of the binder consisting of granulated slag domain and the alkaline component, and to form the strength of the obtained artificial stone. Due to this, time is reduced to achieve the design strength of concrete, and the absolute value of the compressive strength of such concretes at the age of 28 days increases.

Keywords: granulated blast furnace slag, alkali, micellar catalysis, concrete strength, powder concrete, micelles, surfactants

### **Вступ**

З кожним роком збільшуються обсяги будівництва із застосуванням монолітного бетону, до якого висувають багато вимог, першою з яких є висока швидкість формування міцності, а також, в залежності від виду і умов експлуатації – висока межа міцності. Основним видом в'язучих, які застосовуються у технології монолітного будівництва, є портландцемент. Сучасні наукові доробки в галузі бетоноведення базуються на застосуванні суперпластифікованих портландцементів та сумішей портландцементів із різноманітними реакційно-активними порошками. В якості таких порошоків використовують мікрокремнезем, метакаолін, золу виносення ТЕС, гірські поріди та інші. Внаслідок застосування реакційно-активних порошоків та супер- або гіперпластифікаторів вдалося отримати бетони з міцністю при стиску від 100 до 200 МПа й міцністю при розтягу 25–50 МПа [1, 2]. Слід зазначити, що такі бетони розроблені і досліджені при використанні в якості основної в'язучої речовини портландцементу.

В той же час, існує велика група в'язучих речовин, які не містять мінералів, аналогічних мінералам портландцементу. Основою таких в'язучих речовин є тонкомелений гранульований доменний шлак, який змішують з водяним розчином лужного компоненту (шлаколужні бетони) [3]. До складу таких бетонів рекомендовано [4] вводити реакційно-активні порошки, зокрема такі, що містять іони перехідних хімічних елементів.

Означені бетони мають іншу природу і механізм гідратації ніж портландцементи, а міцність таких бетонів досягає 100 МПа

при швидкості твердіння, яка перевищує швидкість твердіння портландцементів. Однак сучасний стан розвитку будівництва потребує подальшого поліпшення властивостей традиційних в'язучих речовин, у тому числі на основі доменного гранульованого шлаку та лужного компоненту шляхом модифікації їх структури.

Таким чином, зважаючи на специфічну дію міцел поверхнево-активних речовин, дослідження, спрямовані на подальше удосконалення і розвиток технології бетонів на основі доменного гранульованого шлаку та лужного компоненту, слід вважати актуальними.

### **Аналіз літературних даних і постановка проблеми**

Встановлено, що підвищення міцності бетону відбувається при одночасному введенні до його складу мінерального комплексу, що містить залізо, і поліспирти [5]. Але поліспирти не є відходом виробництва, тому мають достатньо високу вартість, що обмежує їх застосування. Що стосується шлаколуужних бетонів, введення до їх складу традиційних мінеральних добавок не призводить до зміни швидкості формування міцності бетону [6], що є проблемним місцем для означених бетонів.

### **Мета і завдання досліджень**

Метою роботи є визначення впливу міцелоутворюючих ПАР (МПАР) на швидкість формування міцності та її величину шлаколуужного реакційного порошкового бетону

Для досягнення поставленої мети були поставлені наступні задачі:

– визначити вплив поверхнево-активних речовин, що утворюють міцели, на величину міцності при стиску лужного реакційного порошкового бетону;

– визначити вплив поверхнево-активних речовин, що утворюють міцели, на швидкість формування міцності при стиску лужного реакційного порошкового бетону.

### **Матеріали та методи дослідження**

Для виготовлення бетону використовували мелений доменний гранульований шлак ПАТ «Міталстіл. Кривий Ріг» (Україна), у якості дрібного заповнювача – відходи збагачення залізних руд Південного гірничозбагачувального комбінату (м. Кривий Ріг, Україна), які мають розмір часток від 0,001 до 0,63 мм. У якості поверхнево-активної речовини, що утворює міцели (МПАР),

застосовували олеат натрію (Simagchem Corp., Китай), у якості лужного компоненту – рідке скло із силікатним модулем 2,8, щільністю 1340 кг/м<sup>3</sup> (ТОВ «Компанія Новохім» м. Харків, Україна).

Олеат натрію розчиняли у воді до концентрації 0,1%, рідке скло розводили водою до щільності 1200 кг/м<sup>3</sup>. Водяний розчин олеату натрію у кількості розрахованій за планом експерименту добавляли у ємність з віддозованою кількістю рідкого скла.

Виготовлення та випробування зразків бетону здійснювали за стандартними методиками.

### **Результати дослідження показників властивостей бетонних зразків**

У процесі виконаних експериментів встановлено, що введення в досліджувану систему (реакційний порошок бетону) МПАР у певній кількості призводить до різкого збільшення міцності одержуваного бетону (рис. 1,2).

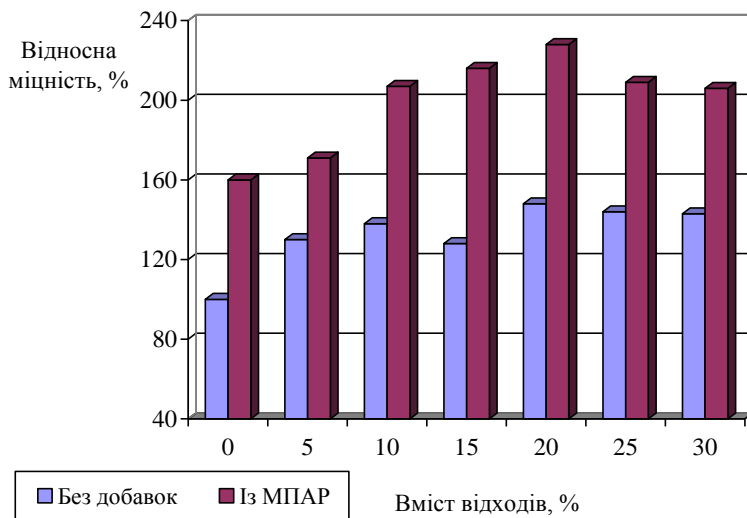


Рис. 1. Міцність лужного реакційного бетону

Загальна залежність міцності при стиску лужного реакційного бетону від витрати реакційного порошку та МПАР наведено на рис. 3. Кінетика зміни міцності досліджуваного бетону в залежності від вмісту в його складі реакційного порошку та МПАР визначалася встановленням та порівнянням міцності бетону (рис. 4).

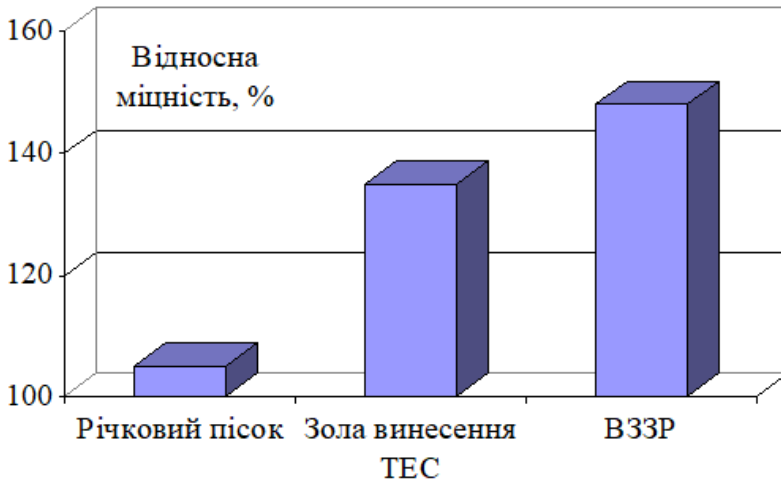


Рис. 2. Ефективність реакційних порошків (В33Р – відходи збагачення залізних руд)

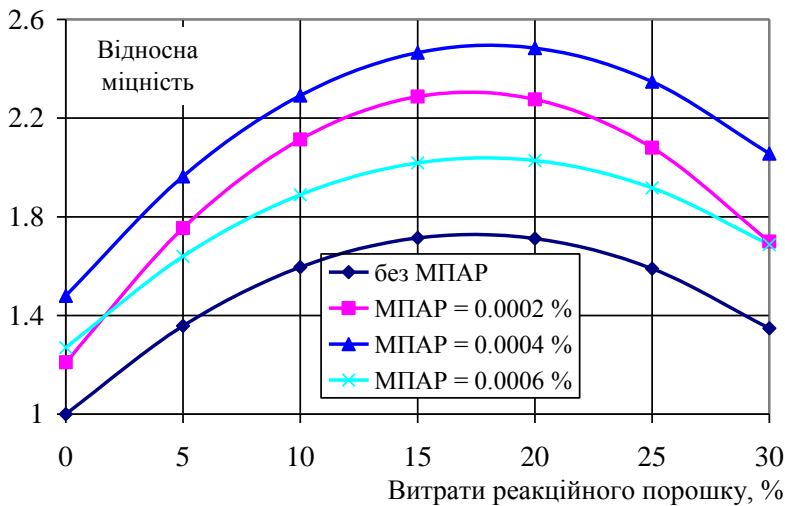


Рис. 3. Вплив вмісту МПАР і реакційного порошку на міцність при стиску лужного реакційного бетону (реакційний порошок – відходи збагачення залізної руди)



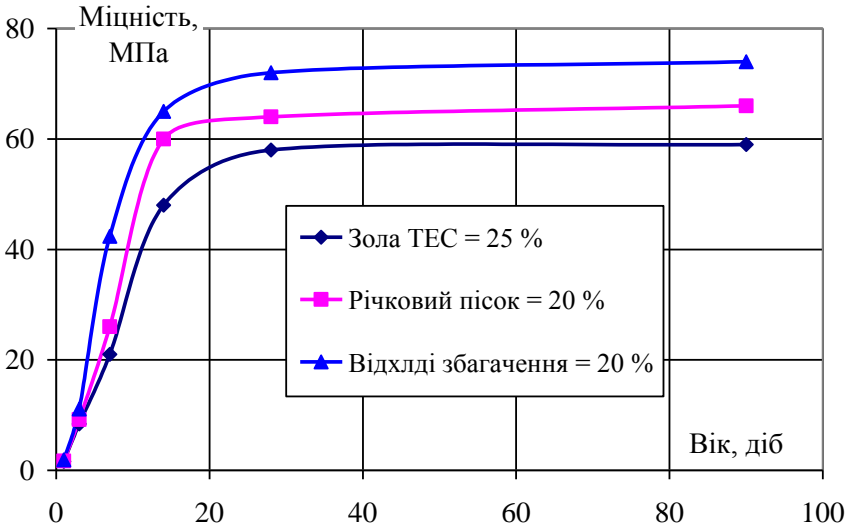


Рис. 4. Зміна міцності бетону в часі (витрати МПАР – 0,00004 %)

Результати дослідів показали, додавання до лужного реакційного порошкового бетону міцелотворюючих ПАР призводить до збільшення міцності бетонної суміші

В загальному випадку вміст в лужному реакційному бетоні, який забезпечує отримання максимальної міцності при тиску, МПАР складає 0,0004 %, а реакційного порошку 10–20 %.

Зміна міцності бетону у часі збільшується при введенні МПАР і залежить від виду реакційного порошку.

Вочевидь, застосування МПАР призводить до збільшення ефективності реакційних порошоків. При цьому найбільш ефективно застосування відходів збагачення залізної руди.

Перевагами результатів проведених досліджень є визначена можливість значного (більше 200 %) збільшення міцності порошкового бетону на основі доменного гранульованого шлаку та лужного компоненту.

Однак існують і певні обмеження у застосуванні результатів даного дослідження. Так, необхідно контролювати терміни тужавіння бетону, які, при застосуванні певних видів лужного компоненту, можуть бути доволі малими.

У подальшому, для розширення галузі застосування досліджених бетонів, доцільно вивчити вплив міцелярного каталізу на деформативні властивості.

### **Висновки**

1. Встановлено, що введення до складу лужного реакційного порошкового бетону міцелоутворюючих поверхнево-активних речовин призводить до збільшення структурної міцності бетонної суміші на 10–15 %.

2. Введення до складу лужного реакційного порошкового бетону МПАР забезпечує підвищення міцності бетону при стиску, яка досягає 160 % від міцності бетону аналогічного складу, отриманого без застосування МПАР. Збільшення кількості реакційного порошку призводить до збільшення міцності при стиску на 48 % від міцності бетону аналогічного складу, отриманого без застосування добавок. А одночасне введення в лужний реакційний порошок бетон МПАР та реакційного порошку призводить до збільшення міцності бетону, яка складає 230 % від міцності бетону аналогічного складу, отриманого без застосування добавок.

### **Література**

1. Фаликман, В. Р. Новые эффективные высокофункциональные бетоны // Бетон и железобетон. 2011. 2. С. 78–84.
2. Erdem, T. K., Kirca O. Use of binary and ternary blends in high strength concrete // Construction and Building Materials. 2008. 22, 7. P. 1477–1483. doi: 10.1016/j.conbuildmat.2007.03.026.
3. Кривенко П.В. Роль технологических факторов в формировании структуры и свойств шлакощелочных бетонов // Вісник ОДАБА. 2015. 57. С.38-45.
4. Шишкин, А.А. Щелочные реакционные порошковые бетоны // Строительство уникальных зданий и сооружений. 2014. 2(17). С. 56–65.
5. Shishkin A., Shishkina A., Vatin N. Low-shrinkage alcohol cement concrete // Applied Mechanics and Materials. 2014. 633-634. P. 917–921. doi: 10.4028/www.scientific.net/amm.633-634.917.
6. Termkhajornkit, P., Nawa T., Nakai M., Saito T. Effect of fly ash on autogenous shrinkage // Cement and Concrete Research. 2005. 35, 3. P. 473–482. doi: 10.1016/j.cemconres.2004.07.010.

**УДК 69.034.2**

**ДОСЛІДЖЕННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ КОНСТРУКТИВНИХ  
ФОРМ ПІДВОДНИХ ЧАСТИН ПЛАВАЮЧИХ БУДІВЕЛЬ**

**RESEARCH OF THE EFFECTIVENESS OF THE STRUCTURAL  
FORMS OF UNDERWATER PARTS OF FLOATING  
BUILDINGS**

**Шолом В.В., магістр, Самчук В.П., к.т.н., доц., Пахолюк О.А.,  
к.т.н., доц. (Луцький національний технічний університет, м. Луцьк)**

**Sholom V., master, Samchuk V., Ph.D. in Engineering, Associate  
Professor, Pakholiuk O., Ph.D. in Engineering, Associate Professor (Lutsk  
National Technical University, Lutsk)**

Розглянуто характеристики будівель різних геометричних форм, які піддаються впливу водного середовища. За критерієм найменшої деформації стін будівлі визначено найбільш ефективні форми для проектування об'єктів, які будуть експлуатуватись у водному середовищі.

The characteristics of buildings of various geometric forms exposed to the water environment are considered. According to the criterion of the least deformation of the walls of the building the most effective forms for the design of objects that will be exploited in the water environment is determined.

In designing underwater objects, unlike those that will be built on land, architects have to be more responsive to choosing their constructive form. To investigate the effectiveness of various types of structural forms of the underwater part of the building, numerical experiments are carried out. The first part of the experiment was the mathematical modeling of the flow of water around the building and the definition of critical pressures that create water streams. The second part of the study was the creation of a mathematical model of the underwater part of the building with attached loads to the walls. As a result, the deformation of the walls of the objects under investigation was determined. The results showed that in accordance with the criterion of minimal displacement of

the walls of the building, the most effective form of the hemisphere and cylinder with a hemisphere.

Ключові слова: плаваючі будівлі, водяний потік, тиск води.

Keywords: floating buildings, water flow, water pressure.

Сучасне суспільство приваблюють нові та неординарні рішення будівель та споруд. Під час проектування підводних об'єктів, на відміну від тих, які будуть зводитись на суші, архітекторам доводиться більш відповідально підходити до вибору їх конструктивної форми.

У роботі проведено дослідження ефективності різних форм підводної будівлі з врахуванням навантажень, які діють на її стінки, з метою визначення найбільш оптимального варіанту.

Основною умовою забезпечення ефективності використання форми підводної частини будівлі прийнято найменші деформації її стін під впливом тиску течії води, а також оптимальність конструювання елементів будівлі та їхнього монтажу.

Щоб зменшити деформації стін будівлі, потрібно розподілити напруження рівномірно в горизонтальному та вертикальному напрямках. Для забезпечення даної умови необхідно створити поверхню вигнуту в напрямку зустрічному до навантажень, це приведе до зменшення згинальних моментів і переміщень стінок. Під час конструюванні це, у свою чергу, дозволить зменшити витрати на додаткові матеріали та конструкції для підсилення місць з надмірними переміщеннями.

Щоб дослідити ефективність різних типів конструктивних форм підводної частини будівлі, проведено числові експерименти.

Були вибрані наступні типи підводної частини будівлі (таблиця 1): півсфера, циліндр, циліндр з півсферичним дном, паралелепіпед з вигнутими стінками по вертикалі, паралелепіпед з вигнутим дном. Щоб забезпечити однакову виштовхувальну силу води, усі форми мали однаковий об'єм  $1000 \text{ м}^3$  та приблизно однакову площу нижньої частини (дна). Стінки прийняті з прокатного металу товщиною 100 мм.

Першою частиною експерименту було математичне моделювання процесу течії води навколо будівлі та визначення критичних тисків, які створюють водяні потоки.

Другою частиною дослідження було створення математичної моделі підводної частини будівлі із прикладеними до стінок

навантаженнями [1]. У результаті була визначена деформація стін досліджуваних об'єктів.

У першій частині експерименту використовувався програмний комплекс 3D-моделювання Autodesk AutoCAD. Для визначення числових значень водних потоків використовувалась програма xFlow, яка дозволяє створювати різноманітні тривимірні об'єкти, а також занурювати їх у середовище із заданими параметрами та характеристиками (як об'єкту, так і середовища). Це дозволило отримати не тільки числові результати експерименту, але й візуалізувати його у режимі реального часу.

Для другої частини дослідження використовувався проектно-обчислювальний комплекс ЛІРА-САПР. У ньому виконано розрахунки на міцність, стійкість і жорсткість елементів будівельних конструкцій, а також здійснено їх конструювання.

#### Методика досліджень




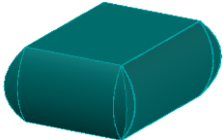
У першій частині експерименту було побудовано моделі 5-ти типів підводної частини будівлі, а також описано середовище, в якому ці моделі перебувають (таблиця 2). Згідно принципів гідродинаміки програма обчислила такі показники: швидкість елементарних частинок потоку, турбулентність, тиск на поверхню моделі, статичний тиск.

У другій частині експерименту створено розрахункові схеми усіх моделей, задані жорсткісні характеристики конструкцій, зв'язки та навантаження. У результаті розрахунку було визначено напруження та деформації в елементах моделі.

Таблиця 1

Характеристики моделей

№ п/п	Опис моделі	Вид моделі	Площа бічної поверхні, м <sup>2</sup>	Площа дна, м <sup>2</sup>	Площа верхньої частини моделі, м <sup>2</sup>
1.	Півсфера		135,46	173,72	191,8

2.	Циліндр з півсферичним дном		220,1	220,74	199,96
3.	Циліндр		250,1	199,96	199,96
4.	Паралелепіпед з вигнутим дном		257,5	200	196
5.	Паралелепіпед з вигнутими бічними поверхнями		574,7	196	196

Таблиця 2  
Характеристики середовища для програми xFlow

Середовище	Молярна маса, г/моль	Густина, кг/м <sup>3</sup>	Динамічна в'язкість, Па·с	Швидкість потоку, м/с
Вода	20	1	$8,94 \cdot 10^{-4}$	4

### Результати експериментальних досліджень

Значення максимального тиску потоку на поверхню моделей представлено у таблиці 3.

Ізополя розподілу тиску води на поверхню досліджених моделей представлено на рис. 1 – 5.

Значення максимальних переміщень наведено у таблиці 4.

Діаграма переміщення по осях координат представлена на рис. 6.

Таблиця 3

Значення максимального тиску потоку

№ п/п	Назва об'єкту	Макс. тиск по вертикальній січній площині, Па	Макс. тиск по горизонтальній січній площині, Па	$F_a$ , кН/м <sup>2</sup>
1.	Півсфера	165	165	13,306
2.	Циліндр з півсферою	150,8	183,6	13,306
3.	Циліндр	151,5	185,9	13,306
4.	Паралелепіпед з вигнутим дном	174,3	174,3	13,306
5.	Паралелепіпед з вигнутими бічними поверхнями	153,5	187,2	13,306

Таблиця 4

Значення максимальних переміщень

№ п/п	Назва моделі	Переміщення		
		Бічна поверхня		Дно
		X, мм	Y, мм	Z, мм
1.	Півсфера	24.675	23.43	17.295
2.	Циліндр з півсферою	25.13	23.579	92.077
3.	Циліндр	23.436	32.984	1909.46
4.	Паралелепіпед з вигнутим дном	283.879	39.525	166.232
5.	Паралелепіпед з вигнутим бічними гранями	281.866	259.285	131.809

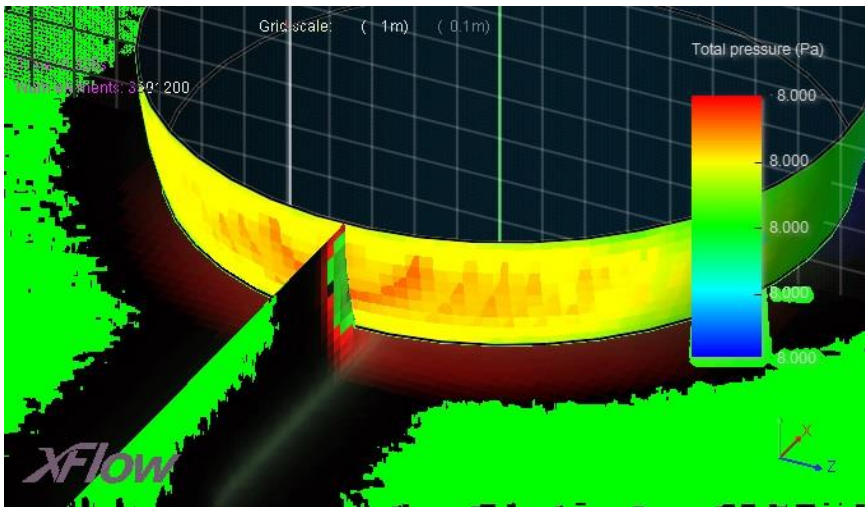
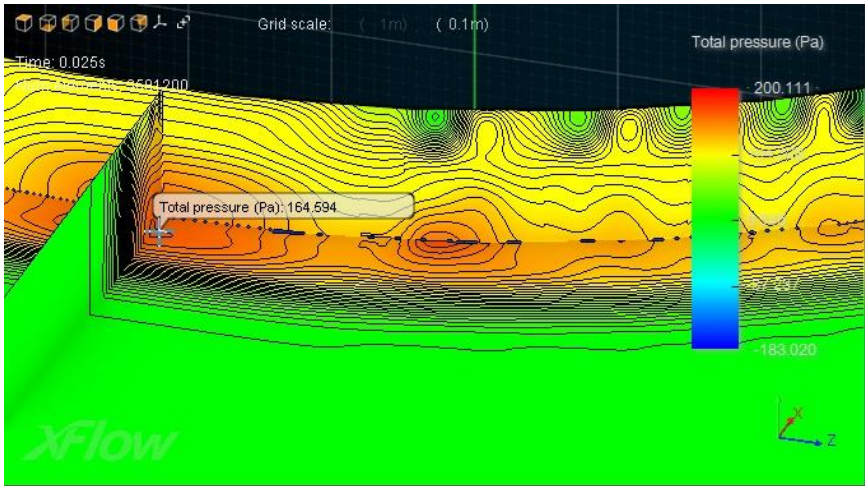


Рис. 1. Ізополя розподілу тиску води на поверхню 1-ої моделі



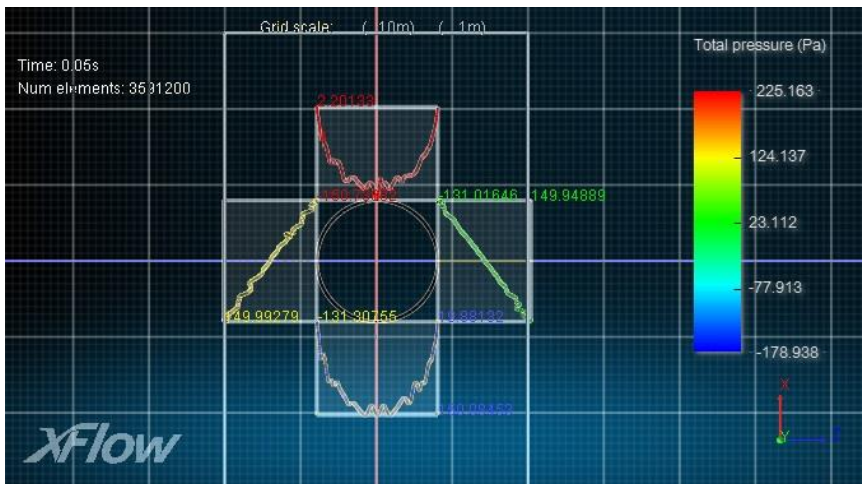
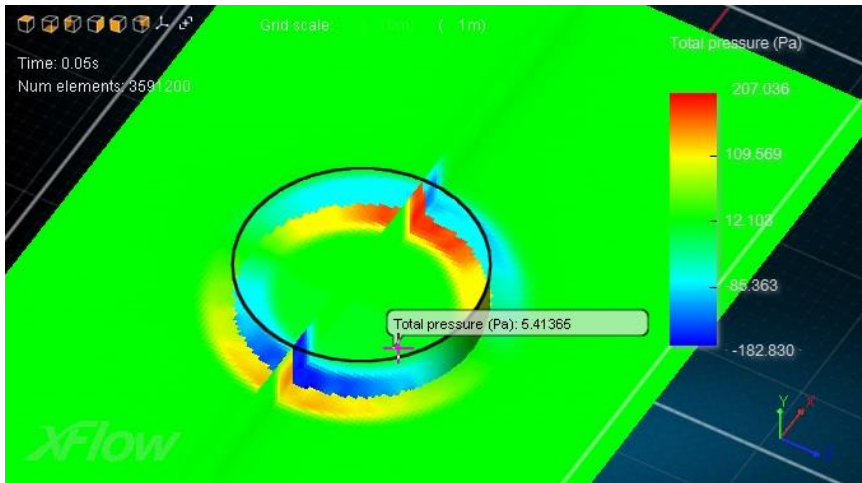


Рис. 2. Ізополя розподілу тиску води на поверхню 2-ої моделі

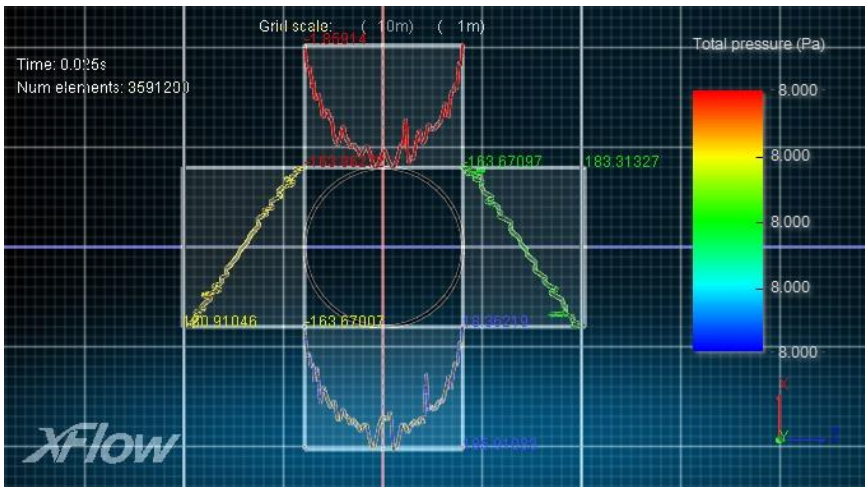
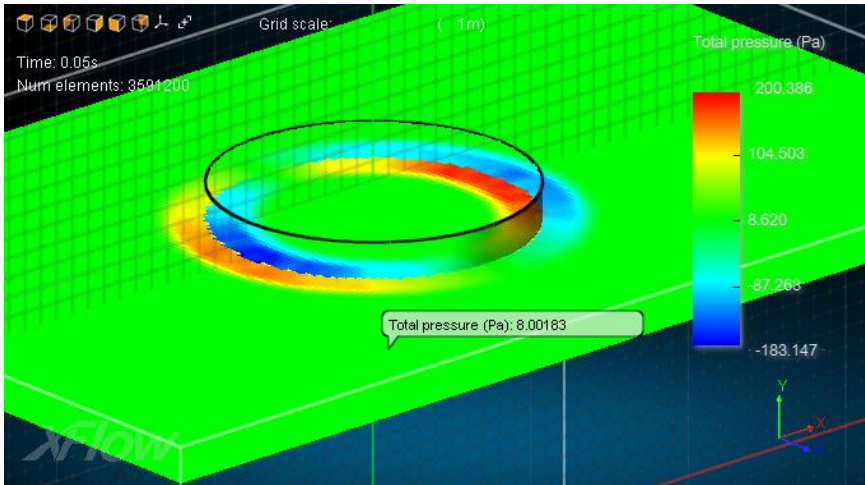


Рис. 3. Ізополя розподілу тиску води на поверхню 3-ої моделі

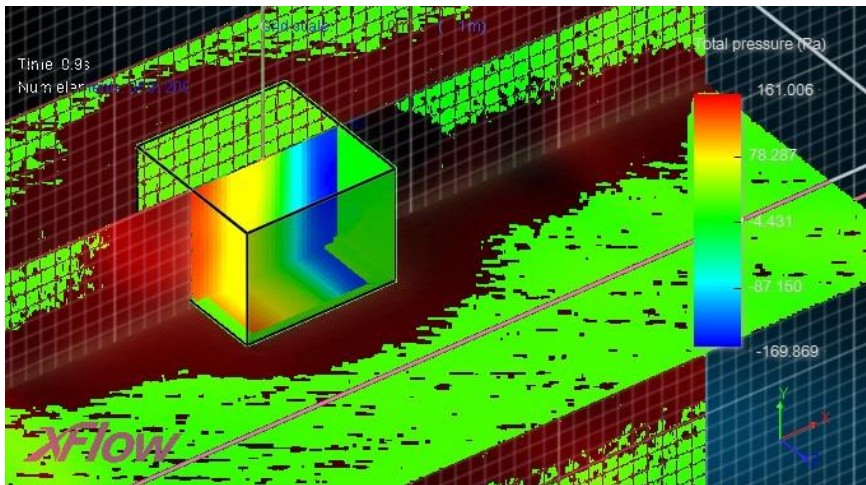
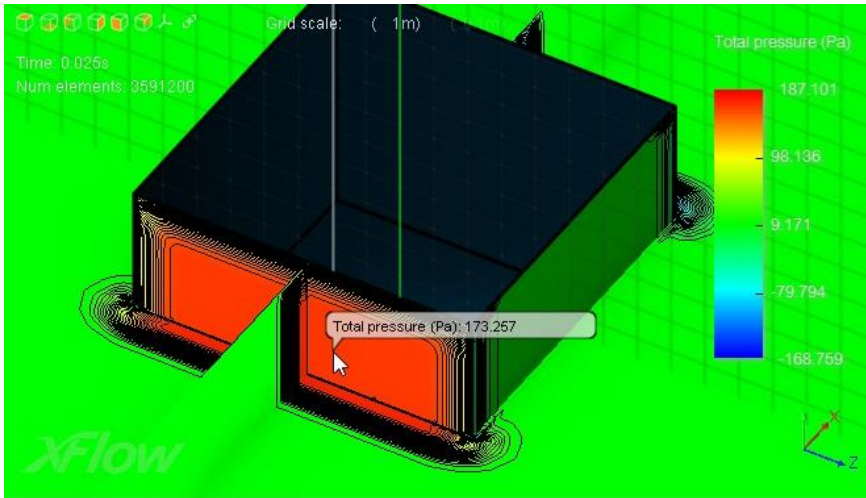


Рис. 4. Ізополя розподілу тиску води на поверхню 4-ої моделі

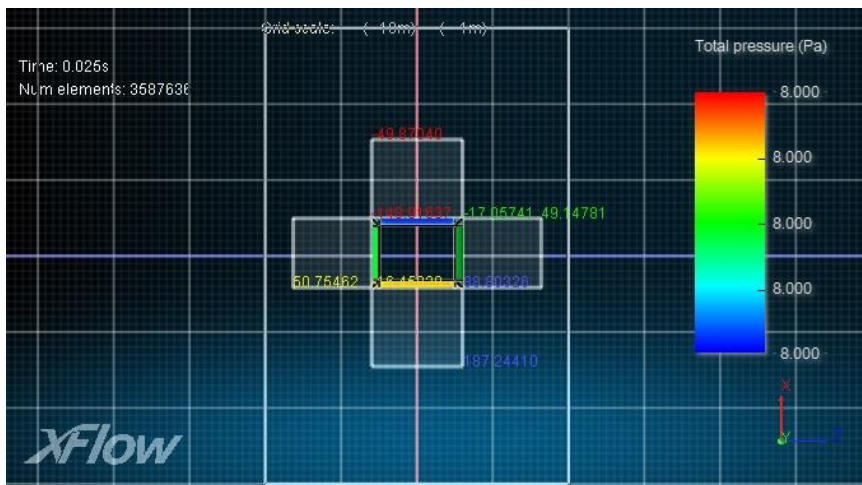
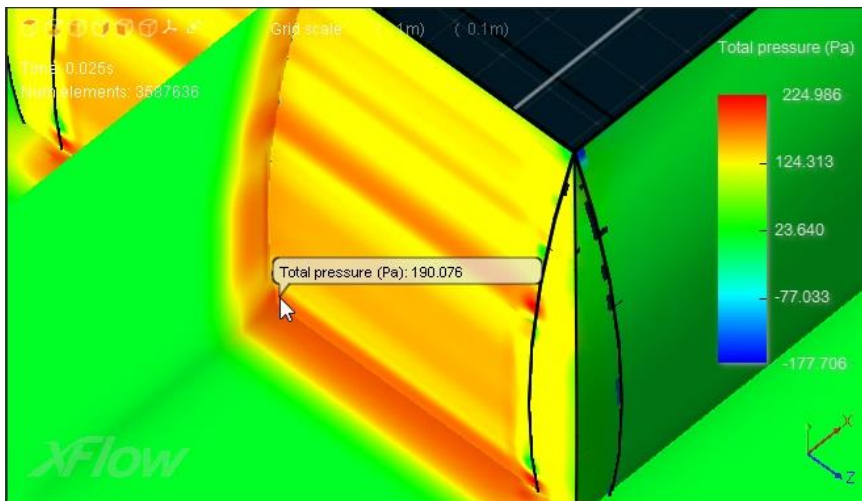


Рис. 5. Ізополя розподілу тиску води на поверхню 5-ої моделі

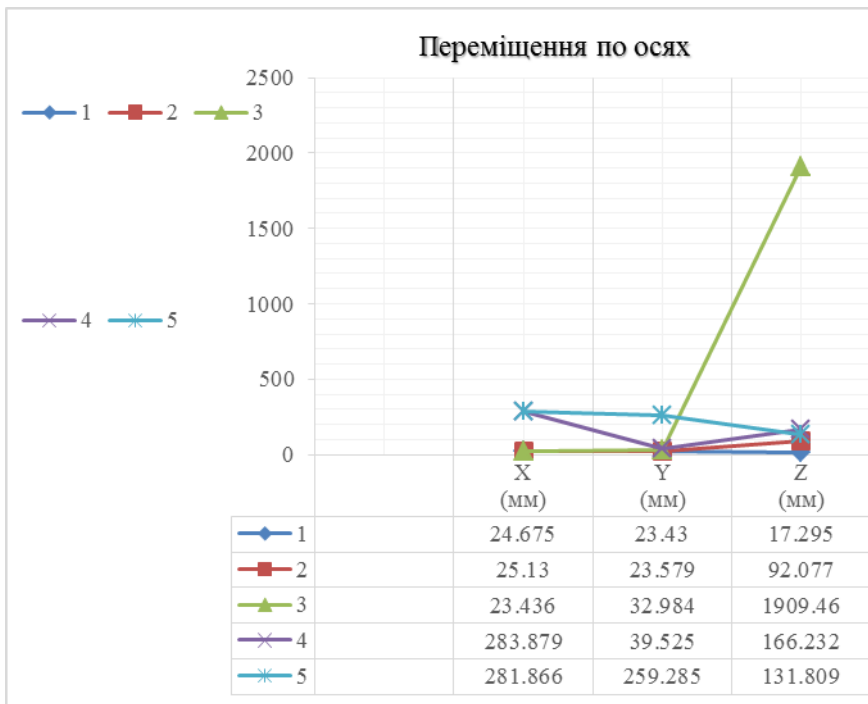


Рис. 6. Діаграма переміщення по осях координат

Результати проведених експериментів показали, що найефективніша форма, щодо мінімальних переміщень, відповідає 1-ій моделі. Менш ефективними є 2-га та 4-та моделі. Якщо прийняти ефективність моделі № 1 за 100%, тоді ефективність усіх інших, у порівнянні з нею, в порядку зростання подана у таблицях 5 та 6.

Таблиця 5

Порівняльна ефективність моделей за переміщеннями бічної поверхні

№ моделі	5	4	3	2	1
Порівняльна ефективність	8,88	11,87	84,1	98,77	100

Таблиця 6

Порівняльна ефективність моделей за переміщеннями дна

№ моделі	3	4	5	2	1
Порівняльна ефективність	0,9	10,4	13,1	18,78	100

Висновок. За результатами досліджень, найефективнішими формами щодо мінімальних переміщень стінок стали 1-ша та 2-га моделі. Відповідно до пункту 4.6 [2] у моделях 1 та 2 повністю виконується поставлена умова. У 3-й моделі переміщення і прогини від дії постійних, тривалих і короточасних навантажень на бічній поверхні не перевищують допустимих, тобто 1/150 прольоту.

1. ДБН В.1.2-2~2006. СНББ. Навантаження і впливи. Київ. МінБуд України. 2006.

2. ДСТУ Б В.1.2-3:2006. СНББ. Прогини і переміщення. Київ. МінБуд України. 2006.

## З М І С Т

Андрушков В.І., Тинчук С.О.	Про деякі особливості використання методу скінченних різниць при розрахунку оболонок довільної форми в прямокутних координатах.....	3
Астахова Н.В.	Активация залізозмісних наповнювачів для бетонів .....	12
Вакулюк Я.С., Щербина Л.В.	Інноваційні технології застосування зеленої покрівлі при проектуванні будівель і споруд.....	18
Валовой О.І., Єрьоменко О.Ю., Валовой М.О., Афанасьєв В.В., Герб П.І., Кобзар С.С.	Залежність між величиною зазорів болтових отворів та показниками міцності болтового з'єднання композитних профілів (GFRP).....	26
Вінцюк М.В., Самчук В.П., Кислюк Я.Д.	Розрахунок багатопролітної монолітної залізобетонної плити перекриття у фізично нелінійній постановці за допомогою ПК ЛІРА-САПР.....	35
Дзюбинська О.В., Смаль М.В., Дзюбинський А.В.	Картографічне відтворення кадастрової оцінки .....	44
Добровольська О.Г., Сокольник В.І.	Про оперативність ліквідації витоків на водопровідних мережах.....	50
Ільїн Я.В.	Визначення зміни показників морозостійкості асфальтобетону при підвищенні процентного складу полімеру.....	58
Коломійчук Г.П., Майстренко О.Ф., Коломійчук В.К.	Несуча здатність залізобетонних оболонок в загальному випадку анізотропії та складного напруженого стану.....	64

Майстренко О.Ф., Зінченко Г.В.	Застосування методу розкладання за власними функціями для дослідження напружень і деформацій біля вершини тріщини нормального відриву в залізобетонних елементах, що згинаються.....	72
Мамонов К.А., Нестеренко С.Г., Шаульський Д.В.	Теоретико-методичні підходи до визначення територіального розвитку використання земель регіонів.....	83
Мироненко М.Л.	Аспекти моніторингу земель міст у системі міського кадастру.....	91
Новак Є.В., Токарчук С.М.	Методика прогнозування організаційно-технологічних параметрів будівництва в зимових умовах.....	97
Палант О.В.	Спільний руйнівний вплив постійного і змінного струму витоків на обводнені конструкції.....	106
Парфентьева І.О., Мельник Ю.А., Олексин Х.А., Шевчук Т.В.	Особливості благоустрою території центральної частини сіл в аспекті об'єднання територіальних громад.....	113
Пасічник Р.В., Пасічник О.С., Ротко С.В., Матвійчук П.П.	Дослідження стійкості гіпара за дії розподіленого навантаження.....	119
Піріг Я.І.	Нормування в'язкості окислених дорожніх бітумів.....	126
Процюк В.О., Дробішинець С.Я.	Пошук альтернативних покриттів дорожнього одягу житлових вулиць.....	135
Стоянов В.В., Жгаллі Ш.	Застосування методу пристінкових функцій при моделюванні вітрових і снігових впливів на будівлі і споруди. Частина 1.....	143



Талах Л.О., Ужегова О.А., Дробишинець С.Я.	Визначення температури розм'якшення модифікованих бітумів за кільцем та кулею.....	153
Талах Л.О., Парфентьева І.О., Корева О.О.	Визначення однорідності та розтяжності (дуктильності) модифікованих бітумів.....	160
Трач Р.В.	Застосування концепції аналізу мереж при реалізації будівельних проектів.....	169
Хільченко О.П.	Силуропор - штучний пористий заповнювач із техногенної сировини гірничо-металургійних підприємств Кривого Рогу.....	177
Чапюк О.С., Гришкова А.В., Пахолук О.А.	Зчеплення металевих та композитних стержнів з важким бетоном.....	186
Чепурна С.М., Жидкова Т.В., Чепурна М.Є.	Бетонні вироби для реконструкції та інженерного благоустрою міських територій....	195
Плахотний Г.Н., Чернева О.С.	Інженерна реставрація пам'яток історії та архітектури Туркменістану (досвід і проблеми експедиції).....	205
Шишкіна О.О., Шишкін О.О.	Дослідження впливу міцелярного каталізу на міцність лужного реакційного порошкового бетону.....	212
Шолом В.В., Самчук В.П., Пахолук О.А.	Дослідження ефективності конструктивних форм підводних частин плаваючих будівель.....	219

Наукове видання

**Сучасні технології та методи розрахунків у будівництві**

**Збірник наукових праць**

**Випуск 10**

Верстка С.В. Ротко

Редактор В.І. Шваб'юк

Підписано до друку 26 грудня 2018 р. Формат 60 × 84 1/16.  
Папір офсетний

Гарнітура Times New Roman. Друк трафаретний.  
Умовн.друк.арк. 14,625. Тираж 100 пр. Зам. №\_\_\_

Віддруковано ІВВ Луцького НТУ, 43018, м.Луцьк, вул. Львівська, 75

Свідоцтво Держкомтелерадіо України ДК № 4123 від 28.07.2011 р.