

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ЛУЦЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

Сучасні технології
та методи розрахунків у будівництві

Збірник наукових праць

Випуск 17

Луцьк – 2022

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

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

Редакційна колегія:

Головний редактор – **Шваб'юк В.І.**, д.т.н., професор (ЛНТУ, Луцьк)
Заступник редактора – **Пастернак Я.М.**, д.ф.-м.н., професор (ЛНТУ, Луцьк)
Відповідальний секретар – **Ротко С.В.**, к.т.н., доцент (ЛНТУ, Луцьк)

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

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

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

Матеріали збірника рекомендовані до друку на засіданні Вченої ради Луцького національного технічного університету (протокол № 10 від 26 травня 2022 р.).

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

**ЗАСТОСУВАННЯ СПЛАВІВ ІЗ ПАМ'ЯТТЮ ФОРМИ
У БУДІВЕЛЬНИХ КОНСТРУКЦІЯХ**

**EMPLOYMENT OF SHAPE MEMORY ALLOYS
IN BUILDING STRUCTURES**

Биків Н.З., аспірант, **Ясній В.П.,** д.т.н. доцент, завідувач кафедри будівельної механіки (Тернопільський національний технічний університет імені Івана Пулюя, Тернопіль)

Bykiv N.Z., postgraduate, **Iasnii V.P.,** D. Sc., Associate Professor, Head of the Department of Structural Mechanics (Ternopil Ivan Puluji National Technical University, Ternopil)

Сплави з пам'яттю форми (СПФ) – це один із новітніх типів матеріалів, що є наступним етапом розвитку інтелектуальних. Вони здатні витримувати значні деформації (6-8%) та повертатися до своїх початкових станів. Основними властивостями цих сплавів є ефект пам'яті форми та ефект надпружності. Сплави пам'яті форми ефективно застосовуються у будівництві для підвищення стійкості конструкції та для розсіювання енергії зовнішніх чинників, будучи безпосередньо використаними у конструкції чи у приладах розсіювання енергії. СПФ використовують у формі дротин, стержнів, пружин, пластин та інших. Вивчення поведінки сплавів пам'яті форми у різних типах конструкцій за різних умов експлуатації продовжується.

Shape memory alloys (SMAs) – are one of the newest types of materials, which is the next stage in the development of intellectual one. Shape memory alloys, after application and removal of a load, are able to recover significant deformations (6-8%) and return to their predetermined shape. The main properties of these alloys are the shape memory effect and the pseudoelastic effect. Such properties give memory alloys a promising position among damping design solutions for passive, semi-active and active control methods. Shape memory alloys are effectively used in civil engineering to increase the stability of the structure and to dissipate energy from external exciters, compared to the classic design of plastic hinges.

The use of rods made of shape memory alloys in beams effectively restores the shape after bending deformations (up to 27%), closes cracks (up to 14% of crack width), absorbs residual stresses (up to 4%) and energy (up to 50%). When used in large bridges, shape memory alloys effectively dampen the amplitudes of free fluctuations (63%) and torsion (18%), and fluctuations (58%) and torsions (17%) caused by a moving body.

Shape memory alloys are also used in energy dissipation devices. Form memory alloys are used as wires, rods, springs, plates and more. Wires are a simple and effective way to use shape memory alloys in energy dissipation devices. To simplify calculations

and create predictable behavior in structures, a prototype has been developed that causes the tensile element of the memory to form exclusively tensile stresses. The possibility of pre-tensioning the shape memory alloy in such devices eliminates functional fatigue and the possibility of residual deformations.

The study of the behavior of shape memory alloys in different types of structures under different operating conditions continues.

Ключові слова: сплави з пам'яттю форми, ефект псевдопружності, підсилення, залізобетонні конструкції, розсіювання енергії, коливання.

Keywords: shape memory alloys, pseudoelasticity, reinforced concrete structures, strengthening, energy dissipation, fluctuation.

Вступ. Традиційні будівельні матеріали вже пройшли випробування часом і здобули визнання серед інженерів та архітекторів. Проте, для вирішення проблем сьогодення і створення технологічних конструкцій та споруд необхідно використовувати функціональні матеріали, одними з яких є сплави із пам'яттю форми (СПФ). Ці матеріали застосовують у різних галузях: літакобудуванні [1–3], космічній, машинобудівній [4–6], робототехніці [7–9], біоінженерії [10] та інших [11]. У будівництві та цивільній інженерії даний сплав є відносно новим. При розрахунку будівельних споруд з урахуванням епізодичного навантаження [12] збільшуються витрати матеріалів і собівартість конструкції. Застосування нових матеріалів, у тому числі й СПФ, може мати визначальну роль у вирішенні даної проблематики.

Серед СПФ комерційні сплави на основі NiTi демонструють одні з найвищих показників відновлення деформацій за дії ефектів пам'яті форми та надпружності, стійкість до корозії, біосумісність і достатні втомні характеристики. Застосування дротів і стержнів круглого сечення – це просте та ефективне рішення, що спрощує розрахунки завдяки рівномірним і передбачуваним напруженим станам. Виготовлення СПФ із круглим сеченням значно полегшує та збільшує обсяги виробництва, завдяки чому здешевлюється собівартість виготовлення.

Варто врахувати, що в усіх СПФ, у тому числі сплавах на базі нікелю (Ni), циклічне навантаження призводить до зменшення петлі гістерезису та накопичення залишкових деформацій. Діаметр і довжина теж впливають на ефективність роботи стержнів із СПФ. Відомо, що ефект надпружності у СПФ працює, коли зовнішня температура вища за температуру завершення аустенітної фази перетворень. Зниження зовнішньої температури зменшує площу петлі гістерезису. Так, тонкі дротини діаметром 0,5 мм залишаються у мартенситній фазі і не відновлюються до аустенітної, коли зовнішні температури опускаються нижче 273 К. Проте, дротини діаметром 2,36 мм зберігали ефект надпружності до 240 К [13].

При роботі стержнів СПФ за одновісного розтягу-стиску довжина впливає на фактичне значення відновлення деформацій. Так СПФ, які відновлюють 6% деформацій, довжиною в 1 м відновить 6 см видовження. Цей же сплав довжиною 10 м відновить 60 см.

Слід врахувати також особливість використання дротин і стержнів малого діаметра, оскільки вони можуть ефективно застосовуватися тільки за розтягу.

Приклади застосування СПФ у конструкціях. Розглядаючи СПФ як допоміжну арматуру у залізобетонних балках [14], з'явилась потреба розуміти, як поводить ся надпружний елемент у різних типах бетону [15,16]. У роботі [16] досліджували вісім балок, дві з яких підсилені прутками із NiTi сплаву. Двопролітні вільнооперті балки (рис.1) піддавали циклічному навантаженню. Довжини СПФ становили 200 мм, 250 мм та 320 мм (табл.1).

Для виготовлення залізобетонних балок використано два класи бетону із міцностями: $f_{ctest} = 37,5$ МПа (BN1-S, BN1-Nm, BN2-S, BN2-Nm, табл.1) та $f_{ctest} = 53,8$ МПа (BH1-S, BH1-Nm, BH2-S, BH2-Nm, табл.1). Виявлено, що кращі показники надпружності були в балках із бетону міцністю $f_{ctest} = 37,5$ МПа. Збільшивши відсоток армування балки, навантаження, при якому бетон починав розтріскуватися, змінилося наступним чином: з 19,4 кН до 12,8 кН – для балок із бетону міцністю $f_{ctest} = 37,5$ МПа та з 38,9 кН до 37,5 кН – для балок із бетону міцністю $f_{ctest} = 53,8$ МПа за звичайного армування; з 15,4 кН до 12,7 кН – для балок із бетону міцністю $f_{ctest} = 37,5$ МПа та з 12,1 до 15,4 кН – для балок із бетону міцністю $f_{ctest} = 37,5$ МПа при використанні СПФ.

У балках із вищим відсотком армуванням та стержнями із СПФ (BN2-Nm та BH2-Nm, табл.1) ефективність закриття тріщин зростає до 12,5% (BN2-Nm, табл.1) та до 14,3% (BH2-Nm, табл.1). У балок із меншим відсотком армування та стержнями із СПФ (BN1-Nm та BH1-Nm, табл.1), ефективність закриття тріщин склала 5% (BN1-Nm, табл.1) та 12,5% (BH1-Nm, табл.1). Зафіксовано більшу граничну деформацію балки із СПФ. Цей ефект більший у балках із бетону міцністю $f_{ctest} = 37,5$ МПа. Також, застосування СПФ у балках збільшує ефективність розсіювання енергії на понад 50%, сповільнює процес втрати жорсткості до руйнування та покращує деформівність.

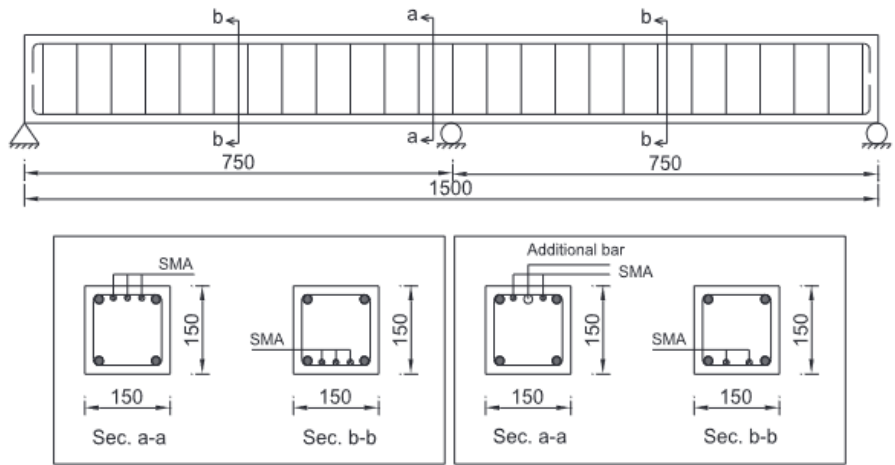


Рис. 1. Конструктивна схема досліджуваних балок [16]

Таблиця 1

Типи досліджуваних балок [16]

Group	Beam type	Section a-a			Section b-b	
		Steel bar	Additional steel bar	SMA strand	Steel bar	SMA strand
1	BN1-S	4Ø8	None	None	4Ø8	None
	BN1-Nm	4Ø8	None	3strand ₇ (L = 200)	4Ø8	3strand ₇ (L = 250)
	BH1-S	4Ø10	None	None	4Ø10	None
	BH1-Nm	4Ø10	None	3strand ₇ (L = 200)	4Ø10	3strand ₇ (L = 250)
2	BN2-S	4Ø10	1Ø8(L = 500)	None	4Ø10	None
	BN2-Nm	4Ø10	1Ø8(L = 500)	2strand ₇ (L = 250)	4Ø10	2strand ₇ (L = 320)
	BH2-S	4Ø12	1Ø10(L = 630)	None	4Ø12	None
	BH2-Nm	4Ø12	1Ø10(L = 630)	2strand ₇ (L = 250)	4Ø12	2strand ₇ (L = 320)

Основним із напрямків підсилення залізобетонних конструкцій надпружними сплавами є застосування їх у великогабаритних мостах [17].

Альтернативним застосуванням СПФ у мостових конструкціях є зовнішня надбудова для гасіння поперечних крутних коливань, що спричинені зовнішніми вібраціями [18]. До розробленої моделі мосту з органічного скла, представленої на рис. 2, кріпилися попередньо натягнуті (до 3,5%) стержні з нітинолу.

Досліджували поведінку мосту за дії вільних коливань, вільних крутних коливань (рис.3), вібраційних і крутних коливань, що спричинені рухомим тілом із сталою швидкістю (рис.4).

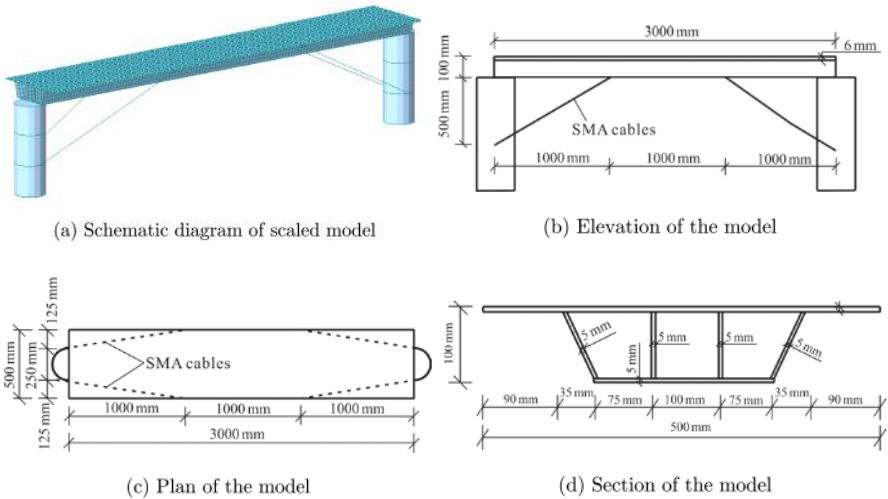


Рис. 2. Схема натурної моделі мосту [18]

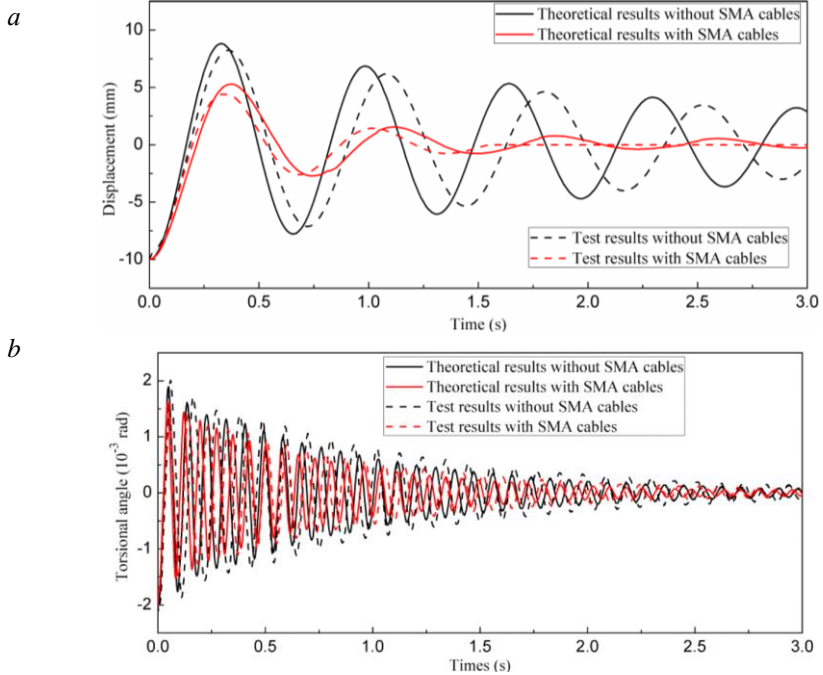


Рис. 3. Діаграми прогинів (а) та кручення (б) за вільного коливання [18]

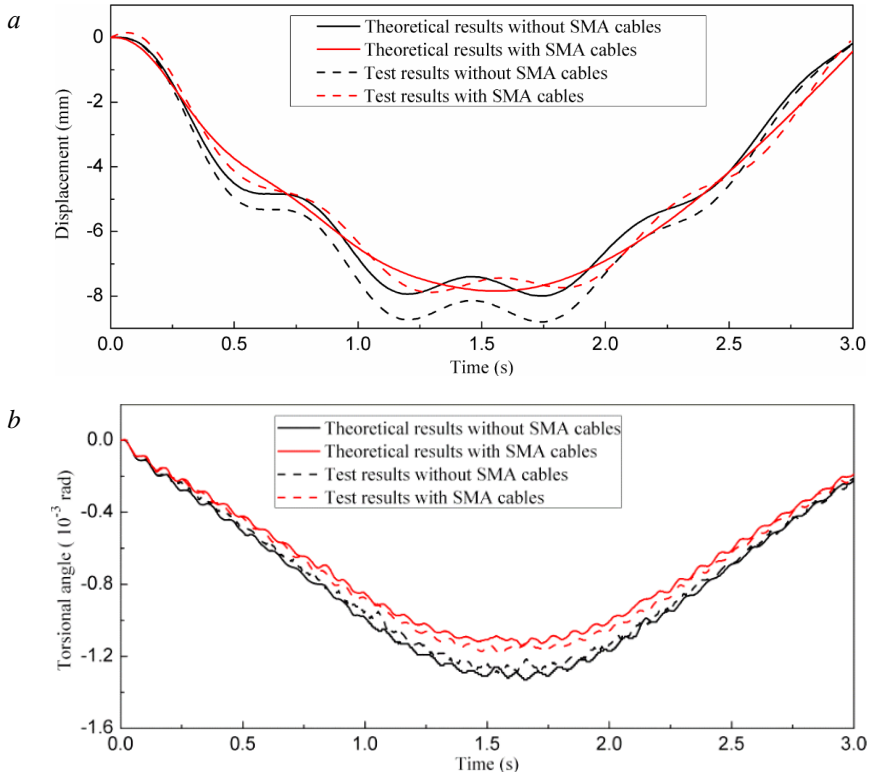


Рис. 4. Діаграми прогинів (а) та кручення (б), спричинені рухомим тілом із сталою швидкістю [18]

За результатами досліджень виявлено, що для прогнозування поведінки мостів із СПФ під дією вільних коливань та вільних коливань, спричинених рухомим тілом, відповідно, можна використовувати рівняння (1) та (2):

$$\rho A \frac{\partial^2 y(x,t)}{\partial t^2} + EI \frac{\partial^4 y(x,t)}{\partial x^4} + c \frac{\partial y(x,t)}{\partial t} + \delta(x - x_0) [k_{SMA} y(x,t) + c_{SMA} \frac{\partial y(x,t)}{\partial t}] = 0 \quad (1)$$

$$\begin{aligned} & \rho A \frac{\partial^2 y(x,t)}{\partial t^2} + EI \frac{\partial^4 y(x,t)}{\partial x^4} + c \frac{\partial y(x,t)}{\partial t} + \delta(x - x_0) \\ & \times [k_{SMA} y(x,t) + c_{SMA} \frac{\partial y(x,t)}{\partial t}] = \delta(x - vt) mg \end{aligned} \quad (2)$$

Застосування СПФ призвело до зменшення амплітуди вільних коливань на 63% та амплітуди кручення на 18% (рис.3). Амплітуди

кручення та вібраційних коливань, що спричинені рухомих тілом із сталю швидкістю зменшилися на 17% та 58%, відповідно (рис. 4) [18].

Також, розглядається доцільність використання СПФ як пластичних шарнірів, у тому числі в мостових опорах (рис. 5).

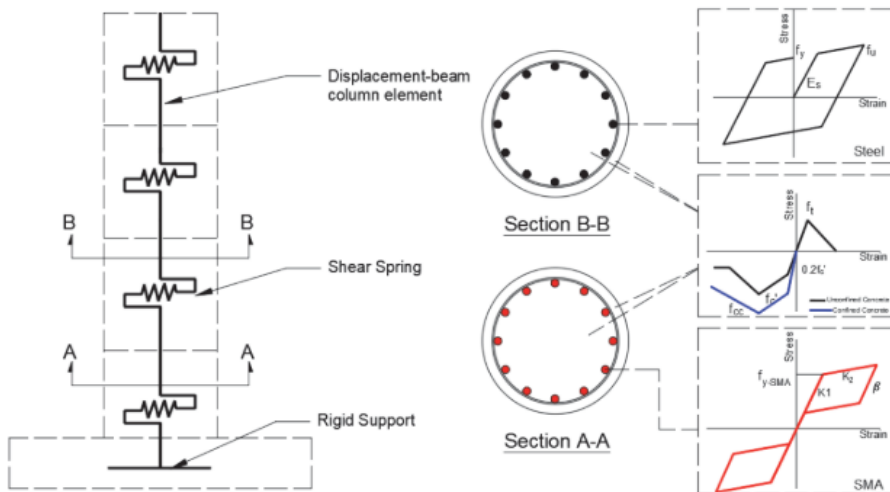


Рис. 5. Розрахункова модель опори мосту з пластичним шарніром зі СПФ [19]

Для визначення величини зміщення мостової конструкції із пластичним шарніром зі сплаву пам'яті форми, запропоновано використовувати формули (3) та (4):

$$\Delta_y = \frac{0.9\epsilon_{SMA}H^2}{3D} \text{ при } P/A_g f'_c > 0.05 \quad (3)$$

$$\Delta_y = \frac{0.7\epsilon_{SMA}H^2}{3D} \text{ при } P/A_g f'_c < 0.05 \quad (4)$$

де ϵ_{SMA} – відносне видовження за фазового перетворення; D – діаметр опори; H – висота опори; $P/A_g f'_c$ – коефіцієнт осьового навантаження; P – прикладене осьове навантаження, A_g – площа перерізу, f'_c – міцність бетону на стиск [19].

Варто зазначити, що впливом зовнішньої температури безпосередньо при застосуванні СПФ у конструкціях знехтували.

Сплави пам'яті форми також ефективно використовують при розробці приладів розсіювання енергії. Одним із таких приладів є прототип пасивного розсіювання енергії [20] створений із використанням двох дротин із надпружного NiTi сплаву, як основного компоненту.

Пристрій подібний до самоцентруючого приладу запроєктований Dolce та іншими у праці [21]. Ключовою відмінністю приладу є спеціальна конструкція, в якій дротини СПФ завжди сприйматимуть розтягуючі зусилля, навіть якщо прилад піддається стиску (рис. 6). Також, при розробці прототипу, закладена можливість попереднього натягу дротин із Нітинолу.

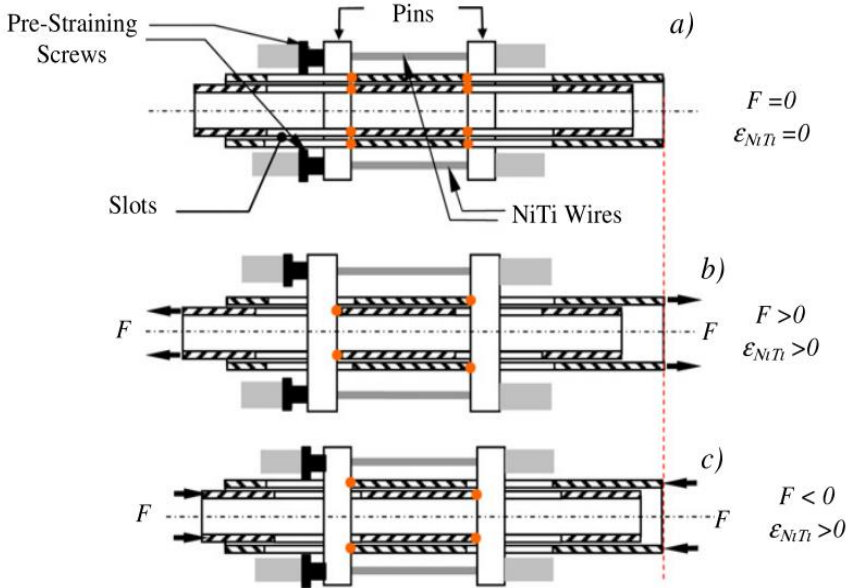


Рис. 6. Схематичне зображення принципу дії СПФ-приладу [20]

Враховуючи попереднє напруження, діаграма деформування дротини та залежність зусилля від переміщення пристрою представлені на рис. 7.

За циклічного навантаження в СПФ з'являється залишкова деформація до 2%, яку можна нівелювати, задавши необхідне попереднє напруження дротин.

Прототип, що розглядається у даній статті [20], був розроблений для номінальної довжини дроту з NiTi СПФ (вміст Ni 50,8%) довжиною 80 мм. Автор зазначає, що така довжина дозволяє нівелювати невеликі початкові різниці довжини завдяки попередньому натягу. Оскільки температура завершення аустенітної фази трансформації $A_f = -10$ °C, очікувалось, що пристрій працюватиме в стандартних умовах навколишнього середовища. Тому випробування проводили при кімнатній температурі 22°C на сервогидравлічній випробувальній машині.

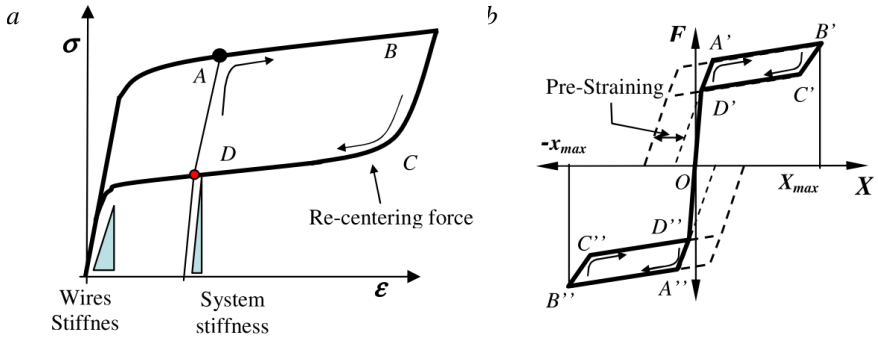


Рис. 7. Графіки напружено-деформованого стану дротини із Нітинолу (а) та приладу гасіння коливань (b) [20]

Було проведено два типи випробувань: зі звичайно закріпленими дротинами СПФ та із попередньо натягнутими дротинами в 2%. Ці прилади піддали 50-ти циклам розтягу-стиску зі швидкістю переміщення 1 мм/хв., але завдяки конструкції приладу, дротини піддавалися 100 циклам навантаження розтягом. На рисунку 8 представлено залежності зусилля від переміщення звичайно закріплених дротин (рис.8.a) і з натягом у 2% (рис.8.b). Амплітуди переміщення визначали з умов повного аустенітно-мартенситного перетворення NiTi сплаву. Це можна оцінити за невеликим збільшенням навантаження, яке спостерігається в кінці плато аустенітно-мартенситного перетворення (рис.8). Таким чином, амплітуди переміщень становили 6,75 мм для умов звичайного закріплення та 5 мм – для 2%-го попереднього натягу.

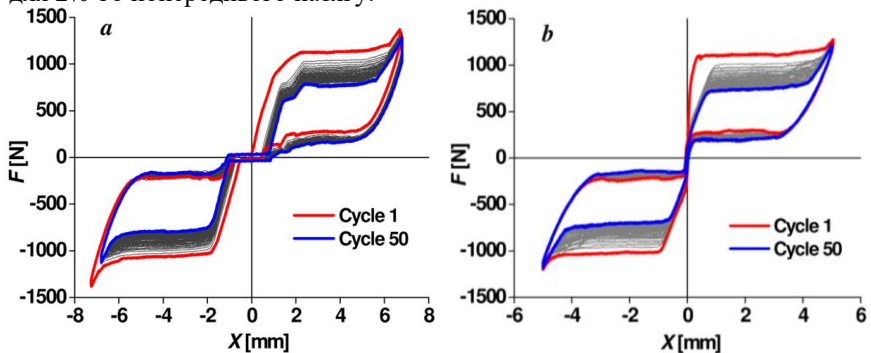


Рис. 8. Діаграми 50 циклів роботи приладів (100 циклів для дротин) із легким натягом (а) та 2% натягом (b) [20]

Функціональні властивості даного СПФ стабілізуються після 100 циклів навантаження, упродовж яких відбувається зменшення значень напружень аустенітно-мартенситного перетворення, що призводить до зменшення площі петлі гістерезису, а отже, кількості розсіюваної енергії.

References

1. Zhang Q. et al. Development and experimental verification of an adaptive structure for phased antenna array using SMA bunch // *Eng Struct.* Elsevier Ltd, 2020. Vol. 225. P. 111293.
2. Ajaj R.M. et al. Recent developments in the aeroelasticity of morphing aircraft // *Prog Aerosp Sci.* Elsevier Ltd, 2021. Vol. 120. P. 100682.
3. Pecora R. et al. SMA for aeronautics // *Shape Memory Alloy Engineering.* Elsevier, 2021. P. 527–559.
4. Leary M. et al. Design of shape memory alloy actuators for direct power by an automotive battery // *Mater Des.* Elsevier, 2013. Vol. 43. P. 460–466.
5. Zadafiya K. et al. Recent trends in non-traditional machining of shape memory alloys (SMAs): A review // *CIRP Journal of Manufacturing Science and Technology.* Elsevier Ltd, 2021. Vol. 32. P. 217–227.
6. Riccio A. et al. Shape memory alloys (SMA) for automotive applications and challenges // *Shape Memory Alloy Engineering.* Elsevier, 2021. P. 785–808.
7. Mao S. et al. Gait study and pattern generation of a starfish-like soft robot with flexible rays actuated by SMAs // *J Bionic Eng. Science Press*, 2014. Vol. 11, № 3. P. 400–411.
8. Hadi A. et al. Developing a novel SMA-actuated robotic module // *Sensors Actuators, A Phys.* Elsevier, 2010. Vol. 162, № 1. P. 72–81.
9. Mansour N.A. et al. Compliant closed-chain rolling robot using modular unidirectional SMA actuators // *Sensors Actuators, A Phys.* Elsevier B.V., 2020. Vol. 310. P. 112024.
10. Peng C. et al. Bio-inspired Design Methodology of Sensor-actuator-structure Integrated System for Artificial Muscle Using SMA // *Procedia CIRP.* Elsevier B.V., 2017. Vol. 65. P. 299–303.
11. Yasnii P.V. Dempfuiuchy i prystrii dlia transportuvania dovhomirnykh konstrukt sii / P.V. Yasnii, V.P. Iasnii. Patent na korysnu model №116582 Ukraïna, MPK F16F 7/12. Zaiavka № u2016 12829; zaiavl. 16.12.2016; opubl. 25.05.2017, Biul. № 10
12. DBN V.1.2-2:2006 Navantazhenia ta vplyvy. Normy proektuvania: ДБН В.1.2-2:2006. Ukraine, 2006.
13. Torra V., Casciati S., Vece M. Shape Memory Alloys Wires: From Small to Medium Diameter // *Adv Sci Technol.* 2016. Vol. 101. P. 79–88.
14. Bykiv N.Z., Yasnii P.V., Iasnii V.P. Modeling of mechanical behavior of

reinforced concrete beam reinforced by the shape memory alloy insertion using finite elements method // *Сучасні Технології Та Методи Розрахунків У Будівництві*. 2020. Vol. 3, № 13. P. 24–34.

15. Gholampour A., Ozbakkaloglu T. Understanding the compressive behavior of shape memory alloy (SMA)-confined normal- and high-strength concrete // *Compos Struct*. Elsevier Ltd, 2018. Vol. 202. P. 943–953.

16. Azadpour F., Maghsoudi A.A. Experimental and analytical investigation of continuous RC beams strengthened by SMA strands under cyclic loading // *Constr Build Mater*. Elsevier Ltd, 2020. Vol. 239. P. 117730.

17. Jung D., Wilcoski J., Andrawes B. Bidirectional shake table testing of RC columns retrofitted and repaired with shape memory alloy spirals // *Eng Struct*. Elsevier Ltd, 2018. Vol. 160. P. 171–185.

18. Ai-Rong L. et al. A Method of Reinforcement and Vibration Reduction of Girder Bridges Using Shape Memory Alloy Cables // *Int J Struct Stab Dyn*. 2017. Vol. 17, № 7. P. 6–23.

19. Abraik E., Al O. Examining the yielding displacement of concrete bridge piers equipped with shape memory alloy rebars Examining the yielding displacement of concrete bridge piers equipped with shape memory alloy rebars Emad Abraik.

20. Soul H., Yawny A. Self-centering and damping capabilities of a tension-compression device equipped with superelastic NiTi wires // *Smart Mater Struct*. 2015. Vol. 24, № 7. P. 075005.

21. Dolce M., Cardone D., Marnetto R. SMA recentering devices for seismic isolation of civil structures // *Smart Struct Mater 2001 Smart Syst Bridg Struct Highw*. 2001. Vol. 4330, № May. P. 238–249.

Список використаної літератури

1. Zhang Q. et al. Development and experimental verification of an adaptive structure for phased antenna array using SMA bunch // *Eng Struct*. Elsevier Ltd, 2020. Vol. 225. P. 111293.

2. Ajaj R.M. et al. Recent developments in the aeroelasticity of morphing aircraft // *Prog Aerosp Sci*. Elsevier Ltd, 2021. Vol. 120. P. 100682.

3. Pecora R. et al. SMA for aeronautics // *Shape Memory Alloy Engineering*. Elsevier, 2021. P. 527–559.

4. Leary M. et al. Design of shape memory alloy actuators for direct power by an automotive battery // *Mater Des*. Elsevier, 2013. Vol. 43. P. 460–466.

5. Zadafiya K. et al. Recent trends in non-traditional machining of shape memory alloys (SMAs): A review // *CIRP Journal of Manufacturing Science and Technology*. Elsevier Ltd, 2021. Vol. 32. P. 217–227.

6. Riccio A. et al. Shape memory alloys (SMA) for automotive applications and challenges // *Shape Memory Alloy Engineering*. Elsevier, 2021. P. 785–808.

7. Mao S. et al. Gait study and pattern generation of a starfish-like soft robot with flexible rays actuated by SMAs // *J Bionic Eng. Science Press*, 2014. Vol. 11, № 3. P.

400–411.

8. Hadi A. et al. Developing a novel SMA-actuated robotic module // *Sensors Actuators, A Phys. Elsevier*, 2010. Vol. 162, № 1. P. 72–81.

9. Mansour N.A. et al. Compliant closed-chain rolling robot using modular unidirectional SMA actuators // *Sensors Actuators, A Phys. Elsevier B.V.*, 2020. Vol. 310. P. 112024.

10. Peng C. et al. Bio-inspired Design Methodology of Sensor-actuator-structure Integrated System for Artificial Muscle Using SMA // *Procedia CIRP. Elsevier B.V.*, 2017. Vol. 65. P. 299–303.

11. Ясній П.В. Демпфуючий пристрій для транспортування довгомірних конструкцій / П.В. Ясній, В.П. Ясній. Патент на корисну модель №116582 Україна, МПК F16F 7/12. Заявка № u2016 12829; заявл. 16.12.2016; опубл. 25.05.2017, Бюл. № 10

12. DBN V.1.2-2:2006 Navantazhenia ta vplyvy. Normy proektuvania: ДБН В.1.2-2:2006. Ukraine, 2006.

13. Torra V., Casciati S., Vece M. Shape Memory Alloys Wires: From Small to Medium Diameter // *Adv Sci Technol*. 2016. Vol. 101. P. 79–88.

14. Bykiv N.Z., Yasniy P.V., Iasniy V.P. Modeling of mechanical behavior of reinforced concrete beam reinforced by the shape memory alloy insertion using finite elements method // *Сучасні Технології Та Методи Розрахунків У Будівництві*. 2020. Vol. 3, № 13. P. 24–34.

15. Gholampour A., Ozbakkaloglu T. Understanding the compressive behavior of shape memory alloy (SMA)-confined normal- and high-strength concrete // *Compos Struct. Elsevier Ltd*, 2018. Vol. 202. P. 943–953.

16. Azadpour F., Maghsoudi A.A. Experimental and analytical investigation of continuous RC beams strengthened by SMA strands under cyclic loading // *Constr Build Mater. Elsevier Ltd*, 2020. Vol. 239. P. 117730.

17. Jung D., Wilcoski J., Andrawes B. Bidirectional shake table testing of RC columns retrofitted and repaired with shape memory alloy spirals // *Eng Struct. Elsevier Ltd*, 2018. Vol. 160. P. 171–185.

18. Ai-Rong L. et al. A Method of Reinforcement and Vibration Reduction of Girder Bridges Using Shape Memory Alloy Cables // *Int J Struct Stab Dyn*. 2017. Vol. 17, № 7. P. 6–23.

19. Abraik E., Al O. Examining the yielding displacement of concrete bridge piers equipped with shape memory alloy rebars Examining the yielding displacement of concrete bridge piers equipped with shape memory alloy rebars Emad Abraik.

20. Soul H., Yawny A. Self-centering and damping capabilities of a tension-compression device equipped with superelastic NiTi wires // *Smart Mater Struct*. 2015. Vol. 24, № 7. P. 075005.

21. Dolce M., Cardone D., Marnetto R. SMA recentering devices for seismic isolation of civil structures // *Smart Struct Mater 2001 Smart Syst Bridg Struct Highw*. 2001. Vol. 4330, № May. P. 238–249.

ЗАСТОСУВАННЯ ДЕРЕВИНИ В УМОВАХ АГРЕСИВНИХ СЕРЕДОВИЩ

APPLICATION OF WOOD IN THE CONDITIONS OF AGGRESSIVE ENVIRONMENTS

Гомон Св.Св., д.т.н., проф., Гомон Св.Ст., д.т.н., проф.,
Матвіюк О.В., ст.викл., (Національний університет водного
господарства та природокористування, Рівне), Верешко О.В., ст.викл.
(Луцький національний технічний університет, Луцьк),
Чорномаз Н.Ю., к.т.н. (Тернопільський національний технічний
університет імені Івана Пулюя, Тернопіль)

**Homon S.S., Dh.D., professor, Gomon S.S., Dh.D., professor,
Matviuk O.V., senior lecturer (National University of Water and
Environmental Engineering, Rivne), Vereshko O.V., senior lecturer (Lutsk
National Technical University, Lutsk), Chornomaz N.Yu., Ph.D., (Ternopil
Ivan Pulu National Technical University)**

*Проаналізовано стан наукових досліджень деревини під дією різних водних,
лужних та кислотних середовищ. Висвітлено область застосування деревини при
експлуатації під дією різних водних, лужних та кислотних середовищ. Висвітлено
область подальших досліджень.*

*The state of scientific research of wood under the influence of various aqueous,
alkaline and acidic media is analyzed by domestic and foreign scientists. The scope of
application of wood materials, elements and structures separately in aqueous, alkaline
and acidic environments is given in detail. Experimental and theoretical studies
conducted in the past by various researchers of solid, glued and modified wood under the
aggressive action of aqueous, acidic and alkaline media are highlighted. The scope of
application of wood in operation under the influence of various aggressive media is
given.*

*Wood, as well as other materials (metal, concrete, reinforced concrete, plastics),
are exposed to various aggressive media (water, alkaline, acidic, and others). Wood-
based materials, elements and structures are used in various fields of construction,
mechanical engineering, shipbuilding, mining and furniture industries, and the
agricultural sector. In some cases, they work in conditions of direct exposure to
moisture, alkalis and acids.*

*If we talk about the water environment, then the most popular are the operation of
transport structures (wooden bridges), load-bearing structures of sports facilities,
gazebos, benches and other structures.*

*On the other hand, wood can come into direct contact with water during operation,
and on the other hand, only its vapors can be present. Such conditions should be taken*

into account when designing objects made of wood for various purposes. Under such conditions, mechanical and physical properties are variables that need to be investigated by modeling in scientific laboratories.

In our previous works, some of these studies were conducted and it was found that when water is directly exposed to Wood, the strength decreases, and the deformation indicators, on the contrary, increase.

It is established that the mechanical and physical properties of wood under the action of alkali and acid have not been sufficiently studied and require many clarifications. The area of further research is highlighted.

Ключові слова: деревина, агресивне середовище, вода, луг, кислота.

Keywords: wood, aggressive environment, water, alkali, acid.

Постановка проблеми. На даний час деревина застосовується в багатьох сферах економіки. На основі деревини виготовляють деталі, матеріали, елементи, конструкції, речі повсякденного вжитку. Вона може використовуватися у натуральному вигляді (суцільним масивом) або може бути клеєною, модифікованою, у вигляді з'єднань тощо. Мікро- та макроструктура деревини є стійкою (рис.1).

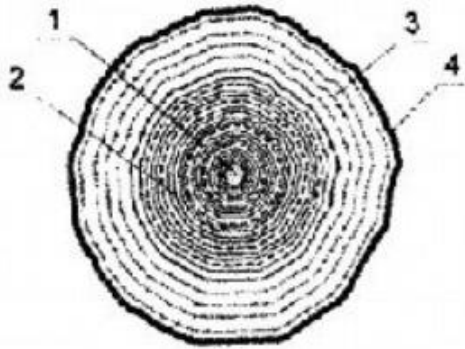


Рис.1. Будова деревини
(1 - серцевина, 2 – ядро, 3 – заболонь, 4 – камбій, луб, кора)

Деревина – міцний матеріал природного походження, який може працювати в різних агресивних середовищах. До таких можна віднести: водне, лужне, кислотне та інші.

Досить цікавим питанням є область застосування деревини в таких середовищах та їх вплив на фізичні та механічні характеристики.

Аналіз відомих досліджень і публікацій. Більшість публікацій, що знаходимо на даний час в літературі, а також наших досліджень [3-9],

стосується роботи деревини у водному середовищі [1, 2]. Такі дослідження проводилися, як в Україні, так і за її межами. Досліджувалися фізико-механічні властивості деревини листяних і хвойних порід. Набагато менше випробувань знаходимо в літературі, що стосується впливу кислотного та лужного середовищ. І то дані, що є в наявності, дуже різняться в різних авторів [10-12]. Деякі дослідження проводились і нами, зокрема, роботу деревини сосни та берези в різних кислотних середовищах [13-17].

Метою даної статті є встановити область застосування деревини під дією різних агресивних середовищ.

Основна частина. Деревина, як і інші матеріали (метал, бетон, залізобетон, пластмаси), зазнають впливу різних агресивних середовищ (водного, лужного, кислотного та інших). Матеріали, елементи та конструкції на основі деревини застосовуються в різних галузях будівництва, машинобудування, суднобудування, гірничій та меблевій промисловостях, аграрному секторі. В деяких випадках працюють в умовах безпосереднього впливу вологи, лугів та кислот.

Якщо ж говорити про водне середовище, то найбільш популярними є експлуатація транспортних споруд (дерев'яних мостів) (рис.2, рис.3), несучих конструкцій спортивних споруд (рис.4), альтанок (рис.5), лав та інших споруд.

З одного боку, деревина при експлуатації може безпосередньо контактувати з водою, а з іншого – можуть бути тільки її випари (рис. 4). Такі умови необхідно враховувати при проектуванні об'єктів з деревини різного призначення. За таких умов механічні та фізичні властивості є змінними, їх необхідно досліджувати, моделюючи в наукових лабораторіях.

Нами були проведені деякі з таких досліджень [3-9] та встановлено, що при безпосередньому впливі води на деревину міцність зменшується, а деформативні показники, навпаки, збільшуються.

Що ж стосується інших агресивних середовищ, зокрема лужних і кислотних, то, як правило, це впливає на деревину контактено та безконтактно. Це залежить від того, де експлуатується деревина, зокрема, на яких підприємствах. Такими в більшості слугують підприємства хімічної промисловості, а також можуть бути сільськогосподарські підприємства (корівники, свинарники, конюшні, вівчарні та інші).



Рис. 2. Дерев'яний міст через річку Стир



Рис. 3. Міст з модифікованої деревини



Рис.4. Басейн з несучими конструкціями з деревини



Рис. 5. Альтанки з деревини

Отже, вплив кислотних і лужних середовищ є на підлоги, двері, вікна, несучі та ненесучі конструкції і багато інших. Механічні та фізичні властивості деревини за таких умов досліджено недостатньо і потребують багатьох уточнень.

В подальшому необхідно встановити вплив таких середовищ за різних компонентів та концентрацій.

Висновки

- 1) проаналізовано стан наукових досліджень деревини під дією різних водних, лужних і кислотних середовищ;
- 2) висвітлено область застосування деревини при експлуатації під дією різних водних, лужних і кислотних середовищ;
- 3) висвітлено область подальших досліджень.

References

1. Madsen B. Recommended moisture adjustment factor for lumber stresses. *Can. J. Civil Engineering*. 1982. Vol. 9. №4. P. 602–610.
2. Mårtensson A. Mechanical behavior of wood exposed to humidity variations. Thesis, Report TVBK-1006, Lund Institute of Technology, Dept. Struct. Eng., Sweden, 1992. 189 p.
3. Vasic S., Stanzl-Tschegg S. Experimental and numerical investigation of wood fracture mechanisms at different humidity levels. *Holzforschung*. Berlin, New York, 2007. Vol. 61. Pp. 367–374.
4. Yasniy P.V., Homon S.S. Doslidzhennya sichnykh moduliv lystyanykh ta khvoynykh porid derevyny z riznym pokaznykom volohosti. *Visnyk Vinnyts'koho politekhnichnoho instytutu*. Vinnytsya: VNTU, 2020. Vyp. 4 (151). S. 125–130.
5. Yasniy P.V., Homon S.S. Eksperymental'ni doslidzhennya sutsil'noyi derevyny konstruktivnykh rozmiriv z vrakhuvannyam faktora volohosti. *Suchasni tekhnolohiyi, materialy i konstruktivni v budivnytstvi*. Vinnytsya: VNTU, 2020. Tom 28. №1. S. 41–48.
6. Homon S.S., Savchuk V.O., Mel'nyk YU. A., Vereshko O.V. Aproksymatsiya diahram mekhanichnoho stanu derevyny z pidvyshchenym vmistom volohy. *Inovatsiyni protsesy v haluzi dorozhn'oho budivnytstva: materialy IV vseukrayins'koyi naukovy- praktychnoyi internet- konferentsiyi molodykh uchenykh ta studentiv*, m. Luts'k, 30 zhovtnya 2020 r. Luts'k: LNTU, 2020.
7. Homon S., Gomon P., Gomon S., Dovbenko T., Savitskiy V., Matviiuk O., Kulakovskiy L., Bronytskiy V., Bosak A., Chornomaz N. Experimental and statistical studies of the initial module of elasticity and the module of deformations of continuous wood at different ages and moisture content. *AD ALTA - JOURNAL OF INTERDISCIPLINARY RESEARCH*, 2022, 12(1). Special Issue XXV. Pp. 321-326.
8. Homon Sv. Sv. Polipshennya mitsnisnykh ta deformivnykh vlastyvostey sutsil'noyi derevyny ta kompozytsiynykh materialiv na yiyi osnovi: dys. ... dokt. tekhn. nauk: 01.02.04. Ternopil', 2021. 387 s.
9. Yasniy P.V., Homon Sv.Sv. Dynamika zminy krytychnykh deformatsiy derevyny z riznym pokaznykom volohosti. *Resursoekonomni materialy, konstruktivni, budivli ta sprudy*. Rivne: NUVHP, 2021. Vyp 40. S. 234-241.

10. Grinkrug N.V. Modelirovaniye i raschet elementov derevyannykh konstruksiy pri khimicheskikh agressivnykh vozdeystviyakh: diss. kand. tekhn. nauk, 05.23.01. Vladivostok, 2004. 202 s.
11. Vanin S.I., Prikot N.G. Vliyaniye kislot i shchelochey na fiziko-mekhanicheskiye svoystva drevesyiny. Trudy LTA. Leningrad, 1947. Vyp. 61. S. 55-90.
12. Sashin M.A. Prognozirovaniye i povysheniye dolgovechnosti i dlitel'noy prochnosti drevesyiny v stroitel'nykh izdeliyakh i konstruksiyakh: diss. ... kand. tekhn. nauk: 05.23.05. Tambov, 2006. 182 s.
13. Homon Sv.Sv., Savchuk S.M., Vereshko O.V., Kulakovs'kyu L.YA. Metodyka eksperymental'nykh doslidzhen' sutsil'noyi derevyiny na styak uzdozh volokon pid vplyvom ahresyvnoho seredovyshcha. Resursoekonomni materialy, konstruksiyi, budivli ta sporudy. Rivne: NUVHP, 2021. Vyp. 39. S. 57–62.
14. Homon Sv.Sv., Matviyuk O.V., Dovbenko T.O., Savchuk S.M., Vereshko O.V., Kulakovs'kyu L.YA. Doslidzhennya mitsnisnykh pokaznykiv derevyiny pid vplyvom ahresyvnoho seredovyshcha. Resursoekonomni materialy, konstruksiyi, budivli ta sporudy. Rivne: NUVHP, 2021. Vyp. 40. S. 10–17.
15. Homon Sv.Sv., Matviyuk O.V., Savchuk S.M., Vereshko O.V., Kulakovs'kyu L.YA. Vplyv ahresyvnoho seredovyshcha na mitsnisni ta deformivni pokaznyky sutsil'noyi derevyiny khvoynykh porid. Visnyk Natsional'noho universytetu vodnoho hospodarstva ta pryrodokorystuvannya. Seriya «Tekhnichni nauky». Rivne: NUVHP, 2021. Vypusk 2(94). S. 69–80.
16. Homon Sv.Sv., Dovbenko T.O., Matviyuk O.V., Savchuk S.M. Vplyv ahresyvnoho seredovyshcha na sutsil'nu ta modyfikovanu derevyinu. Visnyk Natsional'noho universytetu vodnoho hospodarstva ta pryrodokorystuvannya. Seriya «Tekhnichni nauky». Rivne: NUVHP, 2021. Vypusk 3(95). S. 139–147.
17. Vereshko O.V., Homon Sv.Sv., Homon Sv.St., Dovbenko T.O. Deformivni pokaznyky derevyiny berezy ta sosny pid diyeyu kyslotnykh seredovyshch. Naukovi notatky. Luts'k: LNTU, 2021. № 72. S. 175-179.

Список використаної літератури

1. Madsen B. Recommended moisture adjustment factor for lumber stresses. Can. J. Civil Engineering. 1982. Vol. 9. №4. P. 602–610.
2. Märtensson A. Mechanical behavior of wood exposed to humidity variations. Thesis, Report TVBK-1006, Lund Institute of Technology, Dept. Struct. Eng., Sweden, 1992. 189 p.
3. Vasic S., Stanzl-Tschegg S. Experimental and numerical investigation of wood fracture mechanisms at different humidity levels. Holzforschung. Berlin, New York, 2007. Vol. 61. Pp. 367–374.
4. Ясній П.В., Гомон С.С. Дослідження січних модулів листяних та хвойних порід деревини з різним показником вологості. *Вісник Вінницького політехнічного інституту*. Вінниця: ВНТУ, 2020. Вип. 4 (151). С. 125–130.
5. Ясній П.В., Гомон С.С. Експериментальні дослідження суцільної деревини конструкційних розмірів з врахуванням фактора вологості. *Сучасні технології, матеріали і конструкції в будівництві*. Вінниця: ВНТУ, 2020. Том 28. №1. С. 41–48.
6. Гомон С.С., Савчук В.О., Мельник Ю. А., Верешко О.В. Апроксимація діаграм механічного стану деревини з підвищеним вмістом вологи. *Іноваційні процеси в галузі дорожнього будівництва: матеріали IV всеукраїнської науково-практичної*

інтернет- конференції молодих учених та студентів, м. Луцьк, 30 жовтня 2020 р. Луцьк: ЛНТУ, 2020.

7. Gomon S., Gomon P., Gomon S., Dovbenko T., Savitskiy V., Matviiuk O., Kulakovskiy L., Bronytskyi V., Bosak A., Chornomaz N. Experimental and statistical studies of the initial module of elasticity and the module of deformations of continuous wood at different ages and moisture content. AD ALTA - JOURNAL OF INTERDISCIPLINARY RESEARCH, 2022, 12(1). Special Issue XXV. Pp. 321-326.

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

9. Ясній П.В., Гомон Св.Св. Динаміка зміни критичних деформацій деревини з різним показником вологості. Ресурсоекономні матеріали, конструкції, будівлі та споруди. Рівне: НУВГП, 2021. Вип. 40. С. 234-241.

10. Гринкруг Н.В. Моделирование и расчет элементов деревянных конструкций при химических агрессивных воздействиях: дисс. канд. техн. наук, 05.23.01. Владивосток, 2004. 202 с.

11. Ванін С.И., Прикот Н.Г. Влияние кислот и щелочей на физико-механические свойства древесины. Труды ЛТА. Ленинград, 1947. Вып. 61. С. 55-90.

12. Сашин М.А. Прогнозирование и повышение долговечности и длительной прочности древесины в строительных изделиях и конструкциях: дисс. ... канд. техн. наук: 05.23.05. Тамбов, 2006. 182 с.

13. Гомон Св.Св., Савчук С.М., Верешко О.В., Кулаковський Л.Я. Методика експериментальних досліджень суцільної деревини на стиск уздовж волокон під впливом агресивного середовища. Ресурсоекономні матеріали, конструкції, будівлі та споруди. Рівне: НУВГП, 2021. Вип. 39. С. 57–62.

14. Гомон Св.Св., Матвіюк О.В., Довбенко Т.О., Савчук С.М., Верешко О.В., Кулаковський Л.Я. Дослідження міцнісних показників деревини під впливом агресивного середовища. Ресурсоекономні матеріали, конструкції, будівлі та споруди. Рівне: НУВГП, 2021. Вип. 40. С. 10–17.

15. Гомон Св.Св., Матвіюк О.В., Савчук С.М., Верешко О.В., Кулаковський Л.Я. Вплив агресивного середовища на міцнісні та деформівні показники суцільної деревини хвойних порід. Вісник Національного університету водного господарства та природокористування. Серія «Технічні науки». Рівне: НУВГП, 2021. Випуск 2(94). С. 69–80.

16. Гомон Св.Св., Довбенко Т.О., Матвіюк О.В., Савчук С.М. Вплив агресивного середовища на суцільну та модифіковану деревину. Вісник Національного університету водного господарства та природокористування. Серія «Технічні науки». Рівне: НУВГП, 2021. Випуск 3(95). С. 139–147.

17. Верешко О.В., Гомон Св.Св., Гомон Св.Ст., Довбенко Т.О. Деформівні показники деревини берези та сосни під дією кислотних середовищ. Наукові нотатки. Луцьк: ЛНТУ, 2021. № 72. С. 175-179.

**НАПРУЖЕНО-ДЕФОРМОВАНИЙ СТАН БАЛОК ІЗ
ДЕРЕВИНИ З КОМБІНОВАНИМ АРМУВАННЯМ НА РІЗНИХ
РІВНЯХ ЗАВАНТАЖЕНЬ**

**STRESS-STRAIN STATE OF WOOD BEAMS WITH COMBINED
REINFORCEMENT AT DIFFERENT LOAD LEVELS**

**Гомон П. С., к.т.н., доц., Поліщук М. В., асп. (Національний
університет водного господарства та природокористування, Рівне)**

**Gomon P. S., candidate of technical sciences, associate professor,
Polishchuk M. V., post-graduate student (National University of Water
Management and Environmental Engineering, Rivne)**

Розглянуто особливості напружено-деформативного стану нормальних розрахункових перерізів комбіновано армованих елементів з клеєної деревини при поперечному прямому згині за деформаційною моделлю розрахунку.

Timber is the oldest building material, which, due to its restorative, ecological cleanliness and aesthetics, strengthens its position in the construction industry market. At present, all calculations of constructions of solid and glued wood for different types of loads, according to the operating norms of different countries, are carried out by the method of boundary states, which are based on elastic wood work.

The methodology of calculation of elements from solid or glued wood for working on a pure transverse bend using a strain model based on a series of experimental studies and analysis of their work is developed. For the developed method, the concept of "calculated cross-section" is used, which involves the formation of a fold in front of a destructive state and four stages of a stress-strain state of a timber element operating on a straight transverse bend.

The proposed method of deformation model for the calculation of elements from wood is based on the use of complete diagrams of the mechanical state of the material under longitudinal compression, including the downward deformation branch at the critical stage of work.

Deformations in the calculated cross-section are determined by the curvature at any point of the section and taking into account the smallness of their values.

On the basis of deformations, the stress in a normal cross-section is described by two functions in three different sections: the first section is the tensile region from the bottom of the element to the neutral line; the second section - from the neutral line to the maximum stress in the compressed zone; the third section - from the maximum stress in the compressed zone to the top of the element.

The method for calculating solid and glued wood beams using a deformation model is developed. This method takes into account the distribution of stresses in height of the compressed and stretched zones of the calculated cross-section and provides for the formation of folds in the compressed zone of the element in the area of pure bending. It also fully allows to examine and experimentally investigate the stress-strain state under load of glued beams at different stages of their work.

Ключові слова: деревина, розрахунок, деформації, напруження.

Keywords: timber, calculation, deformations, tension.

Постановка проблеми та аналіз останніх публікацій. Армувати дерев'яні будівельні конструкції було запропоновано в Німеччині А. Фішером у 1926 р. Перші армовані конструкції на початку 20-го століття були не досить вдалимими із-за податливості в'язів між деревиною та арматурою. Одним із шляхів усунення негативних недоліків деревини та підвищення техніко-економічної ефективності нині є комбіноване армування перерізів клеєних дерев'яних конструкцій сталевую у стиснутій зоні та композитною пластиковою арматурою – у розтягнутій зоні [1,2,3,4,5] за допомогою синтетичних клеїв.

Розвиток і використання армованих дерев'яних конструкцій йде у двох напрямках: а) з використанням пасивної (ненапруженої) арматури [6,7,8]; б) з використанням попередньо напруженої арматури [9,10].

Нами було запропоновано й досліджено конструкцію армованих балок, як без попереднього напруження арматури, так і варіант, коли арматура в розтягнутій зоні піддавалась попередньому напруженню [11].

В даній роботі розглядається напружено-деформований стан на різних стадіях завантаження саме армованих дерев'яних балок без попереднього напруження.

Виклад основного матеріалу. Дослідження було виконано для трьох дерев'яних балок. Всі вони мали розміри поперечного перерізу 100x150 мм та довжину 3000 мм. Однак, перша балка була неармованою і відносилась до I серії випробувань. Друга та третя балки були армовані у стиснутій зоні сталевую стержневою арматурою діаметром 12 та 16 мм, відповідно, і залежно від цього вони відносились до II та III серії випробувань, а в розтягнутій зоні вони однаковим чином армувались зовнішньою стрічковою вуглепластиковою арматурою, як показано на рис. 1.

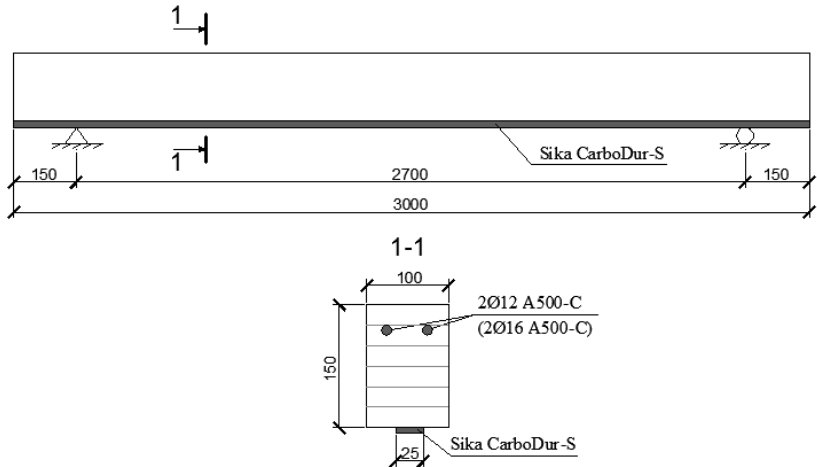


Рис. 1. Схема армування балок II та III серії випробувань сталевую та композитною арматурою

Розрахункова схема випробування на згин наведена на рис. 2.

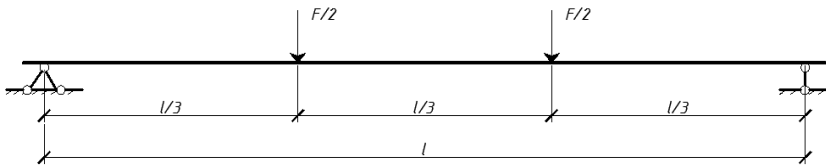


Рис. 2. Розрахункова схема випробування балок з клеєної деревини

За результатами випробувань на згин були отримані значення відносних деформацій по висоті перерізу в зоні чистого згину. На основі цих значень, згідно пропозицій [12], були розраховані напруження у межах розрахункового перерізу:

$$f_1(u) = \sigma_{t,d} = E \cdot u_{t,d}, \quad (1)$$

$$f_2(u) = \sigma_{c,d} = k_1 \cdot u_{c,d} + k_2 \cdot u_{c,d}^2, \quad (2)$$

де $f_1(u)$ – напруження розтягнутої зони; $f_2(u)$ – напруження стиснутої зони, $u_{t,d}$ – відносні деформації деревини за розтягу;

$u_{c,d}$ – відносні деформації деревини за стиску; E – модуль пружності деревини при роботі на розтяг;

k_1, k_2 – коефіцієнти поліному, що обчислюються за виразами:

$$k_1 = \frac{2 \cdot f_{c,o,d}}{u_{c,fin,d}}, \quad (3)$$

$$k_2 = -\frac{f_{c,o,d}}{u_{c,fin,d}^2}, \quad (4)$$

де $f_{c,o,d}$ – розрахункове значення міцності деревини за стиску вздовж волокон; $u_{c,fin,d}$ – повні або критичні відносні деформації за стиску деревини вздовж волокон.

Значення $f_{c,o,d}$ та $u_{c,fin,d}$, а також модуль пружності E встановлювались для наших балок експериментально, шляхом випробування на стиск у пресі окремих заготовок, вирізаних із тієї ж деревини, з якої виготовлялись балки.

Згідно вищенаведених формул було отримано епюри напружень у розрахунковому перерізі для всіх трьох серій балок (рис. 3...рис. 5).

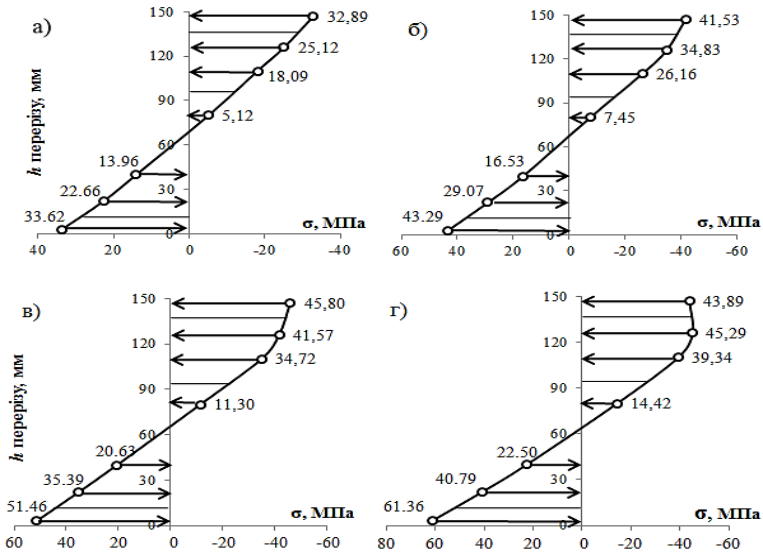


Рис. 3. Напруження стиснутої та розтягнутої зони балки першої серії за рівня навантажень:

а) $M=0,4M_{max}$; б) $M=0,6M_{max}$; в) $M=0,8M_{max}$; г) $M=0,95M_{max}$;

На рис. 3 наведено напруження на різних етапах завантаження для балки першої серії, що не містила арматури, тоді як на рис. 4 наведено епюри для балки другої серії, що армувалась сталевими стержнями діаметром 12 мм та композитною стрічкою.

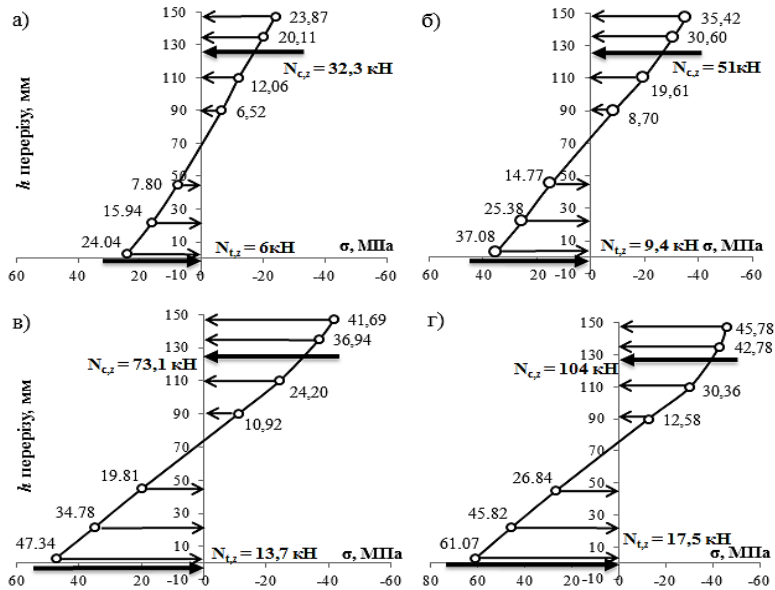


Рис. 4. Напруження стиснутої та розтягнутої зони армованої балки другої серії за рівня навантажень:

а) $M=0,4M_{max}$; б) $M=0,6M_{max}$; в) $M=0,8M_{max}$; г) $M=0,95M_{max}$

Зусилля, що виникали в сталевій арматурі стиснутої зони $N_{c,z}$ та в композитній стрічці розтягнутої зони $N_{t,z}$ визначались згідно формул:

$$N_{c,z} = A_{c,z} E_{c,z} u_{c,z}, \quad (5)$$

$$N_{t,z} = A_{t,z} E_{t,z} u_{t,z}, \quad (6)$$

де $A_{c,z}$, $A_{t,z}$ – площа поперечного перерізу арматури в стиснутій та в розтягнутій зонах, відповідно; $E_{c,z}$, $E_{t,z}$ – модулі пружності стиснутої та розтягнутої арматури відповідно; $u_{c,z}$, $u_{t,z}$ – відносні деформації стиснутої та розтягнутої арматури.

На рис. 5 показано епюри для балки третьої серії, наведено епюри для балки другої серії, що армувалась сталевими стержнями діаметром вже 16 мм та композитною стрічкою.

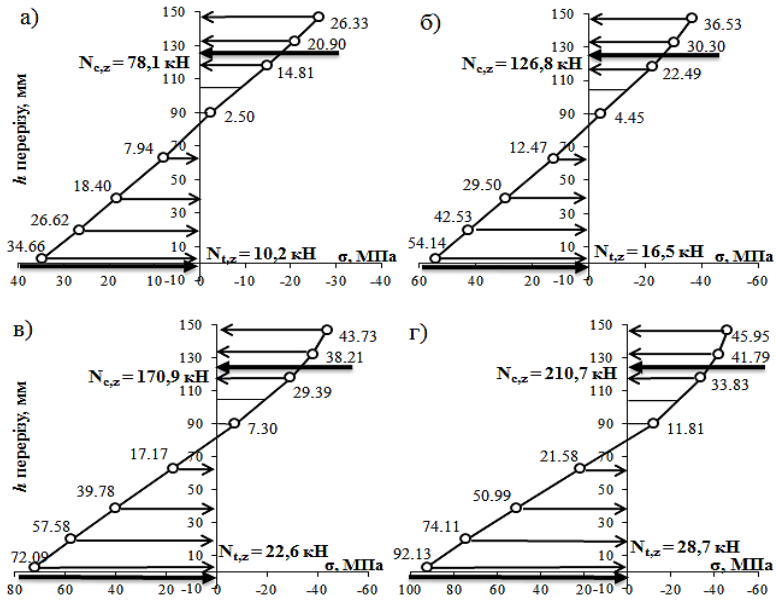


Рис. 5. Напруження стиснутої та розтягнутої зони армованої балки третьої серії за рівня навантажень:

а) $M=0,4M_{max}$; б) $M=0,6M_{max}$; в) $M=0,8M_{max}$; г) $M=0,95M_{max}$

Висновки

Зіставивши напруження трьох серій балок, встановлено, що застосування сталеві арматури в стиснутій зоні у комбінації із зовнішньою композитною арматурою у розтягнутій зоні дозволяє уникнути досягнення деревиною критичних деформацій у стиснутій зоні армованих балок на відміну від неармованих. Адже, таким чином, ми запобігаємо руйнування крайніх стиснутих волокон, а отже, й на практиці утворенню складок в деревині стиснутої зони. На графіках напружень це відображається чітко помітним криволінійним розподілом напружень у стиснутій зоні неармованих балок та майже прямолінійним – відповідно у армованих балках, де найвіддаленіші волокна деревини сприймають максимальні зусилля, на відміну від неармованих зразків, у яких внаслідок пошкоджень цих самих волокон максимальні зусилля сприймають вже волокна, більш віддалені від верхньої грані.

References

1. Gomon S.S., Polishchuk M. V. Vlashtuvannia kombinovanoho armuvannia balok iz kleienoi derevyny. Visnyk Lvivskoho natsionalnoho ahrarnoho universytetu: Arkhitektura i silskohospodarske budivnytstvo № 20 : 2019. s. 44-49.
2. Gomon S. S., Polishchuk M. V. Zhorstkist balok iz kleienoi derevyny z kombinovanyim armuvanniam. Resursoekonomni materialy, konstruktsii, budivli ta sporudy: Zbirnyk naukovykh prats. Vypusk 37. Rivne, 2019. s.151-157.
3. Sobczak-Piąstka J., Gomon S.S., Polishchuk M.V., Homon S., Gomon P., Karavan V. Deformability of Glued Laminated Beams with Combined Reinforcement. Buildings, V.10, I.5, 2020.
4. Sobczak-Piąstka J., Gomon S. S., Polishchuk M., Homon S., Gomon P., Karavan V. Metoda badania belki zginanej wykonanej z drewna klejonego ze zbrojeniem mieszanym. Materiały Budowlane 591 (11): 28-30. DOI:10.15199/33.2021.11.04
5. Gomon P. S., Savytskyi V. V., Polishchuk M. V. Rozrakhunok napruzhenodeformovanoho stanu pidsylenykh derevianykh balok priamokutnoho pererizu. Resursoekonomni materialy, konstruktsii, budivli ta sporudy. – Rivne: NUVHP, 2021. – Vyp. 39. S. 221-229.
6. Bashynskiy O. I., Bodnarchuk T.B., Peleshko M.Z. Nesucha zdatnist ta vohnestiikist derevianykh balok armovanykh zovnishnoiu strichkovoio armaturoiu. Visnyk Lvivskoho derzhavnoho universytetu bezpeky zhyttiediialnosti. 2014. № 9. S. 184-189.
7. Yermolenko D. A., Ishchenko M. S. Mitsnist ta deformatyvnykh kleienykh derevianykh balok, armovanykh polimernoio sitkoio. ACADEMIC JOURNAL Series: Industrial Machine Building, Civil Engineering. – Poltava: PNTU, 2017. T. 2 (47). S. 140-147.
8. Demchyna B.H., Oreshkyn D.O., Surmai M.I., Kravz A.R., Bliakhar T.I. Eksperymentalne doslidzhennia roboty doshchatokleienykh balok armovanykh metalevoio ta nemetalevoio armaturoio // Visnyk NULP: Teoriia i praktyka budivnytstva. - №697. – Lviv, NULP, 2010. –S.87-92.
9. Demchyna B.H., Oleksyn H.M., Surmai M.I. Poperedno napruzheni dereviani konstruktsii z nemetalevoio armaturoio // Visnyk NULP: Teoriia i praktyka budivnytstva. - №737, t. I. – Lviv, NULP, 2012. – S. 87-92.
10. Livas, C., Ekevad, M., & Öhman, M. Experimental analysis of passively and actively reinforced glued-laminated timber with focus on ductility. Wood Material Science & Engineering, 2022, 17(2): 129-137.
11. Patent na korysnu model № 143340 Ukraina, MPK E04S 3/26 (2006.01). Sposib napruzhenia zovnishnoi strichkovoio armatury balok iz kleienoi derevyny / Homon S.S., Polishchuk M.V.; zaiavnyky i vlasnyky Natsionalnyi universytet vodnoho gospodarstva ta pryrodokorystuvannia, zaiav. 27.01.2020; opubl. 27.07.2020, Biul. №14.
12. Homon S.S. Stadii napruzhenodeformovanoho stanu normalnykh pereriziv roboty derevyny na zghyn. Resursoekonomni materialy, konstruktsii, budivli ta sporudy. Rivne: NUVHP, 2011. Vyp. 21. S. 176-180.

Список використаної літератури

1. Гомон С.С., Поліщук М. В. Влаштування комбінованого армування балок із клеєної деревини. *Вісник Львівського національного аграрного університету: Архітектура і сільськогосподарське будівництво № 20* : 2019. с. 44-49.
2. Гомон С. С., Поліщук М. В. Жорсткість балок із клеєної деревини з комбінованим армуванням. *Ресурсоекономічні матеріали, конструкції, будівлі та споруди: Збірник наукових праць*. Випуск 37. Рівне, 2019. с.151-157.
3. Sobczak-Piąstka J., Gomon S.S., Polishchuk M.V., Homon S., Gomon P., Karavan V. Deformability of Glued Laminated Beams with Combined Reinforcement. *Buildings*, V.10, I.5, 2020.
4. Sobczak-Piąstka J., Gomon S. S., Polishchuk M., Homon S., Gomon P., Karavan V. Metoda badania belki zginanej wykonanej z drewna klejonego ze zbrojeniem mieszanym. *Materiały Budowlane* 591 (11): 28-30. DOI:10.15199/33.2021.11.04
5. Гомон П. С., Савицький В. В, Поліщук М. В. Розрахунок напружено-деформованого стану підсилених дерев'яних балок прямокутного перерізу. *Ресурсоекономічні матеріали, конструкції, будівлі та споруди*. – Рівне: НУВГП, 2021. – Вип. 39. С. 221-229.
6. Башинський О. І., Боднарчук Т.Б., Пелешко М.З. Несуча здатність та вогнестійкість дерев'яних балок армованих зовнішньою стрічковою арматурою. *Вісник Львівського державного університету безпеки життєдіяльності*. 2014. № 9. С. 184-189.
7. Єрмоленко Д. А., Іщенко М. С. Міцність та деформативність клеєних дерев'яних балок, армованих полімерною сіткою. *ACADEMIC JOURNAL Series: Industrial Machine Building, Civil Engineering*. – Полтава: ПНТУ, 2017. Т. 2 (47). С. 140-147.
8. Демчина Б.Г., Орешкин Д.О., Сурмай М.І., Кравз А.Р., Бляхар Т.Й. Експериментальне дослідження роботи дощатоклеєних балок армованих металевою та неметалевою арматурою // *Вісник НУЛП: Теорія і практика будівництва*. - №697. – Львів, НУЛП, 2010. –С.87-92.
9. Демчина Б.Г., Олексин Г.М., Сурмай М.І. Попередньо напружені дерев'яні конструкції з неметалевою арматурою // *Вісник НУЛП: Теорія і практика будівництва*. - №737, т. I. – Львів, НУЛП, 2012. – С. 87-92.
10. Livas, C., Ekevad, M., & Öhman, M. Experimental analysis of passively and actively reinforced glued-laminated timber with focus on ductility. *Wood Material Science & Engineering*, 2022, 17(2): 129-137.
11. Патент на корисну модель № 143340 Україна, МПК E04C 3/26 (2006.01). Спосіб напруження зовнішньої стрічкової арматури балок із клеєної деревини / Гомон С.С., Поліщук М.В.; заявники і власники Національний університет водного господарства та природокористування, заяв. 27.01.2020; опубл. 27.07.2020, Бюл. №14.
12. Гомон С.С. Стадії напружено-деформованого стану нормальних перерізів роботи деревини на згин. *Ресурсоекономічні матеріали, конструкції, будівлі та споруди*. Рівне: НУВГП, 2011. Вип. 21. С. 176-180.

**ОЦІНКА ЕФЕКТИВНОСТІ ВИКОРИСТАННЯ ПЛАСТМАСОВИХ
ТРУБОПРОВІДІВ ДЛЯ РЕКОНСТРУКЦІЇ МІСЬКИХ
ВОДОПРОВІДНИХ МЕРЕЖ**

**EVALUATION OF EFFICIENCY OF USING PLASTIC PIPELINES
FOR RECONSTRUCTION OF MUNICIPAL WATER SUPPLY
NETWORKS**

**Добровольська О.Г., к.т.н. (Запорізький національний
університет)**

**Dobrovolska O.G., Ph.D. in Engineering (Zaporizhzhya National
University)**

Досліджено вплив зміни опору ділянок мережі на значення тиску в місці підключення водоводів до мережі. Визначені фактори, які впливають на гідравлічні характеристики водопровідної мережі після реконструкції окремих її ділянок. За результатами досліджень розроблені рекомендації, які дозволять комунальним підприємствам визначати об'єми та способи відновлення пропускнуої здатності окремих ділянок та мережі в цілому.

During the reconstruction, the characteristics of individual sections of the network change, which affect the performance of pumping stations. Therefore, the task of predicting the impact of sections of the network to be reconstructed on changes in pressure losses in the network and the piezometric mark at the point of connection of water mains to the network is urgent. To date, there is no scientific approach that allows you to reasonably choose methods of restoration or repair of water supply networks, focusing on most parameters of its operation, there is no clear mechanism for choosing effective trenchless methods of repairing underground communications. The research is aimed at determining the factors that affect the hydraulic characteristics of the water supply network after the reconstruction of some of its sections.

The aim of the work is to study the influence of changes in the resistance of individual sections of the network during its reconstruction on the value of pressure at the point of connection of water mains to the network. To determine the influence of the resistance of individual sections of the network during its reconstruction on the pressure value, methods of mathematical modeling of the resistance of sections of the network, methods of hydraulic calculations of water supply networks were used.

Achieving the goal involves a number of tasks: modeling 31 options for the reconstruction of the network by the number of individual sites; modeling of 15 variants of change of resistance for each site; performing hydraulic calculations taking into account the change in resistance of each of the sections; determination of pressures at the point of connection of water mains to the network for different values of change of resistance of sites.

The results of research have shown that with increasing the resistivity of the sites, the required pressure at the point of connection of water mains to the network in most

cases increases. As the resistivity of the sections that were on the shortest paths from the point of connection of water mains to the unfavorable point increased, the pressure at the node of water supply connection increased. This is due to the reverse direction of water movement in these areas relative to the dictating node. The increase in resistivity in the areas located on the shortest direction has the greatest effect on the value of the pressure at the point of connection of water mains. (up to 6%).

The development of an operational method for assessing the impact of reconstruction on the hydraulic performance of the network will allow utilities to determine the volume and methods of restoring the capacity of individual sites and the network as a whole.

Ключові слова: реконструкція водопровідної мережі, фіктивний опір, пластмасові трубопроводи, питомий опір.

Keywords: reconstruction of water supply network, fictitious resistance, plastic pipelines, resistivity.

Вступ. Під час реконструкції змінюються характеристики окремих ділянок мережі. Враховуючи, що система подачі та розподілу води являє собою комплекс взаємоув'язаних елементів, то зміна показників окремих елементів потребує корегування показників інших, а саме насосних станцій.

Оптимальним варіантом реконструкції є такі умови її виконання, за яких подача та напір насосних станцій не змінюються. Для цього необхідно, щоб не змінились сумарні втрати напору на шляху від підключення водоводів до мережі до найбільш несприятливого вузла (невигідної точки). Сумарні втрати напору на вказаному шляху є основою для розробки методу оцінки впливу реконструкції окремих ділянок на значення напору в місці підключення водоводів до мережі. Для цього треба визначити вплив ділянки, яка підлягає реконструкції, на загальний опір мережі. Розробка оперативного методу оцінки впливу реконструкції на гідравлічні показники роботи мережі, який дозволить комунальним підприємствам визначати об'єми та способи відновлення пропускної здатності окремих ділянок та мережі в цілому, є актуальною задачею.

Аналіз останніх досліджень. Реконструкція водопровідних мереж виконується за результатами моніторингу їх стану. Наприклад, авторами [1] пропонується оцінювати стан мереж, враховуючи кількість аварій, що трапляються на ділянках із чавунних та сталевих трубопроводів, стан аварійності визначати за зниженням витрати води на ділянці та розглядати дві стратегії відновлення: реконструкцію пошкодженої ділянки або її заміну. Як показує досвід фахівців [2], для швидкої та ефективної оцінки стану водопроводу слід застосовувати такі технічні показники, як вік і тип матеріалу труб, гідравлічна потужність, вплив на якість води, захист від гідроударів, швидкість розриву водопровідної магістралі, втрати води

тощо. Результати оцінки екологічного аспекту використання трубопроводів із різних матеріалів [3] показали, що трубопроводи з ковкого чавуну та сталі надавали більший вплив на навколишнє середовище, ніж труби з полівінілхлориду, поліетилену та фіброцементу на етапі виробництва. За даними досліджень [4] несуча здатність полівінілхлоридових труб при згині збільшується зі збільшенням діаметра, тому такі трубопроводи є найбільш рентабельним способом транспортування води. Як зазначили автори [5], труби та фітинги з поліетилену відрізняються тривалим терміном експлуатації, а витрати на їх обслуговування знижуються, результати дослідження впливу дезінфікуючих засобів на механічну та хімічну стійкість труб із поліетилену не показали їх руйнування після випробування тиском при постійній температурі протягом 2000 годин.

Тенденції останніх років свідчать про те, що комунальні служби вітчизняних і закордонних міст все більше уваги приділяють закритим (безтраншейним) технологіям ремонту та відновлення водопровідних трубопроводів, пов'язаним із заміною залізобетонних, чавунних і інших видів труб на труби із сучасних матеріалів:

- спосіб «труба в трубі», тобто протягування у внутрішню порожнину трубопроводу, який відновлюється, нової поліетиленової труби із зовнішнім діаметром, який є меншим за внутрішній діаметр пошкодженої ділянки [6];

- відновлення цілісності пошкоджених транспортних трубопроводів із застосуванням полімерно-композитних оболонок, армованих волокном [7];

- нанесення на внутрішню поверхню відновлювальної ділянки цементно-піщаного шару різної товщини [8];

- спосіб «панчошної» технології, коли всередину відновлювального трубопроводу протягується синтетична панчоха, яка формується в результаті полімеризації середовища, що подається під високим тиском [9];

- спосіб із використанням U-подібного трубопроводу, який протягується всередину попередньо очищеної пошкодженої ділянки з подальшим його випрямленням за допомогою теплоносія із заданою температурою [10];

- локальний ремонт труби із застосуванням 3D-реконструкції та автономного ремонтного робота [11] та ремонтної вставки, методи оцінювання пропускної здатності труби із застосуванням відеокамери [12].

На сьогодні немає наукового підходу, який дозволяє обґрунтовано обирати методи відновлення або ремонту ділянок водопровідної мережі, орієнтуючись на більшість параметрів її функціонування, відсутній однозначний механізм вибору ефективних безтраншейних методів

ремонту підземних комунікацій. Проведені дослідження направлені на визначення факторів, які впливають на гідравлічні характеристики водопровідної мережі після реконструкції окремих її ділянок.

Постановка мети і задач досліджень. Метою роботи є дослідження впливу зміни опору окремих ділянок мережі при її реконструкції на значення тиску в місці підключення водоводів до мережі. Для визначення впливу опору окремих ділянок мережі при її реконструкції на значення тиску були застосовані методи математичного моделювання опору ділянок мережі, методи гідравлічних розрахунків водопровідних мереж.

Розглянемо випадок, коли напір у місці підключення водоводів до мережі, який залежить від необхідних напорів у мережі і на який чинить вплив реконструкція окремих її ділянок, залишається постійним. Зміни надходження води в мережу не були розглянуті, тому що будь-які її зміни призводять до необхідності реконструкції насосної станції.

Для того, щоб не змінювався напір у місці підключення водоводів до мережі, необхідно, щоб не змінювались сумарні втрати напору на шляху від вузла підключення водоводів до невідгідного вузла. Сумарні втрати напору на стадії проектування можна визначити за результатами гідравлічного розрахунку, в процесі експлуатації – як різницю відповідних показників манометрів.

Сумарні втрати напору на вказаному напрямку можуть бути основою для розробки методу оцінки впливу реконструкції ділянок мережі на напір у місці підключення водоводів. Але для цього треба визначити вплив відновлювальної ділянки на загальний опір диктуючого напрямку, що розглядається.

При транспортуванні фіктивної постійної витрати Q_{ϕ} по магістральному напрямку, що характеризується сумарним фіктивним опором S_{ϕ} , виникають втрати напору, які визначаються за формулою

$$\Delta h = \sum S_{\phi i} \times Q_{\phi i}^2. \quad (1)$$

де $S_{\phi i}$, $Q_{\phi i}$ – відповідно повний опір та витрата води на i -тій ділянці.

Тоді сумарний фіктивний опір становить

$$S_{\phi} = \Delta h / Q_{\phi}^2. \quad (2)$$

При застосуванні сучасних безтраншейних методів реконструкції пошкоджених ділянок мережі застосовуються пластмасові трубопроводи, опір яких відрізняється від опору відновлювальних ділянок. Тому втрати напору в мережі змінюються. Практичне значення має оцінка впливу зміни опорів окремих ділянок на загальний фіктивний опір диктуючого напрямку.

Методика досліджень. Для дослідження впливу опору окремих ділянок на значення тиску та загальний фіктивний опір мережі була вибрана водопровідна мережа, схема якої складалась із 18 контурів, 66 ділянок та 49 вузлів. Досягнення мети передбачало виконання низки задач: моделювання 31 варіанту реконструкції мережі за кількістю окремих ділянок; моделювання для кожної ділянки 15 варіантів зміни опору: для ділянки з чавунних труб за початковим опором було розраховано діаметр пластмасового трубопроводу, для оцінки можливості використання пластмасових труб із меншим діаметром для кожної ділянки було розглянуто 3 найближчих менших діаметри за існуючим сортаментом; виконання гідравлічних розрахунків з урахуванням зміни опору кожної із ділянок; визначення напорів у місці підключення водоводів до мережі для різних значень зміни опору ділянок; аналіз отриманих результатів.

Результати досліджень. За результатами дослідження на рис.1 представлені діаграми зміни напору у вузлі підключення водоводів до мережі з урахуванням зміни питомого опору ділянок різних діаметрів. Як видно з діаграм, в результаті збільшення питомого опору ділянок мережі необхідний напір в місці підключення водоводів до мережі в більшості випадків збільшується.

Для деяких діаметрів лінії діаграм побудовані нижче нульового рівня.

При збільшенні питомого опору ділянок, що знаходились на найбільш коротких шляхах від точки підключення водоводів до невідгідної точки, напір у вузлі підключення водоводів збільшувався, що пояснюється зворотним напрямком руху води в цих ділянках по відношенню до диктуючого вузла.

Збільшення питомого опору на ділянках, що розташовані на найкоротшому напрямленні, найбільше впливають на значення напору у місці підключення водоводів (до 6%).

За отриманими даними питомий фіктивний опір, який характеризує питомий опір напрямку транспортування води в цілому, було визначено за формулою

$$S_{0нап} = \sum h / (\sum l \times Q^2), \quad (3)$$

де $\sum h$ – алгебраїчна сума втрат напору за вибраним напрямком у мережі, м; $\sum l$ – сумарна довжина всіх ділянок вибраного напрямку, м; Q – витрата води на ділянці, м³/с.

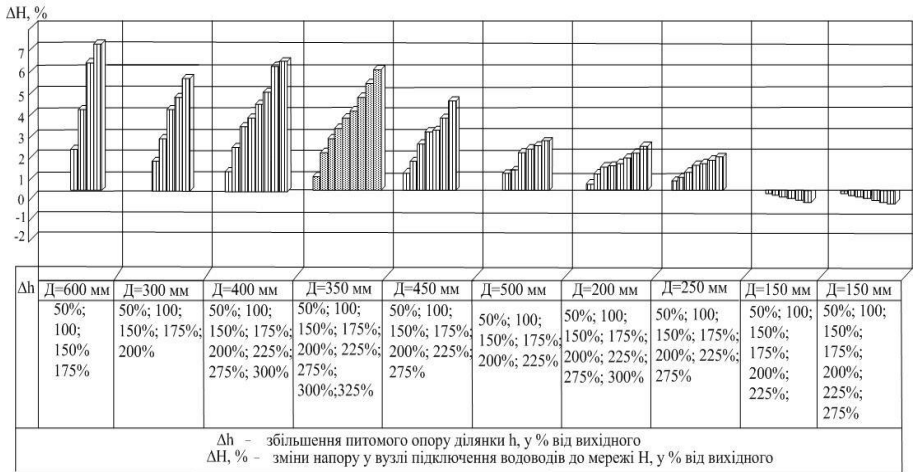


Рис. 1. Діаграми залежності напору у вузлі підключення водоводів до мережі від питомого опору ділянки



Рис. 2. Діаграми залежності питомого фіктивного опору напрямку транспортування води у мережі від питомого опору ділянки

Як видно з діаграм, представлених на рис. 2, при суттєвому збільшенні питомого опору окремих ділянок значно менше збільшується питомий фіктивний опір напрямку (у 3-4 рази).

Інтенсивність зміни фіктивного питомого опору для кожної ділянки визначається її довжиною і витратою води в ній. На значення зміни напору в місці підключення водоводів до мережі впливає не тільки диктуючий напрямок, але й наявність паралельного направлення потоків від місця підключення до невідгідної точки. Зміни фіктивного опору за диктуючим напрямком будуть впливати на значення фіктивних опорів на паралельних напрямках. Тому ступінь цього впливу повинна бути врахована під час оцінки зміни характеристик ділянки за диктуючим напрямком. Цей вплив залежить від співвідношення витрат потоків по напрямках, тобто, від співвідношення витрат на ділянках, які виходять із вузла підключення водоводів до мережі.

Висновки

1. Реконструкція ділянок, які транспортують воду до невідгідного вузла за найкоротшим шляхом, чинить найбільший вплив на значення напору в місці підключення водоводів до мережі у порівнянні з іншими ділянками.

2. Питомий опір є одним із критерієм, що дозволяє визначити діаметр пластмасового трубопроводу.

3. Перерозподіл потоків у кільцевій мережі дозволяє суттєво зменшити діаметр пластмасових труб.

4. Оцінка впливу ділянок на різних напрямках руху води у водопровідній мережі можна здійснювати за повним фіктивним опором відповідного напрямку транспортування води.

References

1. Wei L., Zhaoyang S., Min O. Lifecycle operational resilience assessment of urban water distribution networks. *Reliability Engineering & System Safety*. 2020. Vol.198. Art.106859.URL: <https://doi.org/10.1016/j.ress.2020.106859>.

2. Tuhovcaka L., Tausa M. MíkkaaIndirect P. Indirect condition assessment of water mains. *Procedia Engineering*. 2014. Vol.70. P. 1669-1678. URL: <https://doi.org/10.1016/j.proeng.2014.02.184>.

3. Hajibabaei M., Nazif S. Life cycle assessment of pipes and piping process in drinking water distribution networks to reduce environmental impact. *Sustainable Cities and Society*. 2018. Vol.43. P. 538-549. URL:<https://doi.org/10.1016/j.scs.2018.09.014>.
4. Al-Mahfooz M. J., Mahdi E. Bending behavior of glass fiber reinforced composite overwrapping pvc plastic pipes. URL:<https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0263822320325824?via%3Dihub> (дата звернення: 8.05.2022).
5. Modreaa A., Scarlatescub D. Mechanical Behavior of the HDPE Tubes Used in Water Supply Networks Determined with the Four-Point Bending Test. *Procedia Manufacturing*. 2019. №. 32. P. 194–200. URL: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2351978919302367>.
6. Lisong F., Shujie Z., Rui W. Strength design of tubular textile composites for pipeline rehabilitation under internal pressure. *International Journal of Pressure Vessels and Piping*. 2021.Vol.195. Art. 104572. URL:<https://doi.org/10.1016/j.ijpvp.2021.104572>.
7. Lukacs J., Koncsika Zs., Chovan P. Integrity reconstruction of damaged transporting pipelines applying fiber reinforced polymer composite wraps. *Procedia Structural Integrity*. Vol.31. 2021.P. 51–57. URL: <https://doi.org/10.1016/j.prostr.2021.03.009>.
8. Goncharenko D.F., Starkova O.V., Bulgakov Yu.V. Metodyi zaschityi podzemnyih komunikatsiy ot vliyaniya negativnyih faktorov. Nauk. vSnnik budIvnitstva: zb. nauk. prats. HarkIv: HNUBA, HOTV ABU, 2014. Vip. 4 (78). S. 82–86.
9. Mapec – Sonderlösungen für den anspruchsvollen Rohrleitungsbau. Siegen: Salzgitter Mannesmann Line Pipe GmbH, 2012. 8 s.
10. Pressure Pipe Rehabilitation: Cipp Technologies. Liege: Sekisui SPR Sales, 2010. 12 s.
11. Reyes-Acosta A.V., Lopez-Juarez I. 3D pipe reconstruction employing video information from mobile robots. *Applied Soft Computing*. 2019. Vol.75. 2021.P. 562–574. URL:<https://doi.org/10.1016/j.asoc.2018.11.016>.
12. Nahangi M., Czerniawski T. Pipe radius estimation using Kinect range cameras. *Automation in Construction*. 2018.Vol.99. 2021. P. 197–205. URL: <https://doi.org/10.1016/j.autcon.2018.12.015>.

Список використаної літератури

1. Wei L., Zhaoyang S., Min O. Lifecycle operational resilience assessment of urban water distribution networks. *Reliability Engineering & System Safety*. 2020. Vol.198. Art.106859. URL: <https://doi.org/10.1016/j.ress.2020.106859>. 2. Tuhovcaka L., Tausa M, MikaaIndirect P. Indirect condition assessment of water mains. *Procedia Engineering*. 2014. Vol.70. P. 1669-1678. URL: <https://doi.org/10.1016/j.proeng.2014.02.184>.

3. Hajibabaei M., Nazif S. Life cycle assessment of pipes and piping process in drinking water distribution networks to reduce environmental impact. *Sustainable Cities and Society*. 2018. Vol.43. P. 538-549. URL: <https://doi.org/10.1016/j.scs.2018.09.014>.
4. Al-Mahfooz M. J., Mahdi E. Bending behavior of glass fiber reinforced composite overwrapping pvc plastic pipes. URL: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0263822320325824?via%3Dihub>(дата звернення: 8.05.2022).
5. Modreaa A., Scarlatescu D. Mechanical Behavior of the HDPE Tubes Used in Water Supply Networks Determined with the Four-Point Bending Test. *Procedia Manufacturing*. 2019. №. 32. P. 194–200. URL: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2351978919302367>.
6. Lisong F., Shujie Z., Rui W. Strength design of tubular textile composites for pipeline rehabilitation under internal pressure. *International Journal of Pressure Vessels and Piping*. 2021.Vol.195. Art. 104572. URL: <https://doi.org/10.1016/j.ijpvp.2021.104572>.
7. Lukacs J., Koncsika Zs., Chovan P. Integrity reconstruction of damaged transporting pipelines applying fiber reinforced polymer composite wraps. *Procedia Structural Integrity*. Vol.31. 2021.P. 51–57. URL: <https://doi.org/10.1016/j.prostr.2021.03.009>.
8. Гончаренко Д.Ф., Старкова О.В., Булгаков Ю.В. Методы защиты подземных коммуникаций от влияния негативных факторов. Наук. вісник будівництва: зб. наук. праць. Харків: ХНУБА, ХОТВ АБУ, 2014. Вип. 4 (78). С. 82–86.
9. Mapec – Sonderlösungen für den anspruchsvollen Rohrleitungsbau. Siegen: Salzgitter Mannesmann Line Pipe GmbH, 2012. 8 s.
10. Pressure Pipe Rehabilitation: Cipp Technologies. Liege: Sekisui SPR Sales, 2010. 12 s.
11. Reyes-Acosta A.V., Lopez-Juarez I. 3D pipe reconstruction employing video information from mobile robots. *Applied Soft Computing*. 2019. Vol.75. 2021.P. 562–574. URL: <https://doi.org/10.1016/j.asoc.2018.11.016>.
12. Nahangi M., Czerniawski T. Pipe radius estimation using Kinect range cameras. *Automation in Construction*. 2018.Vol.99. 2021. P. 197–205. URL: <https://doi.org/10.1016/j.autcon.2018.12.015>.

**CESZY OCHRONY KONKRETNEJ KOMUNIKACJI, KTÓRE
EKSPLOATOWANE W TRUDNYGH WARUNKACH
HYDROGEOLOGICZNYCH**

**ОСОБЛИВОСТІ ЗАХИСТУ БЕТОННИХ КОМУНІКАЦІЙ, ЯКІ
ЕКСПЛУАТУЮТЬСЯ У СКЛАДНИХ ГІДРОГЕОЛОГІЧНИХ УМОВАХ**

**FEATURES OF PROTECTION OF CONCRETE COMMUNICATIONS, WHICH
ARE OPERATED IN DIFFICULT HYDROGEOLOGICAL CONDITIONS**

**Drapalyuk M., dr hab. Profesor nadzwyczajny Katedry Konstrukcji
Żelbetowych i Konstrukcji Transportowych, Odeska Państwowa Akademia
Inżynierii Lądowej i Architektury, Odesa**

**Драпалюк М.В., к.т.н., доц. кафедри залізобетонних конструкцій
та транспортних споруд, Одеська державна академія будівництва і
архітектури, Одеса**

**Drapaluk M., PhD in Engineering, associate of Department of
Building Constructions, Odesa**

У статті розглянуті особливості експлуатації бетонних каналізаційних колекторів. Описано процес захисту каналізаційних колекторів, заглиблених у дрібнозернисті пухкі ґрунти з низькою проникністю. Також визначається можливість застосування полімерних композицій для захисту бетону від ґрунтових вод гнучкістю технологічної схеми, здатністю забезпечувати проектні експлуатаційні властивості з довговічністю. Описані процеси зміни властивостей ремонтних сумішей при їх нагнітанні в порожнини, щілини та тріщини внаслідок масо- та теплообміну із заобробним простором.

The article considers the features of operation of concrete sewers. The issues of the fact that, along with the construction of new collectors, the need to repair, reconstruct or restore the operational capacity of such facilities is of particular importance. The use of water lowering, which is carried out by pumping groundwater, leads to a violation of their natural balance and regime. The most promising are the methods of water protection, which allow you to limit the water reduction only within the impossible circuit, while avoiding the violation of the natural regime and reducing operating costs. At the same time, the elements of structures operated in flooded conditions are most often subject to repair. The operation of such facilities requires protection from the harmful effects of groundwater. The process of protection of sewer collectors sunk into fine-grained loose soils with low permeability is described. The possibility of using polymer compositions for protection of concrete from groundwater by the flexibility of the technological scheme, the ability to provide design performance with durability is also determined. The processes of changing the properties of repair mixtures during their

injection into voids, cracks and fissures due to mass and heat exchange with the processing space are described. Therefore, it is necessary to develop new materials that provide the design properties of the protective layer. To do this, the viscosity of the repair mixtures should be close to the viscosity of water, its initial value should be maintained or slightly changed during technological time, and the loss of fluidity of the solution - in a strictly regulated time. It was found that the main obstacle in the use of some types of polymer compositions for repair and restoration of sewers, operated in flood conditions, is the leaching of emulsifiers and swelling of the polymer component, which leads to internal stress, reducing the durability of repair coatings.

Слова ключові: *kolektory kanalizacyjne, ochrona, mieszanka naprawcza, pęknięcia, trwałość, wody gruntowe.*

Ключові слова: *каналізаційні колектори, захист, ремонтна суміш, тріщини, довговічність, ґрунтові води.*

Key words: *sewer collectors, protection, repair mix, cracks, durability, groundwater.*

Specyfiką działania kanałów betonowych jest konieczność zapewnienia nieprzerwanej pracy. Dlatego wraz z budową nowych kolektorów szczególnie istotna staje się potrzeba naprawy, przebudowy lub przywrócenia sprawności eksploatacyjnej takich obiektów. Jednocześnie naprawie podlegają najczęściej elementy konstrukcji eksploatowane w warunkach powodziowych. Eksploatacja takich obiektów wymaga ochrony przed szkodliwym działaniem wód gruntowych. Tradycyjnie likwidację dopływów wody realizuje się w następujący sposób: poprzez pompowanie rezerw statycznych i dopływów dynamicznych wód gruntowych w obrębie ogrodzonego terenu, z wytworzeniem leja depresyjnego, a także ogrodzenie terenu ekranami przeciwpieczkowymi.

Drenaż jest procesem bardzo czasochłonnym, którego stan techniki często nie spełnia wymagań, co nie pozwala na stosowanie wydajnych schematów technologicznych oraz powoduje wysokie koszty kapitałowe i eksploatacyjne.

Stosowanie redukcji wody, która odbywa się poprzez pompowanie wód gruntowych, prowadzi do naruszenia ich naturalnej równowagi i reżimu. Najbardziej obiecujące są metody hydroprotekcji, które można ograniczyć do redukcji wody tylko w niemożliwym obiegu, przy jednoczesnym uniknięciu naruszenia naturalnego reżimu i obniżeniu kosztów eksploatacji [1]. Konstrukcje lub konstrukcje są generalnie chronione przed dopływem wody z zewnątrz za pomocą ekranów przeciwpieczkowych. Beton z dodatkami glinianu sodu, będący mieszanką tlenku glinu i technicznej sody kaustycznej, służy do naprawy uszkodzonych miejsc wymagających usunięcia lub zmniejszenia filtracji. Roztwory z glinianem sodu charakteryzują się szybkim wiązaniem, dużym zużyciem wody oraz odpornością na erozję wodną. Beton z dodatkiem glinianu sodu stosowany jest również do uszczelniania mokrych kawern w konstrukcjach betonowych.

Części konstrukcji kanalizacyjnych z betonu układa się również za pomocą żywic epoksydowych, materiałów epoksydowo-kauczukowych, polimerobetonu, roztworów polimerów, klejów, mastyksowych farb polimerowych [2, 3].

Zlewozmywaki erozyjne dzielą się na trzy grupy w zależności od ich głębokości: I - głębokość powyżej 20 cm, II - od 5 do 20 cm, III grupa - mniej niż 5 cm pręty o średnicy 25 mm i stopniu 25 × 25 cm, które są przyspawane do specjalnie zainstalowanych kotew o średnicy 32 mm ze stopniem 50 × 50 cm i stopniem 10 × 10 cm Puszki o głębokości do 5 cm układane są bez kotwienia i wzmocnienia [4].

Przywracanie wodoodporności i wytrzymałości betonu rur kolektorów odbywa się w następujący sposób: iniekcyjne, hydroizolacyjne i kombinowane. Najczęstszymi sposobami eliminacji filtracji w gruncie kanalizacyjnym są cementacja i silikatyżacja. Spośród znanych metod, uwzględniających specyfikę pracy konstrukcji kanalizacyjnych, najbardziej akceptowalną metodą kurtyny przeciwpieczekowej jest cementowanie [2].

Lokalizację i wielkość studni iniekcyjnych, kolejność ich cementowania, skład roztworu i tryb iniekcyjny ustala się po dokonaniu oględzin, stanu gleby, sporządzeniu wykresów wskazujących lokalizację, wielkość studni i kolejność cementowania [3,4].

Przed wszystkim co najmniej 10% ogólnej liczby studni jest wierconych i testowanych pod kątem specyficznej absorpcji wody w różnych częściach gleby. Zaleca się ułożenie dołków w szachownię. Głębokość studni określa się w taki sposób, aby mieszanka cementowa wypełniała wszystkie pory i pęknięcia w gruncie. Odległość między dołkami wynosi około 0,8 ... 1,2 m przy wstrzykiwaniu roztworu bez dodatków i 1,2 ... 2,0 m przy wstrzykiwaniu roztworu z dodatkami plastyfikującymi. Przygotowanie studzienek do cementacji obejmuje płukanie i przedmuchiwanie studzienek sprężonym powietrzem. W przypadku zamulenia porów lub pęknięć w glebie przed płukaniem zalać 5% roztworem wodorotlenku sodu. Ten sam roztwór stosuje się do mycia, jeśli gleba jest wypłukiwana agresywną wodą [2]. Wstrzykiwanie roztworu do iniekcji gleby odbywa się w temperaturze nie niższej niż + 5 ° C. Roztwór do wstrzykiwań przygotowuje się bezpośrednio przed wstrzyknięciem.

Do cementowania stosuje się cement portlandzki o klasie co najmniej 400, dozwolone jest stosowanie cementu portlandzkiego odpornego na siarczany i żuźla, a także zaprawy cementowej portlandzkiej. Do przyspieszenia wiązania zapraw cementowych stosuje się płynne szkło i chlorek wapnia. W celu zwiększenia ruchliwości zapraw cementowych i cementowo-piaskowych zalecane są następujące dodatki: bard siarczynowo-alkoholowy (SBS) - 0,1...0,25% wag. cementu; chlorek wapnia - od 0,5 do 3%. Jakość cementowania sprawdza się poprzez badanie gruntu pod kątem specyficznej nasiąkliwości studni kontrolnych wierconych w odstępach między studniami cementowanymi. Jeżeli podczas oględzin stwierdzi się, że nasiąkliwość

właściwa $q = 0,5$ l/min cementację można uznać za zakończoną. Przy wodochłonności właściwej powyżej 0,5 l/min stosować mieszankę 1:4... 1:5, a przy filtracji poniżej 0,5 l/min – kompozycję 1:8... 1:10. Przy $q = 1...3$ l/min stosować mieszaninę 1:2... 1:1 z dodatkiem chlorku wapnia (5...7% wag. wapnia krystalicznego do masy suchego cementu) [2].

Autor dla gruntów składających się z piasków drobnoziarnistych [2] zaproponował hydroizolację krzemianem jedno- lub dwu-roztworowym, ale w tym przypadku trudnością jest brak możliwości kontrolowania szybkości żelowania roztworu krzemianowego, co powoduje trudności w zapewnieniu równomierne przenikanie roztworu do gleby. Dlatego ochrona kanałów ściekowych zatopionych w drobnoziarnistych luźnych gruntach o niskiej przepuszczalności przed wodą gruntową jest najtrudniejszym zadaniem, ponieważ znane metody nie zapewniają niezawodnej hydroizolacji.

Jak pokazuje praktyka [3], stosowanie konwencjonalnych zapraw cementowo-piaskowych do wykonania ekranów ochronnych jest nieefektywne z następujących powodów: rozwiązania takie nie mają wysokiego stopnia wodoodporności i odporności na agresywne wpływy, uzyskując równomierną przyczepność uszkodzonego betonu odbiegająca od właściwości konstrukcji betonowych, rozwiązania charakteryzują się długimi czasami utwardzania. Wady obejmują również złożoność procesu technologicznego prac naprawczych i restauracyjnych przy ujemnych temperaturach powietrza.

W związku z tym konieczne jest opracowanie nowych materiałów zapewniających właściwości konstrukcyjne warstwy ochronnej. W tym celu lepkość mieszanin naprawczych powinna być zbliżona do lepkości wody, jej wartość początkowa powinna być utrzymywana lub nieznacznie zmieniana w czasie technologicznym, a utrata płynności roztworu - w ściśle uregulowanych warunkach [4, 5].

Zastosowanie kompozycji polimerowych jest jednym z obiecujących obszarów ochrony kanałów ściekowych przed wodami gruntowymi. Ponadto materiały polimerowe mają wysoką przyczepność do głównych materiałów budowlanych, stosunek wytrzymałości kompozycji polimerowych na ściskanie do wytrzymałości na zginanie sięga 2...3, mają zwiększoną odporność na ścieranie [6]. Jednak główną przeszkodą w stosowaniu niektórych rodzajów kompozycji polimerowych do naprawy i renowacji kanałów ściekowych eksploatowanych w warunkach powodziowych jest ługowanie emulgatorów, a także pęcznienie składnika polimerowego, co prowadzi do naprężeń wewnętrznych, obniżających trwałość powłok naprawczych.

Badania, naukowcy wykazali fundamentalną możliwość i niezawodność eksploatacyjną lokalnej i ogólnej renowacji elementów konstrukcyjnych kolektorów kanalizacyjnych z zastosowaniem spoiw polimerowych określonych typów. Tak, praca P. Aleksandrova, R. Andrianowa, Yu. Bazhenova, V. Basina, S. Davydova, E. Jelszyna, F. Iwanowa, L. Igonina, V. Kozłowa, H.F. Lee, Y. Lipatowa, W. Lysenka, V. Mykulski, I. Moschansky, D. Manson, S. Newman, A.

Paken, V. Patureova, A. Petrova, I. Putlajewa, O. Pshinka, I. Rybiewa, V. Solomatova, L. Sperling, O. Figowski wniósł ogromny wkład w rozwój i rozwój teorii materiałów opartych na związkach polimerowych, a także sposobów ich modyfikacji.

Zgodnie z wynikami badań, opracowano dużą liczbę materiałów polimerowych na bazie furanu, fenolu, mocznika, inden-kumaronu, poliestru, żywic epoksydowych, poliuretanowych, poliamidów, poliakrylanów i innych związków organicznych. Opracowane tam kompozycje naprawcze opierają się głównie na zastosowaniu akrylamidu. Najpopularniejszym z nich jest AM-9, który jest mieszaniną substancji organicznych – akryloamidu i NN-metylenobiacryloamidu w postaci suchego białego proszku. Jako katalizatory stosuje się nadsiarczan amonu i dimetyloaminopropionitryl, a polimeryzacja zachodzi przy stężeniu głównego składnika w wodzie od 3 do 50% (wagowo). Czas od momentu dodania katalizatora do powstania polikondensatu można regulować poprzez zmianę stężenia utwardzacza, pH roztworu i temperatury oraz wprowadzenie moderatora [7].

Wraz z zabezpieczeniem przed przeciekaniem szczególne znaczenie przy wykonywaniu prac naprawczych i renowacyjnych na rurociągach betonowych ma uszczelnienie spoin lub spoin obróbki oraz zmniejszenie przepuszczalności betonu.

Kryteriami wyboru kompozycji hydroizolacyjnej są przepuszczalność materiału konstrukcyjnego, charakteryzująca się współczynnikiem przepuszczalności lub filtracji oraz promień rozprzewadzenia roztworu [7].

Możliwość zastosowania kompozycji polimerowych do ochrony betonu przed wodami gruntowymi zależy od elastyczności schematu technologicznego, zdolności do zapewnienia trwałości projektu. Ważną właściwością jest rozpuszczalność w wodzie żywic syntetycznych, która zapewnia przyczepność w mokrych warunkach i pozwala na wykorzystanie wody jako pustelnika.

Wysoki koszt niektórych materiałów polimerowych utrudnia ich szerokie zastosowanie w celu poprawy właściwości betonu w budynkach specjalnego przeznaczenia. Zastosowanie tradycyjnych kompozycji polimerowych stosowanych w naprawie konstrukcji betonowych nie mających bezpośredniego kontaktu z wodami gruntowymi nie zawsze jest możliwe w szczególnych warunkach renowacji elementów narażonych na zalanie. Trudność polega na zmianie właściwości mieszanek naprawczych, gdy są one wtryskiwane w puste przestrzenie, pęknięcia i szczeliny z powodu wymiany masy i ciepła z przestrzenią przetwarzania.

Dlatego konieczne jest znalezienie nowych składników mieszanin, które zapewnią zachowanie właściwości technologicznych w procesie pracy, a także wydajność projektową.

Z tego złożonego kompleksu główną uwagę należy zwrócić na badanie wzorców dystrybucji roztworu hydroizolacyjnego o zmiennej lepkości podczas instalowania ekranu przeciwpieczekowego, biorąc pod uwagę warunki utraty płynności, a także badanie wytrzymałości i trwałości w zależności od środowiska i temperatura.

References

1. Solomatov V.I., Bobrushev A.N., Ximler K.G. (1988). Polimernue kompozicionnue materialu v stroitelstve [Polymer composite materials in construction / Ed. IN AND. Solomatova], Construction site S.-312. (in Russian)
2. Sakai E., Sugita J.(1995) Composite Mechanism of Polymer Modified Cement. Cem. Concr. Res., vol. 29. – S. 127-135.
3. Pavlov A. R. (2001) Matematicheskoe modelirovanie procesov teplo – masoperenosa I temperaturnuh deformacii v stroitelnuh materialah. [Mathematical modeling of heat and mass transfer processes and temperature deformations in building materials] – Novosibirsk: Nauka,. – S.175. (in Russian).
4. Drapaluk M.V., Pulupenko (2016). Doslijdzhennia resursozberihayuchoi tehnologii modifitsovanogo betonu s dempfuicomu komponentamu. [Doslijdzhennia resursozberihayuchoi tehnologii modifitsovanogo betonu s dimppuyuchimi components]. Novi tehnologii v budivnuctvi, Київ. № 30, SS.- 50-53. (in Ukrainian).
5. Drapaluk M.V. Vpluv sposobu formuvannia betonnuh konstrukcij na charakterustuku micnosti /Drapaluk M.V., Pulupenko. Київ. № 36 2019 SS.- 42-45. (in Ukrainian).
6. Roy D. M. (1992) Advanced Cement Systems Including CBS, DSP, MDF / 9-th ICCS, vol. 1, - S S. 357-380.
7. Kirnev A.D., Subotin A.I., Evtushenko S.I. (2005). Technologia vozvedenia zdanii i specialnuh sooruzheniy. [Technology of erection of buildings and special constructions]. – Rostov na Dony: Fenics.– S. 247. (in Russian).

Bibliografia

1. Соломатов В.И., Бобрышев А.Н., Химлер К.Г. Полимерные композиционные материалы в строительстве / Под ред. В.И. Соломатова. – М.: Стройиздат, 1988. – 312 с.
2. Sakai E., Sugita J. Composite Mechanism of Polymer Modified Cement. Cem. Concr. Res., vol. 29. - 1995. – S. 127-135.
3. Павлов А.Р. Математическое моделирование процессов тепло-массопереноса и температурных деформаций в строительных материалах. – Новосибирск: Наука, 2001. – 175 с.
4. Драпалюк М.В. Дослідження ресурсозберігаючої технології модифікованого бетону з димпфуючими компонентами // Драпалюк М.В., Пилипенко В.М. Нові технології в будівництві, Київ. № 30, 2016.- 50-53 с.
5. Драпалюк М.В. / Вплив способу формування бетонних конструкцій на характеристики міцності М.В. Драпалюк, В.М. Пилипенко, и др. Нові технології в будівництві, Київ. №36, 2019-42-45 с.
6. Roy D. M. (1992) Advanced Cement Systems Including CBS, DSP, MDF / 9-th ICCS, vol. 1, - S S. 357-380.
7. Кирнев А.Д., Суботин А.И., Евтушенко СИ. Технология возведения зданий и специальных сооружений. - Ростов-на-Дону: Феникс, 2005. – 247 с.

ПОБУДОВА МОДЕЛЕЙ ДЛЯ ПРОГНОЗУВАННЯ МІЦНОСТІ ПІНОБЕТОНІВ

CONSTRUCTION OF MODELS FOR FORECASTING THE STRENGTH OF FOAM CONCRETE

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

Zayakin D.K., graduate student, Mikulich O.A., doctor of technical sciences, prof. (Lutsk National Technical University)

У роботі досліджено основні способи отримання пінобетону, проведено його класифікацію за маркою та призначенням залежно від густини отриманого матеріалу. Використовуючи інтерполяційний метод у роботі, побудовано моделі, що дають можливість прогнозувати міцність пінобетону при стиску за різних значень густини матеріалу. Використання запропонованого підходу дає можливість використовувати пінобетон у якості альтернативного будівельного матеріалу, оскільки дозволяє оцінити його міцність та забезпечити підбір оптимальної густини матеріалу задля реалізації конструктивних рішень різної складності.

Foam concrete is a material that has become widely used in construction in recent years. The main advantage of foam concrete is its lightness, which saves material for producing walls and foundations in civil construction. Since this material has a natural porous structure, it also provides thermal insulation for structural elements. The main areas of application of foam concrete are structural elements, non-structural partitions and thermal insulation materials.

The paper contains a description of the methods for obtaining foam concrete. The classification by brand and purpose depending on the density of the obtained foam concrete is carried out in this paper. It also identifies the main directions and features of using different brands of foam concrete. The analysis of experimental research on the definition of compressive strength of various marks of foam concrete is carried out and it is generalized in the form of graphic dependence. It allows analyzing the influence of the density of the received material on compressive strength.

Using the interpolation method, analytical models of dependence of compressive strength have been constructed. These models allow us to predict the compressive strength of foam concrete at different values of material density. The paper presents six models based on exponential, linear, logarithmic, polynomial and power dependence, which allow estimating the dependence of foam concrete strength on its density. The reliability of the constructed models is also evaluated in the work.

The advantages of using such models are cases when the density of the obtained foam concrete differs from the available data in the literature, for which experimental methods have determined the compressive strength. In this case, designers will be able to assess the strength of foam concrete and ensure its optimal use in construction.

The use of the proposed approach makes it possible to use foam concrete as an alternative building material, as it allows for the assessment of its strength and ensures the selection of optimal material density for the implementation of design solutions of varying complexity, as well as ensure optimal use of this material in construction.

Ключові слова: пінобетон, механічні характеристики, міцність при стиску.

Keywords: foamed concrete, elastic properties, compressive strength.

Вступ. Одним із методів зниження щільності бетону є введення стабільних порожнин усередину затверділого цементного тіста або розчину. Порожнини можуть утворюватися при використанні газу або повітря. Бетон, в який піноутворювач вводить повітря, називається пінобетоном.

До пінобетонів відноситься переважна більшість бетонів, які не містять великих заповнювачів, лише дрібний пісок у поєднанні з надзвичайно легкими матеріалами, а також цемент, воду та піну. Його можна вважати відносно однорідним у порівнянні зі звичайним бетоном, однак властивості пінобетону залежать від мікроструктури та складу, на які впливає тип використовуваної в'язуючої речовини, способи попереднього спінування та затвердіння.

Основною перевагою пінобетону є його легкість, що забезпечує економію матеріалу при будівництві стін і фундаменту. Оскільки цей матеріал має пористу за своєю природою структуру, то забезпечує також і теплоізоляцію елементів конструкцій.

Важливими сферами застосування пінобетону є елементи конструкцій, неконструкційні перегородки та теплоізоляційні матеріали. На ринку будівельних матеріалів наявні пінобетони різної густини, щоб задовольнити вищезазначені вимоги.

Використання пінобетону для відновлення траншей, опор мостів, заповнення порожнин, ізоляції даху, підкладки доріг, будівництва стін тунелів, тощо зумовлює необхідність дослідити вплив різних факторів, зокрема, густини матеріалу на міцність відповідних елементів конструкцій, що є актуальною задачею механіки суцільних середовищ.

Постановка мети та задач досліджень. Робота присвячена побудові математичних моделей, що описуватимуть залежність міцності пінобетону при стиску від густини матеріалу, та оцінці достовірності цих моделей.

Основна частина. Розрізняють три типи елементів конструкцій відповідно до їх призначення: тримальні (несучі), огорожувальні та такі, що мають спільні функції. Відповідно до типу відрізняються і умови роботи цих елементів у структурі будівлі при навантаженні, їх призначення та впливи на них під час самого будівництва або ж експлуатації [1].

Призначення несучих елементів конструкцій будівлі — сприймати всі види навантажень і впливів силового характеру, що виникають в будівлі, і передавати їх через фундамент на ґрунт. Такими конструкціями є, наприклад, стіни [1].

Призначення огорожувальних конструкцій будівлі — ізолювати простір будівлі від зовнішнього середовища, розділяти простір на окремі приміщення і захищати їх від усіх видів впливів несилового характеру. Прикладами таких конструкцій можуть служити перегородки, покрівля, вікна [1].

Ряд конструктивних елементів виконують одночасно несучі та огорожувальні функції, наприклад зовнішні і внутрішні несучі стіни одночасно можуть бути вертикальними опорами для плит перекриття та огорожувальними конструкціями [1].

Пінобетон, в основному, використовується в огорожувальних елементах конструкцій. Використання пінистих матеріалів для несучих елементів зумовлює необхідність детального розрахунку напруженого їх стану та оцінку міцності з урахуванням усіх видів навантаження, що зазнаватимуть такі елементи конструкцій під час будівництва та при експлуатації.

У будівництві окрім пінобетону також часто використовують і природні піноматеріали, такі як вулканічна пемза та деякі інші гірські породи, в основному як декоративний матеріал. Також слід відмітити, що пінобетони або аеробетони застосовують як теплоізоляційні й конструкційні матеріали [2].

Пінобетон отримуються за рахунок рівномірного розподілу бульбашок повітря по масі з бетону. Його внутрішня структура має вигляд, наведений на рис. 1. У пінобетоні комірки повинні мати стінки, які залишаються стабільними під час змішування, транспортування, перекачування та укладання свіжого бетону. Вони дискретно розподілені та мають різні розміри: від 0,1 до 1 мм.

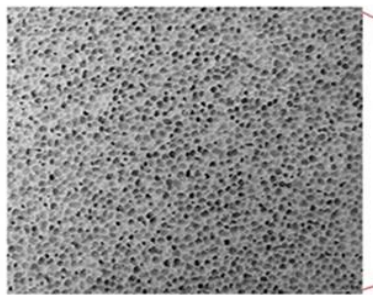


Рис. 1. Мікроструктура пінобетону [3]

Текстурна поверхня та наявність системи закритих пор роблять його широко застосовуваним у сферах теплоізоляції, звукопоглинання та вогнестійкості [3]. Пінобетон — це суміш цементу, піску, води та попередньо спіненої речовини (рис. 2), причому переважна більшість пінобетону не містить великих заповнювачів, а лише дрібний пісок. Сировиною для виробництва пінобетону є в'язуча речовина, заповнювачі, піноутворювач та вода [4].

Властивості пінобетону визначаються такими характеристиками, як густина, міцність при стиску, коефіцієнт проникливості, коефіцієнт водопоглинання та ін. [3].

На відміну від деяких синтетичних легких наповнювачів, затверділий пінобетон є менш схильним до руйнування через вплив бактерій або грибків, а також є захищеним від гризунів і комах. Піноутворювач на основі білка утворює міцні мікробульбашки і не піддається впливу різних хімічних речовин, які можуть бути присутніми під час використання пінобетону.



Рис. 2. Матеріали для пінобетону

Виробництво пінобетону передбачає розведення поверхнево-активної речовини у воді, яка пропускається через піногенератор, який утворює піну стабільної форми. Утворену піну змішують з цементним розчином. Для виробництва пінобетону використовуються два основних способи [4]:

- лінійний спосіб;
- метод попереднього спінювання.

При лінійному способі [4] виробництва пінобетону до агрегату додається базова суміш цементу та піску, де суміш ретельно перемішується з піною. При методі попереднього спінювання [4], формування пінобетону відбувається безпосередньо на будівельному майданчику, де попередньо

сформована піна впорскується у бетон, коли змішувач обертається. Таким методом можна отримати невеликі кількості пінобетону для невеликих обсягів робіт, наприклад, для швів або засипання траншей.

Пінобетон, отриманий методом попереднього спінювання, не завжди має густину, що відповідає відповідним стандартам маркам. Тому для оцінки міцності такого матеріалу необхідно використовувати аналітичні моделі, що даватимуть можливість оцінити міцність пінобетону. Оскільки основною характеристикою при цьому методі отримання пінобетону є густина матеріал, то моделі, що описують залежність міцності від густини, мають практичний інтерес.

Пінобетон, зазвичай, має низькі діапазони густини від 300 до 1600 кг/м³, що сприяє зниженню впливу власної ваги на конструкцію. Межа міцності при стиску коливається від 0,2 до 18 МПа. За густиною пінобетон поділяється на наступні марки [4]:

- конструкційний пінобетон (густина від 1000 до 1200 кг/м³);
- конструкційний та теплоізоляційний пінобетон (густина 500-900 кг/м³);
- теплоізоляційний пінобетон (густина 300-500 кг/м³).

Пінобетон з густиною від 300 до 500 кг/м³ в основному використовується для будівництва стін і покрівлі, оскільки він забезпечує термостійкість, звукоізоляцію та вогнестійкість.

Пінобетон густиною від 600 до 800 кг/м³ використовується для заповнення пустот, наприклад, у ландшафтному дизайні (надземне/підземне будівництво), реконструкції пошкоджених каналізаційних систем, а також для виготовлення кладок. Пінобетон надзвичайно текучий і легко перекачується, повністю заповнює навіть найдрібніші порожнини.

Маючи густину до 300 кг/м³, пінобетон створює невелике вертикальне навантаження на конструкцію. Це особливо важливо в районах, де ґрунти є нестійкими. Для бідних ґрунтів використання пінобетону забезпечує можливість отримання 100% стійкого легкого фундаменту.

Побудова моделі задачі. Для оцінки міцності пінобетону актуальним є побудова математичних моделей, що дадуть можливість спрогнозувати його міцність про різних значеннях густини. Також такі математичні моделі є корисними у випадку, коли густина отриманого пінобетону відрізняється від наявних у літературі даних, для яких експериментальними методами визначено межу міцності при стиску. Ця проблема є особливо актуальною при виготовленні пінобетону методом попереднього спінювання. На основі цих моделей можна спрогнозувати міцність матеріалу та оптимально його використовувати при будівництві.

За результатами експериментальних досліджень [1, 3] побудуємо модель залежності міцності пінобетону на стиск від густини матеріалу. На

рис. 3 представлено графічну залежність між густиною та міцністю пінобетону при стиску.

Використовуючи метод інтерполяції [5] побудуємо моделі, що даватимуть можливість спрогнозувати міцність пінобетону. Отримані за використання методу інтерполяції моделі та їх достовірність наведені у таблиці 1.



Рис. 3. Міцність пінобетону при стиску

Таблиця 1

Функціональна залежність прогнозованої міцності пінобетону

Залежність	Значення коефіцієнтів	Достовірність
$[\sigma_c] = a \cdot e^{b \cdot \rho}$	$a = 0,9237; b = 0,0018$	0,924
$[\sigma_c] = a + b \cdot \rho$	$a = 0,011; b = -3,8637$	0,9856
$[\sigma_c] = a \cdot \ln(\rho) + b$	$a = 9,8055; b = -59,688$	0,9057
$[\sigma_c] = a + b\rho + c\rho^2$	$a = 1 \cdot 10^{-6}; b = 0,0081$ $c = -2,5657$	0,9883
$[\sigma_c] = a + b\rho + c\rho^2 + d\rho^3$	$a = -6 \cdot 10^{-9}; b = 2 \cdot 10^{-5};$ $c = -0,0122; d = 3,2284$	0,9962
$[\sigma_c] = a \cdot \rho^b$	$a = 5 \cdot 10^{-5}; b = 1,7134$	0,9888

Висновки. Побудовані у роботі моделі для оцінки міцності на стиск пінобетону мають нескладний вигляд та є зручними для прогнозування величини граничних напружень при стиску для різних значень густини матеріалу. Використання таких аналітичних підходів дає можливість використовувати пінобетон у якості альтернативного будівельного матеріалу, оскільки дозволяє оцінити його міцність та забезпечити підбір оптимальної густини матеріалу задля реалізації конструктивних рішень різної складності.

References

1. Sagar W., D., Ajay L. D., Nikhade H.R. (2014) Cellular Lightweight Concrete. Journal of Advantage Research in Mechanical and Civil Engineering, Vol. 2, Iss. 4, 22-25.
3. Fu Ya., Wang X., Wang L., Li Yu (2020) Foam Concrete: A State-of-the-Art and State-of-the-Practice Review. Advanced in Material Science and Engineering, ID 6153602.
3. Othman, R.; Jaya, R.P.; Muthusamy, K.; Sulaiman, M.; Duraisamy, Y.; Abdullah, M.M.A.B.; Przybył, A.; Sochacki, W.; Skrzypczak, T.; Vizureanu, P.; et al. (2021) Relation between Density and Compressive Strength of Foamed Concrete. Materials 2021, 14, 2967.
4. Foam concrete – Materials, Properties, Advantage and Production Methods <https://theconstructor.org/concrete/foam-concrete-materials-properties-advantages-production/15921>
5. Dariusz Ja. Ja. Numerical Quadratures Using the Interpolation Method of Hurwitz-Radon Matrices (2014) Advances in Linear Algebra & Matrix Theory, Vol.4 No.2, 100-108

Список використаної літератури

1. Sagar W., D., Ajay L. D., Nikhade H.R. (2014) Cellular Lightweight Concrete. Journal of Advantage Research in Mechanical and Civil Engineering, Vol. 2, Iss. 4, 22-25.
3. Fu Ya., Wang X., Wang L., Li Yu (2020) Foam Concrete: A State-of-the-Art and State-of-the-Practice Review. Advanced in Material Science and Engineering, ID 6153602.
3. Othman, R.; Jaya, R.P.; Muthusamy, K.; Sulaiman, M.; Duraisamy, Y.; Abdullah, M.M.A.B.; Przybył, A.; Sochacki, W.; Skrzypczak, T.; Vizureanu, P.; et al. (2021) Relation between Density and Compressive Strength of Foamed Concrete. Materials 2021, 14, 2967.
4. Foam concrete – Materials, Properties, Advantage and Production Methods <https://theconstructor.org/concrete/foam-concrete-materials-properties-advantages-production/15921>
5. Dariusz Ja. Ja. Numerical Quadratures Using the Interpolation Method of Hurwitz-Radon Matrices (2014) Advances in Linear Algebra & Matrix Theory, Vol.4 No.2, 100-108

**РАЙОНУВАННЯ ХАРАКТЕРИСТИК ТЕМПЕРАТУРИ ПОВІТРЯ
ДЛЯ ОЦІНЮВАННЯ ТЕПЛОВОЇ НАДІЙНОСТІ
ОГОРОДЖУВАЛЬНИХ КОНСТРУКЦІЙ**

**AIR TEMPERATURE CHARACTERISTICS ZONING FOR
ASSESSING ENCLOSING STRUCTURES THERMAL RELIABILITY**

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

**Kariuk A., PhD, Associate Professor National University
«Yuri Kondratyuk Poltava Polytechnic»**

За даними 414 рівнинних пунктів спостереження України виконане адміністративно-територіальне районування статистичних характеристик температури атмосферного повітря. Для 26 регіонів України отримані узагальнені функції математичного сподівання та стандарту температури повітря у вигляді послідовностей з 12-ти місячних значень. Результати виконаного районування дозволяють перейти до імовірнісного оцінювання показників теплової надійності огорожувальних конструкцій.

An objective numerical indicator of enclosing structure thermal reliability level is probable duration of thermal failure state, for assessment of which statistical ambient air temperature characteristics per each month of the year is required. The purpose of the work is to summarize the available meteorological data and perform administrative-territorial zoning of Ukraine according to statistical characteristics of air temperature for all months of the year.

Such zoning is performed according to 414 plain observation points of Ukraine. The duration of observations mainly varies from 20 to 70 years, with 100 years for some weather stations. For each of 24 administrative regions of Ukraine, the Autonomous Republic of Crimea and the Southern Coast of Crimea, regional functions of mathematical expectation and air temperature standard in the form of sequences of 12 monthly values have been established. The number of observation points within the regions varies from 2 in Chernivtsi oblast to 35 in Crimea. Mathematical expectations (monthly average values) of air temperature for each of the regions are defined as weighted average values from all observation points of the region with weight factors equal to the number of observations years. As a result of calculations, tables of annual functions mathematical expectation and standard are obtained, which allow presenting the temperature of atmospheric air in each of the 26 regions in the form of sequences of 12 normally distributed random variables. The obtained results confirmed the expediency of excluding the Southern coast of Crimea to a separate zone with significantly higher air temperatures.

The results of the performed zoning allow using them as initial data for probabilistic estimation and comparative analysis of thermal failures duration of the enclosing designs intended for operation in different regions of Ukraine.

Ключові слова: температура повітря, статистичні характеристики, адміністративно-територіальне районування

Keywords: air temperature, statistical characteristics, administrative-territorial zoning

Вступ. Достатній рівень теплової надійності огорожувальних конструкцій будівель забезпечується вибором їх опору теплопередачі згідно з вимогами ДБН В.2.6-31:2016 "Теплова ізоляція будівель" [1]. Ці норми вимагають додатково перевіряти умову комфортності за значенням температурного перепаду між внутрішньою поверхнею огорожувальної конструкції та повітрям у приміщенні, а також можливість утворення конденсату на внутрішніх поверхнях огорожень у зонах підвищеної теплопередачі. Об'єктивним числовим показником рівня теплової надійності є тривалість стану теплової відмови, для оцінювання якої необхідні статистичні характеристики температури атмосферного повітря для кожного з місяців року.

Аналіз останніх досліджень. Значна мінливість температури повітря в часі та по території спонукає до її імовірного подання у формі випадкових процесів та послідовності випадкових величин, моделі яких обґрунтовані в роботах [2, 3] та використані для аналізу теплової надійності огорожувальних конструкцій в роботах [4, 5]. У [2] також наведені статистичні характеристики процесів температури повітря майже для 500 пунктів спостереження України, які використані для встановлення зимових розрахункових значень температури. Середньомісячні значення температури для опорної мережі з 57 метеостанцій наведені також у [6].

Окрім табличного подання, в роботі [2] наведені карти районування статистичних характеристик і розрахункових значень мінімальної (зимової) температури повітря для проектування теплової ізоляції будівель на території України. Для аналізу територіальної мінливості показників теплової надійності огорожувальних конструкцій краще використовувати узагальнені дані, які відображають температурний режим певних територій, а не окремих пунктів спостереження.

Досить зручним способом узагальненого відображення територіальних змін параметрів клімату є запропоноване в [7] адміністративно-територіальне районування, яке полягає у встановленні єдиного в межах кожної адміністративної області розрахункового значення кліматичного параметра. Районування характеристик температури атмосферного повітря за методикою [7] виконувалося в [8], але в цій роботі аналізувалися лише розрахункові та середні значення температури повітря в січні, в липні, а також середньорічні значення.

Результати районування представлені у вигляді таблиці, кожний рядок якої містить значення кліматичних параметрів для певної адміністративної області України.

Результати адміністративно-територіального районування параметрів клімату є досить компактними, узагальненими та зручними для подальшого аналізу. Разом з тим, імовірісне оцінювання показників теплової надійності огорожувальних конструкцій за методикою [4, 5] вимагає наявності не екстремальних значень температури атмосферного повітря, а її статистичних характеристик для кожного з місяців року.

Мета дослідження: узагальнити наявні метеорологічні дані та виконати адміністративно-територіальне районування України за статистичними характеристиками температури атмосферного повітря для усіх місяців року, яке можна використовувати для порівняльного аналізу тривалості теплових відмов огорожувальних конструкцій в різних областях України.

Вихідні дані для реалізації адміністративно-територіального районування середньомісячних значень температури повітря запозичені з [2]. Використані дані рівнинних пунктів спостереження (ПС), розміщених на висоті до 500 м над рівнем моря. Після вилучення ПС з тривалістю спостережень менше 10 років сформована база даних для 414 ПС. Розподіл метеостанцій за кількістю років спостереження відображено на рисунку 1. З гістограми видно, що тривалість спостережень в основному змінюється від 20 до 70 років, а для окремих ПС сягає 100 років.

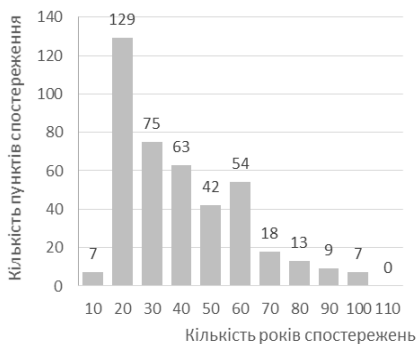


Рис. 1 Розподіл метеостанцій за тривалістю спостережень

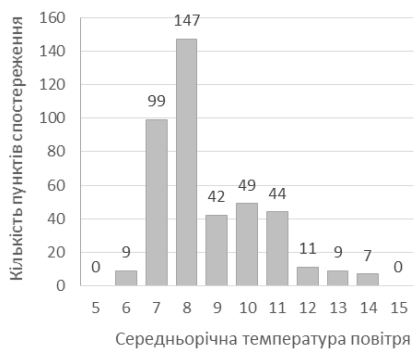


Рис. 2 Розподіл метеостанцій за середньорічною температурою

Узагальненим показником температурного режиму можна вважати середньорічну температуру повітря, розподіл якої по обраних для дослідження 414 ПС України наведено на рисунку 2. Помітно виділяються два діапазони середньорічної температури повітря: 6...8°C (246 ПС) та

8...11°C (135 ПС). На 27 ПС середньорічна температура повітря становить 11...14°C. Широкий діапазон зміни середньорічних температур повітря підтверджує необхідність територіального районування статистичних характеристик.

Адміністративно-територіальне районування помісячних статистичних характеристик температури повітря виконане за методикою [7, 8]. Для цього усі наявні 412 ПС розподілені на 26 груп, які відповідають 24 областям, АР Крим та Південному берегу Криму.

Розподіл кількості N використаних для дослідження рівнинних ПС по областях України наведено в таблиці 1. Найменша кількість ПС (2 ПС) розташовані на території Чернівецької області, а найбільша (35 ПС) – на території Криму. Виходячи з досвіду районування параметрів температури повітря [2, 8], Південний берег Криму виділено в окрему зону з субтропічним кліматом. До неї віднесені пункти спостереження, розміщені південніше Кримських гір.

Перший крок районування полягає в узагальненні середньомісячних значень температури повітря, послідовності яких утворюють річні функції математичного сподівання випадкового процесу температури. Найпростішим варіантом об'єднання даних є обчислення середніх значень за даними ПС, розміщених в межах області, як це було зроблено у [8]. Недоліком такого способу є відображений на рисунку 1 великий розкид кількості років спостереження на різних метеостанціях, що зумовлює різну достовірність результатів цих спостережень.

З метою урахування ваги даних окремих метеостанцій, пропорційної тривалості спостережень, нижче обчислені середньозважені значення математичного сподівання температури повітря в кожному місяці року за формулою

$$M_o = \frac{\sum_{i=1}^k (M_i \cdot N_i)}{\sum_{i=1}^k N_i}, \quad (1)$$

де k – кількість ПС в області;

M_i – математичне сподівання (середньомісячна температура повітря) на i -тому ПС в межах області;

N_i – кількість років спостереження на i -тому ПС;

Результати обчислень за формулою (1) для усіх 12 місяців року та 26 регіонів України наведені в таблиці 1. Кожен рядок таблиці визначає річну функцію математичного сподівання температури повітря для певного регіону. Порівняння даних таблиці 1, отриманих за формулою (1), з результатами простого осереднення математичних сподівань в межах області показало, що різниця між ними змінюється в межах від $-0,43^\circ\text{C}$ до $+0,60^\circ\text{C}$, а в середньому становить $-0,04^\circ\text{C}$.

Таблиця 1

Середньомісячні температури повітря в областях України

Регіони України	k	Обласні значення математичного сподівання для місяців року											
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Вінницька	16	-5,14	-4,45	0,45	7,51	14,28	17,20	18,97	18,34	13,73	7,77	1,44	-2,89
Волинська	6	-3,46	-3,38	1,21	7,49	13,87	16,73	18,14	17,48	13,12	7,65	2,19	-1,77
Дніпропетровська	15	-5,08	-4,53	0,59	8,72	15,74	19,15	21,44	20,67	15,16	8,47	1,70	-3,13
Донецька	18	-5,78	-5,37	-0,17	8,30	15,47	19,02	21,53	20,64	15,02	8,20	1,31	-3,67
Житомирська	13	-5,38	-4,73	-0,03	7,17	13,88	16,80	18,52	17,61	12,94	7,05	1,23	-3,06
Закарпатська	13	-3,64	-2,07	3,40	9,19	14,43	17,16	19,03	18,26	14,24	9,15	3,45	-1,16
Запорізька	16	-3,79	-3,39	1,15	8,77	15,85	19,97	22,60	21,83	16,33	9,92	3,18	-1,68
Івано-Франківська	18	-4,61	-3,42	1,18	7,35	13,10	16,08	17,98	17,13	13,06	7,81	2,16	-2,32
Київська	20	-5,60	-5,10	-0,18	7,45	14,48	17,46	19,22	18,38	13,44	7,29	0,96	-3,32
Кіровоградська	13	-5,10	-4,56	0,51	8,18	15,06	18,34	20,41	19,76	14,66	8,32	1,58	-3,00
Крим	35	-0,37	-0,32	3,31	8,99	14,75	19,20	22,06	21,61	16,76	11,51	5,82	1,76
Крим ПБ	21	2,90	2,66	5,26	9,79	15,29	19,94	23,37	23,25	18,87	13,89	8,65	5,08
Луганська	9	-6,63	-6,42	-0,80	8,21	15,62	19,19	21,54	20,40	14,57	7,60	0,80	-4,31
Львівська	33	-3,74	-2,91	1,58	7,58	13,37	16,33	18,06	17,28	13,18	8,02	2,55	-1,58
Миколаївська	10	-3,29	-2,60	2,08	9,07	15,92	19,75	22,27	21,55	16,54	10,24	3,65	-1,15
Одеська	27	-2,63	-1,89	2,47	8,98	15,64	19,61	22,04	21,31	16,65	10,79	4,47	-0,30
Полтавська	18	-6,18	-5,70	-0,52	7,87	15,23	18,40	20,36	19,44	14,12	7,49	0,94	-3,96
Рівненська	4	-4,16	-3,74	0,94	7,46	13,88	16,81	18,30	17,51	13,21	7,61	1,98	-2,08
Сумська	15	-7,00	-6,76	-1,67	6,81	14,27	17,56	19,33	18,30	13,00	6,47	0,03	-4,81
Тернопільська	4	-4,61	-3,73	0,87	7,48	13,62	16,61	18,26	17,48	13,27	7,79	2,06	-2,31
Харківська	20	-6,79	-6,46	-1,12	7,77	15,19	18,54	20,55	19,60	13,94	7,13	0,44	-4,64
Херсонська	20	-2,57	-2,06	2,34	9,22	15,98	20,15	22,88	22,10	16,93	10,79	4,28	-0,37
Хмельницька	11	-4,92	-4,11	0,70	7,50	13,90	16,82	18,56	17,90	13,47	7,78	1,75	-2,70
Черкаська	20	-5,50	-4,87	0,11	7,89	14,85	17,93	19,86	19,11	14,11	7,84	1,29	-3,19
Чернівецька	2	-4,14	-3,14	1,80	8,66	14,46	17,40	19,23	18,69	14,25	8,65	2,09	-1,99
Чернігівська	17	-6,54	-6,29	-1,21	7,00	14,29	17,24	19,02	17,99	12,89	6,57	0,38	-4,25

Таблиця 2

Стандарти температури повітря в областях України

Регіони України	Обласні значення стандартів для місяців року											
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Вінницька	6,29	6,17	5,44	4,52	3,79	3,52	3,36	3,41	3,85	4,49	5,30	5,93
Волинська	6,02	6,00	5,33	4,53	3,83	3,56	3,43	3,49	3,91	4,51	5,20	5,76
Дніпропетровська	6,28	6,19	5,42	4,38	3,65	3,34	3,15	3,21	3,71	4,41	5,26	5,97
Донецька	6,39	6,32	5,52	4,43	3,68	3,35	3,14	3,22	3,72	4,44	5,32	6,05
Житомирська	6,33	6,22	5,50	4,56	3,83	3,55	3,40	3,48	3,93	4,58	5,33	5,96
Закарпатська	6,05	5,80	5,03	4,33	3,78	3,52	3,35	3,42	3,80	4,34	5,03	5,67
Запорізька	6,07	6,01	5,34	4,38	3,64	3,27	3,06	3,12	3,60	4,25	5,06	5,75
Івано-Франківська	6,20	6,01	5,33	4,54	3,91	3,62	3,45	3,52	3,92	4,49	5,20	5,84
Кіївська	6,36	6,28	5,53	4,53	3,77	3,49	3,34	3,41	3,88	4,55	5,36	6,00
Кіровоградська	6,28	6,19	5,43	4,45	3,72	3,41	3,24	3,29	3,76	4,43	5,28	5,95
Крим	5,55	5,55	5,05	4,35	3,75	3,34	3,10	3,14	3,56	4,08	4,73	5,25
Крим ПБ	5,10	5,13	4,80	4,26	3,70	3,28	3,00	3,01	3,37	3,83	4,39	4,82
Луганська	6,53	6,50	5,62	4,44	3,66	3,34	3,14	3,24	3,77	4,51	5,39	6,15
Львівська	6,06	5,93	5,28	4,52	3,89	3,60	3,44	3,51	3,90	4,46	5,15	5,73
Миколаївська	5,99	5,89	5,21	4,34	3,64	3,29	3,08	3,14	3,58	4,21	5,00	5,67
Одеська	5,89	5,78	5,16	4,35	3,66	3,30	3,10	3,16	3,57	4,15	4,90	5,54
Полтавська	6,46	6,38	5,57	4,48	3,70	3,41	3,24	3,32	3,81	4,53	5,37	6,10
Рівненська	6,13	6,06	5,37	4,53	3,83	3,55	3,42	3,49	3,90	4,51	5,22	5,81
Сумська	6,60	6,56	5,74	4,61	3,80	3,48	3,33	3,42	3,92	4,65	5,50	6,23
Тернопільська	6,20	6,06	5,38	4,53	3,86	3,57	3,42	3,49	3,89	4,49	5,21	5,84
Харківська	6,56	6,51	5,66	4,49	3,71	3,40	3,22	3,30	3,83	4,57	5,44	6,20
Херсонська	5,88	5,80	5,18	4,33	3,63	3,26	3,03	3,10	3,54	4,15	4,92	5,55
Хмельницька	6,25	6,12	5,40	4,53	3,83	3,55	3,39	3,45	3,88	4,49	5,25	5,90
Черкаська	6,35	6,24	5,48	4,48	3,74	3,45	3,28	3,35	3,81	4,49	5,32	5,98
Чернівецька	6,13	5,97	5,25	4,39	3,78	3,50	3,34	3,38	3,80	4,39	5,21	5,79
Чернігівська	6,52	6,48	5,68	4,58	3,79	3,51	3,35	3,45	3,93	4,64	5,45	6,14

Стандарти температури повітря обчислені через математичні сподівання M_0 з таблиці 1 за наближеною формулою з [3]

$$S_0 = 5,5 \cdot \exp(-0,026 \cdot M_0). \quad (2)$$

Результати обчислень за формулою (2) для усіх регіонів і всіх місяців року наведені в таблиці 2, кожен рядок якої визначає річну функцію стандарту температури повітря для певного регіону України. Порівняння з даними [2, 3] вказує на якісну збіжність функцій стандарту, які зростають взимку та зменшуються у теплий період року.

Дані таблиць 1 і 2 дозволяють представити температури атмосферного повітря у 26 регіонах України у формі послідовностей з 12-ти випадкових величин з нормальним законом розподілу. Така форма імовірнісного подання відповідає розробленій в [4, 5] методиці оцінювання показників теплової надійності огорожувальних конструкцій.

Висновки

1. Адміністративно-територіальне районування статистичних характеристик температури атмосферного повітря виконане за даними метеорологічних спостережень на 414 рівнинних метеостанціях і метеопостах України.

2. Для кожної з 24 адміністративних областей України, АР Крим та Південного берега Криму встановлені обласні функції математичного сподівання й стандарту температури повітря у вигляді послідовностей із 12-ти місячних значень.

3. Отримані результати дозволили подати температуру атмосферного повітря в 26 регіонах України у формі послідовностей із 12-ти нормально розподілених випадкових величин та використати їх у якості вихідних даних для оцінювання показників теплової надійності огорожувальних конструкцій, призначених для експлуатації в різних регіонах.

References

1. DBN B.2.6-31: 2016: Thermal insulation of buildings. - Kyiv: Ministry of Construction of Ukraine, 2016. - 31 p. (in Ukrainian)
2. Temperaturni vplyvy na ohorodzhuvalni konstruktsii budivel (monohrafiia) / V.A. Pashynskiy, N.V. Pushkar, A.M. Kariuk / Odeska derzhavna akademiia budivnytstva ta arkhitektury. – Odesa, 2012. – 180 s.
3. Kariuk A.M. Statystychni kharakterystyky serednodobovoi temperatury povitria na terytorii Ukrainy / A.M. Kariuk, V.V. Pashynskiy // Visnyk Odeskoi derzhavnoi akademii budivnytstva ta arkhitektury. – Odesa: Zovnishreklamservis, 2012 – Vypusk № 47, chastyna 2. – S. 157-163.
4. Pashynskiy V.A., Plotnykov O.A. Veroiatnostnaia metodyka analiza teplovoi nadezhnomy uzlov ohrazhdaiushchykh konstruktsiy // Vestnyk Belorussko-rossyiskoho unyversyteta, 2017. – № 3 (56). – S. 129–135.

5. Kariuk A., Pashynskiy V., Pashynskiy M., Mammadova F. (2022) Methods of Probabilistic Assessment of Building Enclosing Structures Thermal Reliability // Lecture Notes in Civil Engineering, 2022, 181, pp. 179-189. <https://doi.org/10.1007/978-3-030-85043-218>

6. DSTU-N B V.1.1–27:2010 Zakhyst vid nebezpechnykh heolohichnykh protsesiv, shkidlyvykh ekspluatatsiinykh vplyviv, vid pozhezhi. Budivelna klimatolohiia. – K., 2010. – 101 s.

7. Pashynskiy V.A. Metodyka administratyvno-terytorialnoho raionuvannia klimatychnykh navantazhen na budivelni konstruktsii // Resursoekonomni materialy, konstruktsii, budivli ta sporudy: Zbirnyk naukovykh prats.– Rivne, 2016. – Vypusk 32. – S. 387-393.

8. Pashynskiy, V., Pashynskiy, M., Pushkar, N., Skrynnik, I.: Method of administrative-territorial zoning of the design parameters of air temperature, Electronic Journal of the Faculty of Civil Engineering Osijek-e-GFOS, 2019, 19, pp. 50-57, <https://doi.org/10.13167/2019.19.5>

Список використаної літератури

1. DBN B.2.6-31: 2016: Thermal insulation of buildings. - Kyiv: Ministry of Construction of Ukraine, 2016. - 31 p. (in Ukrainian)

2. Температурні впливи на огороджувальні конструкції будівель (монографія) / В. А. Пашинський, Н. В. Пушкар, А. М. Карюк / Одеська державна академія будівництва та архітектури. – Одеса, 2012. – 180 с.

3. Карюк А. М. Статистичні характеристики середньодобової температури повітря на території України / А. М. Карюк, В. В. Пашинський // Вісник Одеської державної академії будівництва та архітектури. – Одеса: Зовнішрекламсервіс, 2012 – Випуск № 47, частина 2. – С. 157-163.

4. Пашинский В.А., Плотников О.А. Вероятностная методика анализа тепловой надежности узлов ограждающих конструкций // Вестник Белорусско-российского университета, 2017. – № 3 (56). – С. 129–135.

5. Kariuk A., Pashynskiy V., Pashynskiy M., Mammadova F. (2022) Methods of Probabilistic Assessment of Building Enclosing Structures Thermal Reliability // Lecture Notes in Civil Engineering, 2022, 181, pp. 179-189. <https://doi.org/10.1007/978-3-030-85043-218>

6. ДСТУ-Н Б В.1.1–27:2010 Захист від небезпечних геологічних процесів, шкідливих експлуатаційних впливів, від пожежі. Будівельна кліматологія. – К., 2010. – 101 с.

7. Пашинський В. А. Методика адміністративно-територіального районування кліматичних навантажень на будівельні конструкції // Ресурсоекономні матеріали, конструкції, будівлі та споруди: Збірник наукових праць.– Рівне, 2016. – Випуск 32. – С. 387-393.

8. Pashynskiy, V., Pashynskiy, M., Pushkar, N., Skrynnik, I.: Method of administrative-territorial zoning of the design parameters of air temperature, Electronic Journal of the Faculty of Civil Engineering Osijek-e-GFOS, 2019, 19, pp. 50-57, <https://doi.org/10.13167/2019.19.5>

УДК 624.011.1 [https://doi.org/10.36910/6775-2410-6208-2022-7\(17\)-08](https://doi.org/10.36910/6775-2410-6208-2022-7(17)-08)

ДОСЛІДЖЕННЯ РОБОТИ ДВОТАВРОВИХ ДЕРЕВ'ЯНИХ БАЛОК ІЗ OSB СТІНКОЮ

RESEARCH OF WORK OF I-BEARING WOODEN BEAMS WITH OSB WALL

Кислюк Д.Я. к.т.н., доц., Чапюк О.С., к.т.н., доц., Самчук В.П. к.т.н., доц., Залета А.О. магістр (Луцький національний технічний університет, м. Луцьк) Савенко В.І. к.т.н., професор (Київський національний університет будівництва та архітектури, м. Київ)

Kysliuk D.Y., Ph.D.in Engineering, Associate Professor, Chapiuk O.S., Ph.D. in Engineering, Associate Professor, Samchuk, V.P., Ph.D. in Engineering, Associate Professor, Zaleta A.O. master, (Lutsk National Technical University) Savenko V.I. Ph.D.in Engineering, Professor (Kyiv National University of Construction and Architecture)

Досліджені нові типи балок, виготовлені приватним підприємцем Деркачем С.О. з с. Милуші Луцького району. Пояси балок виготовлено з дерев'яних брусків сосни II-го сорту; стінки балки складні, з орієнтовано-стружкової плити; з'єднання стінки з поясами здійснено за допомогою клею. Результатами досліджень є задовільна робота дерев'яної балки двотаврового перерізу з стінками із OSB плити. Відповідно, отримуємо збільшення сумарних розрахункових навантажень. Геометричні розміри поперечного перерізу балки оптимізовано для прольотів 4,5 м, і, відповідно, може витримувати розподілене навантаження 100кг / 1 м.п.

New types of beams manufactured by private entrepreneur S. Derkach are presented for testing with Milushi of Lutsk district beam belts are made of wooden bars of the second grade pine; the beam wall is a component made of oriented strand board; a pair of walls with belts is made with an adhesive connection.

The modern development of construction is characterized by the desire to reduce the own weight of structures and increase their thermal characteristics. This has led to the revival of the domestic construction market structures, using wood and waste from its processing. Previously developed provisions for the calculation and design of such structures require experimental confirmation. The well-known design of I-beams with a flat wall, which has become widely used in construction, in recent years has undergone significant changes - the wall, which was previously made of plywood, is made of oriented strand board (OSB). Since the strength and deformability characteristics of plywood and OSB have significant differences, it is necessary to conduct experimental studies of their behavior under load in order to install such beams for the production of design loads for their application in construction.

I-beams - a structural material used for the construction of houses on frame technology, installation of floors, roofing and attics. The formula "wood + OSB + wood" allows to

avoid the shortcomings inherent in wood, and thanks to the I-beam section high characteristics of durability are reached.

Studies have shown satisfactory performance of wooden beams of I-beam section with walls of oriented strand board. The load-bearing capacity of the beams exceeded the calculated destructive load, calculated theoretically by 55%. The accepted geometric parameters of the cross section of the beam are optimized for a span of 4.5 m, as in this case the bearing capacity of the beam in different design cases is approximately the same. According to the calculation, this beam with a span of 4 m can withstand a distributed load of 100 kg per 1 r.m.

Ключові слова: дерев'яна балка, орієнтовано-стружкова плита (OSB).

Keywords: wood beams, oriented strand board (OSB).

У будівництві вже багато століть використовується деревина, оскільки вона є безпечним, екологічно чистим та відновлювальним природним матеріалом.

На даний момент зусилля фахівців будівельної галузі спрямовані на зниження маси конструкцій та підвищення їх теплотехнічних характеристик. Це призвело до відродження на українському будівельному ринку елементів і конструкцій із застосуванням деревини та відходів її переробки. Ті, що були розроблені раніше, положення розрахунку та проектування нових видів дерев'яних конструкцій, потребують експериментального підтвердження. Конструктивне рішення дерев'яних двотаврових балок із плоскою стінкою, які раніше активно застосовувалось у будівництві, останнім часом зазнало істотних змін – стінку балки, яка була з фанери, тепер виготовляють з орієнтовано-стружкової плити (OSB) [1]. Міцнісні та деформативні характеристики OSB плит і фанери мають суттєві відмінності, тому для впровадження балок нового типу у виробництво, необхідно провести експериментальні дослідження та визначити їх розрахункові навантаження [2].

Двотаврові дерев'яні балки – це конструктивний матеріал, що застосовується для зведення будинків за каркасною технологією, влаштування перекриттів, покрівель і мансард. Формула "дерево + OSB + дерево" допомагає уникнути недоліків, властивих деревині, і завдяки двотавровому перерізу досягнути високих характеристик міцності (рис. 1, 2).

Двотаврові балки складаються зі склеєних між собою стінки, виготовленої з OSB плити, та дощатих полиць. Вони можуть використовуватися там, де й звичайні дерев'яні балки, але мають значно меншу масу і витрату деревини, необхідну для їхнього виготовлення. OSB стінки двотаврових балок працюють на зріз надійніше, ніж деревина на сколювання, за рахунок того, що при згині деревина сконцентрована у зонах дії максимальних нормальних напружень.

Дослідження нового типу дерев'яних балок були здійснені для підготовки магістерської роботи, виконаної на кафедрі будівництва та цивільної інженерії ЛНТУ.



Рис. 1. Загальний вигляд двотаврових дерев'яних балок

Переваги дерев'яних двотаврових балок:

- широкий сортамент;
- універсальність застосування (каркасне будівництво; влаштування мансард, перекриття і кроквяних систем);
- висока швидкість і простота монтажу;
- відносно невелика маса, що дозволяє працювати без застосування крану (балка перекриття довжиною 6,5 м важить не більше 40 кг);
- висока надійність, міцність та жорсткість (характеристики балок можна порівняти з бетонними і металевими);
- дозволяє перекрити значні прольоти без додаткових опорних елементів і конструкцій;
- висока точність розмірів (постійність розмірів незалежно від тривалості експлуатації);
- вологостійкість;
- низька теплопровідність;
- можливість прокладання різних інженерних комунікацій.



Рис. 2. Змонтовані балки перекриття

Представлений для випробування новий тип балок виготовляється приватним підприємцем Деркачем С.О. у с. Милуші Луцького району. Пояси балки зроблені з дерев'яних брусків сосни II-го сорту; стінка балки складена, виконана з орієнтовано-стружкової плити; кріплення стінки з поясами було здійснено за допомогою клейового з'єднання. Глибина паза складала 20 мм.

Було випробувано дерев'яну балку двотаврового перерізу зі стінками з орієнтовано-стружкової плити розрахунковим прольотом 1,8 м. Визначення несучої здатності конструкції проводили з умови завантаження однопролітної балки з двома зосередженими силами (рис. 3).

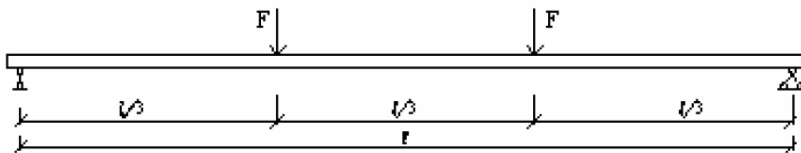


Рис. 3 – Схема випробування балок

Геометричні параметри перерізу балки:

- висота балки $h_b = 150$ мм;
- висота стінки $h_{ст} = 70$ мм;
- висота поясів $h_{п} = 40$ мм;
- ширина поясів $b_b = 60$ мм;
- глибина зацмлення стінки в поясах $h_з = 20$ мм;
- товщина стінки балки $\delta_{ст} = 10$ мм.

Перед випробуванням балок було визначено фізико-механічні характеристики орієнтовано-стружкової плити. Модуль пружності OSB плити становив близько $E = 4900$ МПа. Пояси балки було виготовлено з деревини сосни II-го сорту С20 [3].

$f_{t,d} = 12$ МПа - розрахунковий опір розтяганням деревини.

$f_{c,d} = 19$ МПа - розрахунковий опір стиску деревини.

При розрахунку використовували характеристики перерізів елементів балки з урахуванням різних модулів пружності матеріалу стінки та поясів [4]. В результаті обчислень було визначено величину розрахункового руйнівного навантаження і теоретичний максимальний прогин f , який йому відповідає [5].

Згідно розрахунку, несуча здатність такої балки склала $M = 2,3$ кНм, що відповідає навантаженню $F = 3,75$ кН, а прогин становив $f = 8,6$ мм.

Випробування балки було проведено на базі науково-дослідної будівельної лабораторії Луцького національного технічного університету. Навантаження прикладалось за допомогою гідравлічного пресу ПСУ 25 через спеціальну металеву траверсу (рис. 4). Методикою випробувань було передбачено вимірювання переміщень у центральній частині балки за допомогою прогиноміра Максимова.

Навантаження до балки прикладалось поетапно зі збільшенням зусилля на 1,0 кН на кожному етапі. На кожному етапі витримувалась пауза 7 – 10 хв.



Рис. 4. Випробування балки

Результати досліджень показали, що зразок двотаврової клеєної балки з OSB стінкою фактично витримує навантаження на згин біля $F = 5,0$ кН при прогині $f = 7,39$ мм, що відповідає вимогам ДСТУ-Н Б В.2.6-217:2017, допустимий прогин 1/200. Руйнівне навантаження склало $F = 6,0$ кН при прогині $f = 10,28$ мм,

Проаналізувавши результати випробувань, бачимо близький збіг розрахункових величин із фактичним руйнівним навантаженням і прогином балки перед руйнуванням. Прогин балки перед руйнуванням становив 10,3 мм і дещо перевищував нормативне значення 9 мм (1/200 прольоту). Сама залежність між навантаженням та прогином мала лінійний характер. Гранічні значення напружень до руйнування у деревині поясів балки були обчислені за згинальним моментом і досягали 18 МПа у розтягнутій зоні і 20 МПа в стиснутій. Руйнування балки було від дії розтягуючих напружень у нижньому поясі зубчастого клейового шва (рис. 5).



Рис. 5. Вигляд руйнування балки

Проведені дослідження показали задовільну роботу складної дерев'яної балки двотаврового перерізу зі стінкою із орієнтовано-стружкової плити. Несуча здатність балки перевищила розрахункове руйнівне навантаження на 55%. Геометричні параметри поперечного перерізу балки було оптимізовано для прольоту 4,5 м, завдяки чому несуча здатність балки при різних розрахункових випадках приблизно однакова. Згідно розрахунку така балка може витримувати розподілене навантаження 1,0 кН на 1 м.п або 100 кг/м.п. У таблиці 1 наведено значення прогинів на кожному кроці навантажень.

Таблиця 1

Результати випробувань

№ з/п	Найменування конструкції, порода, складові	№ етапу завантаження	F, Навантаж. по етапу, кН	Відлік прогину по індикатору		
				На кожному етапі	Різниця між етапами відносно етапу №1	Прогин по етапах завантаження, мм
1	Двотаврова дерев'яна клеєна балка зі стінкою з OSB, бруса нижнього, верхнього поясів -порода сосна II сорт	1	0	224	45	0,46
		2	0,5	268	145	1,44
		3	1,0	367	286	2,85
		4	2,0	508	439	4,38
		5	3,0	662	510	5,12
		6	4,0	725	739	7,38
		7	5,0	963	1028	10,27
		8	6,0	1250		

Висновки. Проведено дослідження нового типу балок двотаврового перерізу зі складеними стінками із орієнтовано-стружкової плити. Отримані результати продемонстрували, що запропонована конструкція дозволяє сприймати більші загальні розрахункові навантаження.

Геометричні параметри поперечного перерізу балок оптимізовані для прольоту 4,5 м, що дозволяє витримувати розподілене навантаження 1,0 кН на 1 м.п.

References

1. EN 300. Plyty oryentirovannostruzhechnye. Tekhnicheskyye usloviya.
2. DBN V.1.2-2:2006. Navantazhennia i vplyvy. Normy proektuvannia. – K.: Minbud Ukrainy, 2006. – 78 s.
3. DSTU-N B V.2.6-217:2017 Konstruktsii z tsilnoi i kleienoї derevyny. Nastanova z proektuvannia – K.: DP "UkrNDNTs", 2017. – 131 s.
4. DBN V.2.6-161:2017 Konstruktsii budynkiv i sporud. Derev'iani konstruktsii.– K.: Minreghionbud Ukrainy, 2018. – 111 s.
5. Homon S.S. Konstruktsii z dereva ta plastmas. Praktykum. Navchalnyi posibnyk. – Rivne: NUVHP, 2012. – 154 s.

Список використаної літератури

1. EN 300. Плиты ориентированностружечные. Технические условия.
2. ДБН В.1.2-2:2006. Навантаження і впливи. Норми проектування. К.: Мінбуд України, 2006. 78 с.
3. ДСТУ-Н Б В.2.6-217:2017 Конструкції з цільної і клеєної деревини. Настамова з проектування. К.: ДП "УкрНДНЦ", 2017. 131 с.
4. ДБН В.2.6-161:2017 Конструкції будинків і споруд. Дерев'яні конструкції. К.: Мінрегіонбуд України, 2018. 111 с.
5. Гомон С.С. Конструкції з дерева та пластмас. Практикум. Навчальний посібник. Рівне: НУВГП, 2012. 154 с.

**АНАЛІЗ ДОСЛІДЖЕНЬ ІЗ ПІДВИЩЕННЯ СТІЙКОСТІ ДО
ВИБУХІВ ЗАЛІЗОБЕТОННИХ ПЛИТ**

**ANALYSIS OF STUDIES TO INCREASE THE EXPLOSION
RESISTANCE OF REINFORCED CONCRETE SLABS**

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

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

Оскільки вибухова стійкість залізобетонних несучих конструкцій не є абсолютним поняттям і завжди пов'язана з високою вартістю, то для будь-якого підвищення рівня захисту від пошкоджень виникає необхідність використання відповідних інструментів оцінки, щоб із розумним ступенем точності визначати рівень уразливості нових, а також існуючих конструкцій.

The significant destructive potential of explosives indicates the need to increase the explosion resistance of civil and industrial infrastructure facilities, taking into account the design of new and modernization of existing buildings and structures.

Blast protection is a complex task, involving a large number of parameters that can affect the limit value of the transmitted load and the bearing capacity of reinforced concrete slabs. Mitigation of the effects of the explosion is in the spotlight due to the unstable geopolitical situation. Reinforced concrete slab structures are not designed to withstand explosive loads, and in areas of a possible attack, their sensitive elements require anti-explosion modernization.

The need for knowledge of modern design solutions for reinforced concrete slabs, their behavior under the action of a dynamic load in a complex stress-strain state, makes the task of studying, systematizing and developing solutions for practical use urgent.

The article studies experimental and theoretical studies of reinforced concrete slabs under the action of the destructive potential of explosives. The mechanisms of damage formation and the behavior of materials of reinforced concrete slabs under the action of high-speed explosive loads are presented.

Significant research has been devoted to various types of upgrades to mitigate the effects of an explosion. Structural solutions with the introduction of modern polymeric materials and heavy-duty concretes are in great demand. The high strength-to-weight ratio, corrosion resistance, ease of use, non-stop installation and relatively low maintenance make these solutions attractive for use in production to increase strength and reduce deflection of reinforced concrete slabs. In the course of the tests performed in the near, intermediate or far field of the explosion, the tested reinforced concrete slabs are preferably modified with an external polymer reinforced with glass fiber or carbon fiber in the form of laminates, sheets or slabs.

Even if the modified material did not prevent fracture in most of the tests, the contribution to blast resistance was evident in the improvement in the ductility of the test slabs, with a significant reduction in residual displacements and breakage rates.

An analysis of the research and development of various innovative materials and intelligent design solutions to improve the structural resistance to explosion of reinforced concrete slabs was carried out. They are compared with the existing reinforced concrete slabs. Conclusions are obtained for use in practical application and subsequent research.

Ключові слова: залізобетонні плити, стійкість до вибухів, дослідні моделі, схема тріщин.

Keywords: reinforced concrete slabs, explosion resistance, experimental models, scheme of cracks.

Вступ. Необхідність знань інноваційних конструктивних зразків сучасних залізобетонних плит, їх поведінку під дією динамічного навантаження в складному напружено-деформованому стані, робить актуальною задачу вивчення, систематизації та розробки рішень для практичного застосування. Пом'якшення наслідків вибуху знаходиться в центрі уваги через нестабільну геополітичну ситуацію. Конструкції залізобетонних плит не розраховані на витримування вибухового навантаження, а в районах можливого нападу їх чутливі елементи вимагають противибухової модернізації.

Аналіз останніх досліджень та публікацій. Усвідомлення необхідності захисту конструкцій від вибухових навантажень – не нова проблема. Раніше проведено багато досліджень впливу вибухових навантажень на конструкції, насамперед, залізобетонні плити. Найчастіше виконувались експериментальні дослідження з виявлення потенційного пошкодження залізобетонних плит при реальних і змодельованих вибухових навантаженнях для отримання ефективних рішень покращення їх вибухової стійкості з застосуванням модернізації полімерами армованими волокном [1-10]. Актуальним для цих робіт було, зокрема, аналітичне та експериментальне дослідження залізобетонних плит із двосторонньою модернізацією полімерами, армованими волокном, і без неї для різних параметрів, які можуть впливати на граничне значення переданого навантаження і несучу здатність залізобетонних плит.

Цілі і завдання. Виконати аналіз досліджень нових розробок інтелектуальних проектних рішень щодо підвищення вибухонебезпечності залізобетонних плит із використанням різноманітних інноваційних матеріалів.

Основна частина. В роботі [4] дослідні зразки були випробувані на сталевій рамі (рис. 1). Під час випробування використовувалися кутові

секції, закріплені болтами, щоб ефективно забезпечити утримання вгору проти відскоку плити та зменшити бічний рух. Ефективний проліт плит становив 1800 мм. Опорне кріплення заряду вибухової речовини складалося із трьох секцій труб, як показано на рис. 2. Заряд підвішували до горизонтальної секції за допомогою легкого троса. Заряд був центрований над плитою за допомогою чотирьох напрямних струн. Дані були записані за допомогою датчика лінійного змінного зміщення (LVDT), датчиків тиску та високошвидкісної камери. Для запису історії зсуву в центрі кожної плити було встановлено LVDT з максимальним діапазоном 250 мм, частота дискретизації становила 10 кГц. Датчики тиску використовувалися для вимірювання тиску повітряного вибуху як у центрі зразка (PT1), так і біля однієї опори (PT2). Тиск вибуху вище 6,9 МПа не реєстрували, оскільки перетворювачі були вилучені, щоб уникнути пошкодження при більш високих тисках. Датчики тиску мали частоту дискретизації 2 МГц. Для запису кожного експерименту використовувалася високошвидкісна камера, яка знімала 2000 кадрів в секунду.



Рис. 1. Сталева рама для закріплення моделей залізобетонних плит

Орієнтація заряду може суттєво впливати на піковий надлишковий тиск та імпульс. Для циліндричних зарядів піковий надлишковий тиск та імпульс залежать від місць детонації. Для низьких відношень довжини до діаметру більше енергії спрямовується в осьовому напрямку, а для високих відношень довжини до діаметру більше енергії спрямовується в радіальному напрямку.

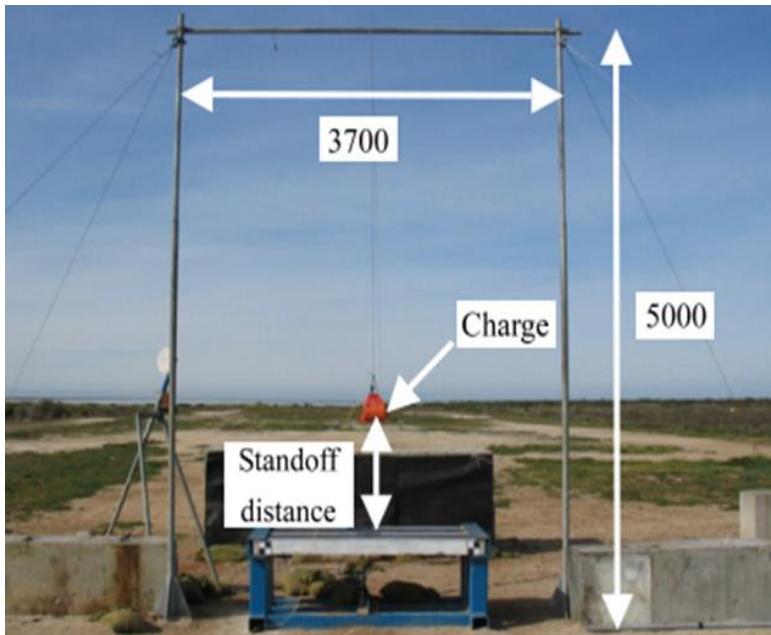


Рис. 2. Опорне кріплення заряду вибухової речовини

Звичайна залізобетонна плита NRC-3 була випробувана на вибух від заряду вагою 3,4 кг, розташованого над нею на висі 93 см. Спостерігалися дрібні тріщини незначної залишкової ширини, але малоймовірно, що момент плинності в плиті був досягнутий. Після того, як плита NRC-4 була випробувана на вибух від заряду вагою 8 кг, розташованого над нею на висі 75 см, по довжині плити з'явилися тріщини, які мали значну глибину та кількість. Тріщин біля опор не було.

Модернізована звичайна плита PET-2 двома пластинами з полімеру, армованого скловолоком, товщиною 2,8 мм на стиснутій поверхні. Зразок PET-2 піддавався вибуху вагою 5 кг на відстані 92 см. Отримані пошкодження показані на рис. 3, який включає тріщини, пов'язані з вигином і зсувом (виділено після випробування), а також відклеюванням ламінату FRP (рис. 4). Подрібнення бетону не спостерігалось.

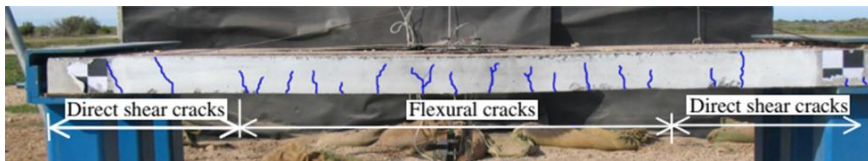


Рис. 3. Візерунки тріщин в бетоні плити PET-2

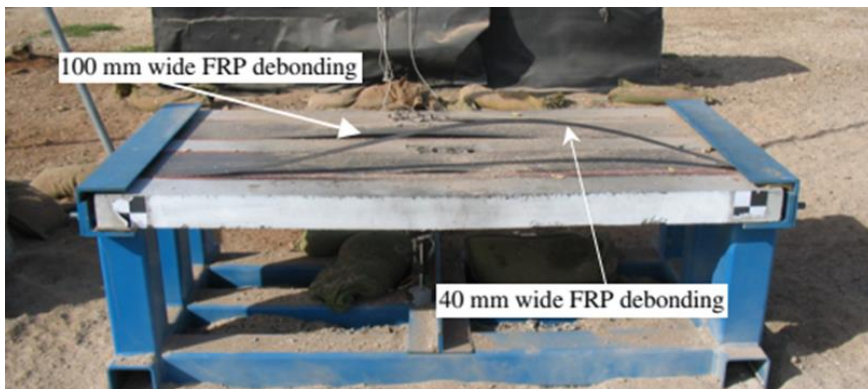


Рис. 4. Відклеювання пластин з полімеру, армованого скловолоконном

В плиті PET-2 виникло роз'єднання між верхнім і нижнім шарами FRP. Одна пластина шириною 100 мм відклеєна на центральній лінії плити, а одна пластина шириною 40 мм відклеєна по довжині плити. Відшарування відбулося між смугами FRP, а не на межі розділу FRP-бетон. При швидкому навантаженні в зонах зосереджених навантажень (реакцій) можуть утворюватися тріщини прямого зсуву. Прямі зсувні руйнування виключають розвиток міцності плити на вигин і є небажаними, хоча, ймовірно, немінучими для зарядів ближнього поля.

Проста фібробетонна плита UHPFC надвисокої продуктивності витримала вагу заряду 3,4 кг на відстань до заряду вибухової речовини 0,5 м. В плиті спостерігалось лише розтріскування при вигині в середині і чвертях, як показано на рис. 5. LVDT зафіксував постійний прогин 4,1 мм. Це випробування підтвердило значну здатність фібробетону надвисокої продуктивності протистояти вибуховим навантаженням.



Рис. 5. Візерунки тріщин в бетоні плити UHPFC

Армована фібробетонна плита надвисокої продуктивності RUHPFC піддавалася сильному вибуховому навантаженню з масою заряду 20 кг і відстанню 0,37 м. Роздавлення бетону спостерігалося в області утворення шарніру приблизно в центрі прольоту, як показано на рис. 6. Весь процес спостереження за прогином вибуху не був виконаний повністю, оскільки LVDT було зруйновано під час випробування, але максимальний зареєстрований прогин перевищив 100 мм. Корисність високоякісного фібробетону для стійкості до вибухів була додатково підтверджена цим великим навантаженням від вибуху на невеликій відстані протистояння.



Рис. 6. Руїнування фібробетонної армованої плити RUHPFC

В роботі [1] використані односторонні залізобетонні квадратні плити з номінальними розмірами 1200×1200×90 мм. Плити спиралися на дві сталеві балки з відстанню між центрами опор 1048 мм. Різні матеріали та схеми модернізації були досліджені проти вибухових навантажень, що знаходяться поза площиною.

Посилаючись на таблицю 1, чотири односторонні залізобетонні плити були побудовані та зміцнені за різними схемами та двома різними композитними матеріалами, такими як полімери, армовані вуглеволокном (CFRP) і полімери, армовані сталевими волокнами (SRP). За винятком контрольної плити (тобто 1A), дві плити (тобто 2A і 2B) були зміцнені листами CFRP, а дві інші плити (тобто 3A і 3B) були зміцнені листами SRP. Товщина листів CFRP і SRP становила 0,165 мм і 1,32 мм, відповідно. Листи містили лише односпрямовані волокна, які були встановлені по всій поперечній ширині плит і закінчувалися на відстані 152 мм від торців плит.

Таблиця 1

Експериментальна тестова матриця

Постріл №	Плита №	Схема зміцнення	Відстань проти-стояння (мм)	Вага заряду, гексоген (кг)
1	1А	не має	910	0,45
2	1А	не має	300	0,90
3	2А	CFRP (1 сторона)	300	1,35
4	2В	CFRP (2 сторони)	300	1,35
5	3А	SRP (1 сторона)	300	1,35
6	3В	SRP (2 сторони)	300	1,35

У той час, як плити 2А і 3А зміцнювали тільки з боку натягу (нижня сторона), плити 2В і 3В укріплювали з обох сторін. Зміцнення з обох боків було здійснено для оцінки впливу негативних моментів, які можуть розвиватися при динамічних навантаженнях, на вибухонепроникність залізобетонних плит.

Заряд підвішували над зразками, що випробовувалися, на певну відстань за допомогою дроту, який також використовувався як провідний контур для розпалювання заряду.

Усі плити були армовані трьома сталевими прутками діаметром 9,5 мм у кожному напрямку, коефіцієнт армування при цьому становить 0,18%. Цей коефіцієнт підкріплення було обрано, оскільки потужність плит необхідно контролювати в межах максимально можливої ваги зарядів, які можна було б використовувати всередині експериментальної шахти UMR, перш ніж завдати шкоди самій шахті.

Усі п'ять плит були відлиті з бетону з міцністю 27,6 МПа, а межа текучості внутрішньої арматури становила 414 МПа з модулем пружності 200 ГПа. Листи CFRP та SRP продемонстрували пружну поведінку до граничної міцності на розрив, яка становила 3792 МПа та 514 МПа, а модуль пружності становив 228 ГПа та 36 ГПа, відповідно.

Важливо підкреслити, що, оскільки ці випробування проводилися при реальних вибухових навантаженнях [1], під час випробувань не допускалося підключати ні тензодатчики до дослідних зразків, ні прилади для вимірювання переміщення. Це було зроблено, щоб уникнути пошкодження будь-яких приладів, які використовувалися під час тестування. Таким чином, в описі результатів випробувань наводяться лише візуальні перевірки та вимірювання після випробування щодо ширини залишкової тріщини та деформацій плити.

Плита 1А, постріл №1. Уважний огляд показав, що на нижній стороні плити було видно лише незначні тріщини. Це вказує на те, що вага заряду була передбачена з розумним ступенем точності, оскільки

спостережуваний рівень пошкодження добре корелював із прогнозованим рівнем пошкодження.

Плита 1А, постріл №2. Була зафіксована велика тріщина вздовж центру плити з виміряною максимальною шириною 3 мм. Крім того, залишкове зміщення в центрі плити було виміряно на рівні 21 мм, а залишкове зміщення в середній точці вздовж краю було виміряно на рівні 11 мм. Припускаючи, що залишковий зсув змінюється лінійно від центру до країв плити, середнє залишкове зміщення було розраховано на рівні майже 14 мм.

Плита 2А, постріл №3. Збільшення тиску майже на 16% у порівнянні з попереднім пострілом № 2. Хоча застосований тиск не був значним, ця плита була серйозно пошкоджена під цим зарядом вибухової речовини, та жодну залишкову деформацію або ширину тріщини не можна було реально виміряти для цієї плити. Порівнюючи результати з плитами 1В і 2А, незначна зміна тиску призвела до значної зміни рівня пошкоджень.

Плита 2В, постріл №4. В центрі плити не було значних тріщин при вигині, що відповідало прогнозованим рівням пошкоджень для модернізованих плит. Однак, біля опор спостерігалися лише дві великі тріщини зсуву, і майбутні дослідження також мають розглянути зрушення зсуву залізобетонних плит під впливом вибухових навантажень. Ці результати показують, що негативні моменти, які розвиваються в динаміці вибухових навантажень, можуть бути значними, і зміцнення з обох сторін рекомендується для підвищення опору залізобетонних елементів при вибухових навантаженнях, коли ці навантаження близькі до граничних. Крім того, ніяких значних залишкових деформацій або розміри ширини тріщин не змогли виміряти для цієї плити.

Плита 3А, постріл №5. Плита також зазнала значних пошкоджень під дією вибухівки. Цей результат ще раз вказує на те, що плити, модернізовані листами SRP лише з одного боку, також не були достатніми для збільшення вибухонепроникності плит для даного рівня загрози, але спостережувані рівні пошкоджень знаходяться в межах передбачених рівнів пошкодження або кінцевих умов.

Плита 3В, постріл №6. Як і в плиті 2В, біля опор також спостерігалися дві великі тріщини зсуву, і значних тріщин при згині не зафіксовано. Ці результати майже ідентичні тим, що спостерігалися для плити 2В, що вказує на те, що модернізація з використанням композитів SRP була виконана так само, як і плити, модернізованої більш традиційним композитом CFRP. Таким чином, результати випробувань чітко показують, що ця нова економічно ефективна технологія SRP показала великий потенціал для підвищення стійкості бетонних елементів до вибуху.

Висновки і перспективи досліджень. Виконаний аналіз результатів експериментальних досліджень поведінки моделей залізобетонних плит

під дією вибухових речовин різної ваги, з різної відстані від моделі. Випробування показали, що фібробетонна плита UHPFC зазнала менше пошкоджень, ніж традиційні плити. Ефективність армованої фібробетонної плити RUHPFC перевершила всі інші типи плит. Адгезійне склеювання зовнішньої пластини з FRP до стискаючої поверхні залізобетонної плити NRC покращило її стійкість до вибухів, але відсоток покращення не визначений кількісно, оскільки не було можливості перевірити момент початкового руйнування через вихід із ладу приладів від дії вибуху.

Можна зробити висновок, що розглянута досить складна проблема, яка є актуальною і потребує подальшого вивчення.

References

1. Silva, P. F., & Lu, B. (2007). Improving the blast resistance capacity of RC slabs with innovative composite materials. *Composites Part B: Engineering*, 38(5-6), 523–534. doi: 10.1016/j.compositesb.2006.06.015.
2. Silva, P. F., & Lu, B. (2009). Blast Resistance Capacity of Reinforced Concrete Slabs. *Journal of Structural Engineering*, 135(6), 708–716. doi:10.1061/(ASCE)ST.1943-541x.0000011.
3. Draganić, H., Gazić, G., Lukić, S., & Jeleč, M. (2021). Experimental investigation on blast load resistance of reinforced concrete slabs retrofitted with epoxy resin impregnated glass fiber textiles. *Composite Structures*, 274, 114349. doi: 10.1016/j.compstruct.2021.114349.
4. Wu, C., Oehlers, D. J., Rebentrost, M., Leach, J., & Whittaker, A. S. (2009). Blast testing of ultra-high performance fibre and FRP-retrofitted concrete slabs. *Engineering Structures*, 31(9), 2060–2069. doi: 10.1016/j.engstruct.2009.03.020.
5. Orton, S. L., Chiarito, V. P., Minor, J. K., & Coleman, T. G. (2014). Experimental Testing of CFRP-Strengthened Reinforced Concrete Slab Elements Loaded by Close-In Blast. *Journal of Structural Engineering*, 140(2), 04013060. doi:10.1061/(ASCE)ST.1943-541x.0000821.
6. Tanapornraweekit, G., Haritos, N., & Mendis, P. (2011). Behavior of FRP-RC Slabs under Multiple Independent Air Blasts. *Journal of Performance of Constructed Facilities*, 25(5), 433–440. doi:10.1061/(ASCE)CF.1943-5509.0000191.
7. Nam, J., Kim, H., & Kim, G. (2017). Experimental Investigation on the Blast Resistance of Fiber-Reinforced Cementitious Composite Panels Subjected to Contact Explosions. *International Journal of Concrete Structures and Materials*, 11(1), 29–43. doi:10.1007/s40069-016-0179-y.
8. Li, J., Wu, C., Hao, H., Su, Y., & Liu, Z. (2016). Blast resistance of concrete slab reinforced with high performance fibre material. *Journal of Structural Integrity and Maintenance*, 1(2), 51–59. doi:10.1080/24705314.2016.1179496.
9. Wang, W., Zhang, D., Lu, F., Wang, S.-C., & Tang, F. (2012). Experimental study on scaling the explosion resistance of a one-way square reinforced concrete slab under a close-in blast loading. *International Journal of Impact Engineering*, 49, 158–164. doi: 10.1016/j.ijimpeng.2012.03.010.
10. Thiagarajan, G., Kadambi, A. V., Robert, S., & Johnson, C. F. (2015). Experimental and finite element analysis of doubly reinforced concrete slabs subjected to

blast loads. *International Journal of Impact Engineering*, 75, 162–173. doi: 10.1016/j.ijimpeng.2014.07.018.

Список використаних джерел

1. Silva, P. F., & Lu, B. (2007). Improving the blast resistance capacity of RC slabs with innovative composite materials. *Composites Part B: Engineering*, 38(5-6), 523–534. doi: 10.1016/j.compositesb.2006.06.015.
2. Silva, P. F., & Lu, B. (2009). Blast Resistance Capacity of Reinforced Concrete Slabs. *Journal of Structural Engineering*, 135(6), 708–716. doi:10.1061/(ASCE)ST.1943-541x.0000011.
3. Draganić, H., Gazić, G., Lukić, S., & Jeleč, M. (2021). Experimental investigation on blast load resistance of reinforced concrete slabs retrofitted with epoxy resin impregnated glass fiber textiles. *Composite Structures*, 274, 114349. doi: 10.1016/j.compstruct.2021.114349.
4. Wu, C., Oehlers, D. J., Rebentrost, M., Leach, J., & Whittaker, A. S. (2009). Blast testing of ultra-high performance fibre and FRP-retrofitted concrete slabs. *Engineering Structures*, 31(9), 2060–2069. doi: 10.1016/j.engstruct.2009.03.020.
5. Orton, S. L., Chiarito, V. P., Minor, J. K., & Coleman, T. G. (2014). Experimental Testing of CFRP-Strengthened Reinforced Concrete Slab Elements Loaded by Close-In Blast. *Journal of Structural Engineering*, 140(2), 04013060. doi:10.1061/(ASCE)ST.1943-541x.0000821.
6. Tanapornraweekit, G., Haritos, N., & Mendis, P. (2011). Behavior of FRP-RC Slabs under Multiple Independent Air Blasts. *Journal of Performance of Constructed Facilities*, 25(5), 433–440. doi:10.1061/(ASCE)CF.1943-5509.0000191.
7. Nam, J., Kim, H., & Kim, G. (2017). Experimental Investigation on the Blast Resistance of Fiber-Reinforced Cementitious Composite Panels Subjected to Contact Explosions. *International Journal of Concrete Structures and Materials*, 11(1), 29–43. doi:10.1007/s40069-016-0179-y.
8. Li, J., Wu, C., Hao, H., Su, Y., & Liu, Z. (2016). Blast resistance of concrete slab reinforced with high performance fibre material. *Journal of Structural Integrity and Maintenance*, 1(2), 51–59. doi:10.1080/24705314.2016.1179496.
9. Wang, W., Zhang, D., Lu, F., Wang, S.-C., & Tang, F. (2012). Experimental study on scaling the explosion resistance of a one-way square reinforced concrete slab under a close-in blast loading. *International Journal of Impact Engineering*, 49, 158–164. doi: 10.1016/j.ijimpeng.2012.03.010.
10. Thiagarajan, G., Kadambi, A. V., Robert, S., & Johnson, C. F. (2015). Experimental and finite element analysis of doubly reinforced concrete slabs subjected to blast loads. *International Journal of Impact Engineering*, 75, 162–173. doi: 10.1016/j.ijimpeng.2014.07.018.

**ТЕРАПЕВТИЧНІ ЛАНДШАФТИ В СИСТЕМІ ПУБЛІЧНОГО
ПРОСТОРУ ЗАКЛАДІВ ВИЩОЇ ОСВІТИ ЯК ЗАСІБ РОЗКРИТТЯ
ТВОРЧОГО ПОТЕНЦІАЛУ ЗДОБУВАЧІВ**

**THERAPEUTIC LANDSCAPES IN THE SYSTEM OF PUBLIC SPACE
OF HIGHER EDUCATION INSTITUTIONS, AS A MEANS OF
DISCLOSURE OF CREATIVE POTENTIAL**

Мельник Ю.А., к.т.н., доцент, Верешко О.В., ст. викл., Войтюк А.І., здобувач освіти (Луцький національний технічний університет), Мельник О.В. к.т.н., доцент (Волинський національний університет імені Лесі Українки), Гомон С.С., д.т.н., доц. (Національний університет водного господарства та природокористування, Рівне)

Melnyk Yu.A., Ph.D., associate professor, Vereshko O.V., senior lecturer, Voitiuk A. I., student (Lutsk National Technical University, Lutsk), Melnyk O.V. Ph.D., associate professor (Lesya Ukrainka Volyn National University, Lutsk), Gomon S.S., Sc.D., associate professor (National University of Water and Environmental Engineering, Rivne)

У роботі розглянуто поняття терапевтичних садів та проаналізовано їх позитивний вплив на психо-емоційний стан студентів і викладачів. Враховуючи розглянуті аспекти, запропоновано створення "терапевтичного саду" на території навчального закладу, а саме Луцького національного технічного університету, як засобу покращення навчальної діяльності та здоров'я. У роботі також запропоновано концепцію ландшафтно-терапевтичного зонування цієї території.

One of the urgent tasks of modern urban planning is to create a comfortable and healthy space for study and work. Given the modern rhythm of life, students and teachers are in constant psychological and emotional stress. This factor negatively affects the motivation and success of students, reduces the efficiency of teachers. These and other factors formed the basis of the idea of placing therapeutic gardens on the territory of educational institutions.

The concept of therapeutic gardens is considered in the paper and their positive influence on the psycho-emotional state of students and teachers is analyzed. Therapeutic gardens are places where a person can support his body and improve his psycho-emotional state. These gardens are effective in combating stress and help reduce psycho-emotional stress. Color therapy is one of the methods of influencing human health. By using certain colors you can support your body and improve your psycho-emotional state. Color gamut also affects mental processes, their speed and quality.

Taking into account the considered aspects, it is proposed to create a "therapeutic garden" on the territory of the educational institution, namely Lutsk National University, as a means of improving educational activities and health. The paper also proposes the

concept of landscape-therapeutic zoning of this area. The purpose of the implementation of landscape therapy on the territory of the educational institution is to maintain the normal functional and psychological state of human health. Thanks to the negative emotions and experiences are leveled. In this way, we can not only prevent disease, but also promote good health.

Therefore, it is advisable to create a health-improving territory on the territory of the educational institution, which will help maintain physical health, mental condition and stimulate students' learning abilities. In addition, this area will be used for various activities that will diversify the lives of students.

Ключові слова: терапевтичні сади, благоустрій, психічне та фізичне здоров'я, зонування, кольоротерапія.

Keywords: therapeutic gardens, landscaping, mental and physical health, zoning, color therapy.

Вступ. Одним із актуальних завдань сучасного містобудування є створення комфортного та здорового простору для навчання і роботи. Враховуючи сучасний ритм життя, здобувачі освіти та викладачі перебувають у постійному психологічному та емоційному напруженні. Цей фактор негативно впливає на мотивацію та успішність студентів, знижує працездатність викладачів. Ці та інші чинники лягли в основу ідеї розміщення терапевтичних садів на території навчальних закладів.

Терапевтичні сади — це ті місця, де людина може підтримати свій організм і покращити психо-емоційний стан. Ці сади ефективні при боротьбі зі стресом та сприяють зниженню психо-емоційної напруги.

Аналіз досліджень та публікацій. Терапевтичні сади – це облаштовані місця, які мають лікувальний ефект. За даними Американської асоціації садівничої терапії, це «середовище, де переважають рослини, створене для полегшення взаємодії з цілющими елементами природи. Взаємодія може бути пасивною або активною, залежно від дизайну саду та потреб користувачів» [1]. Такі сади існували ще з давніх часів у таких народів, як: єгиптян, кельтів та германських [2]. Купер Маркус писав, що у минулі століття природа, сонце та свіже повітря вважались головними складовими зцілення, прикладами таких територій були: монастирські лазарети, лікарні у стилі павільйонів, притулки і санаторії, а вже з 1950 по 1990 рр. лікувальна здатність природи знецінилась [3,4].

Виклад основного матеріалу

У кожного здобувача освіти дуже активний і напружений спосіб життя, з'являються труднощі та невдачі, які можуть бути причиною фрустрації, стресу та ще багатьох реакцій організму. Психічний стан впливає на досягнення результатів, успішність, якість знань, навичок, умінь студентів і викладачів. Людина може мати високий показник

продуктивності тільки у тому випадку, коли є психічна рівновага та душевний спокій [5].

Враховуючи ці всі аспекти, ми плануємо створити "терапевтичний сад" на території навчального закладу. Адже вважаємо, що це буде сприяти покращенню як навчальної діяльності, так і здоров'я.

Метою та завданням дослідження було проаналізувати доречність створення "терапевтичного саду" на території навчального закладу, а саме Луцького національного університету та запропонувати концепцію зонування цієї території.

У результаті проведених досліджень було розроблено концепцію створення терапевтичного саду на території Луцького НТУ.

За допомогою рослин нам вдасться розділити територію на певні зони, залежно від їх призначення. Рослини, які ми використаємо у своєму проєкті, невибагливі, не потребують особливого догляду та мають різноманітне забарвлення.

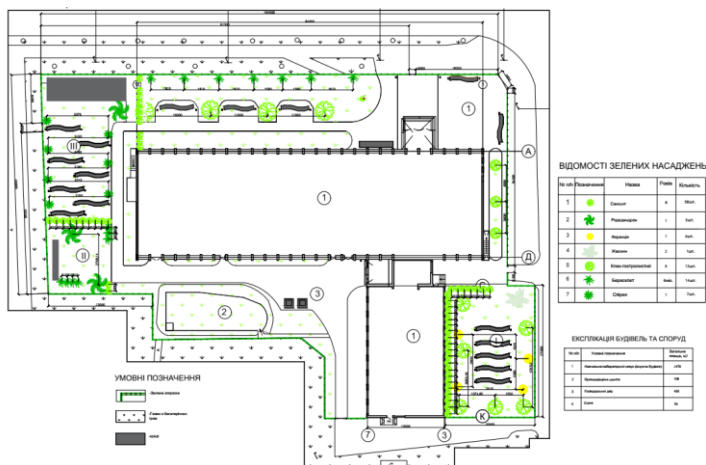


Рис. 1. План озеленення території Луцького національного технічного університету

Ми пропонуємо за допомогою насаджень та елементів благоустрою здійснити поділ території на три зони: для навчання, для ознайомлення, окультурення та натхнення і остання — для проведення різноманітних заходів, лекцій. Спільними елементами благоустрою для всіх зон будуть лавочки та урни. Щодо відмінностей – у кожній зоні будуть застосовані різні види рослин, у зоні ознайомлення та натхнення буде знаходитись бетонна стіна, де будуть вивішуватись роботи здобувачів освіти, або малюватись мурали, або буде вивішуватись якась цікава та важлива

інформація. У цій зоні наші дизайнери зможуть проводити заняття з рисунку. У зоні проведення заходів і навчання буде міні-сцена, де у вільний час зможуть проводитись пари або будуть відбуватись якісь виступи, можливе проведення дебатів, виборів, концертів.



Рис. 2. Візуалізація запропонованих рішень

Доріжки будуть викладеними з бруківки, а освітлення — від ліхтарів, на території кожної із зон будуть використані світильники-кулі.

Зрозумівши, що вплив кольору на наш організм значний і що за допомогою нього можна впливати на фізичний та психічний стан людини, ми вирішили застосувати таку методику.

Досліджувана територія буде в таких кольорах: зелений, блакитний, білий, червоний, рожевий, жовтий та фіолетовий. Так як ці кольори найбільше впливають на розумові здібності.

Зелений буде на всіх зонах — це колір трави, самшиту, декоративного клену, буку, грабу, вишні, яблуні, груші, коли вони не цвітуть.

Блакитний: небо, гортензія,

Білий: черемха, акація, магнолія, спірея, ірга, жасмин, бересклет.

Червоний: шипшина, барбарис, ірга, калина, рододендрон, бересклет.

Рожевий: гліцинія, магнолія, гортензія, рододендрон.

Жовтий: бобівник, спірея, гамамеліс, форцизія, бересклет.

Фіолетовий: гліцинія, рододендрон.

Навівши приклад дії цих кольорів вище, ми можемо стверджувати, що це ті кольори, які необхідні здобувачу освіти, адже червоний стимулює роботу та активність, жовтий збуджує жагу до знань та підвищує розумову діяльність, зелений та блакитний заспокоюють, допомагають зосередитись, знижують тривожність, а фіолетовий допомагає при творчій кризі та сприяє концентрації уваги.

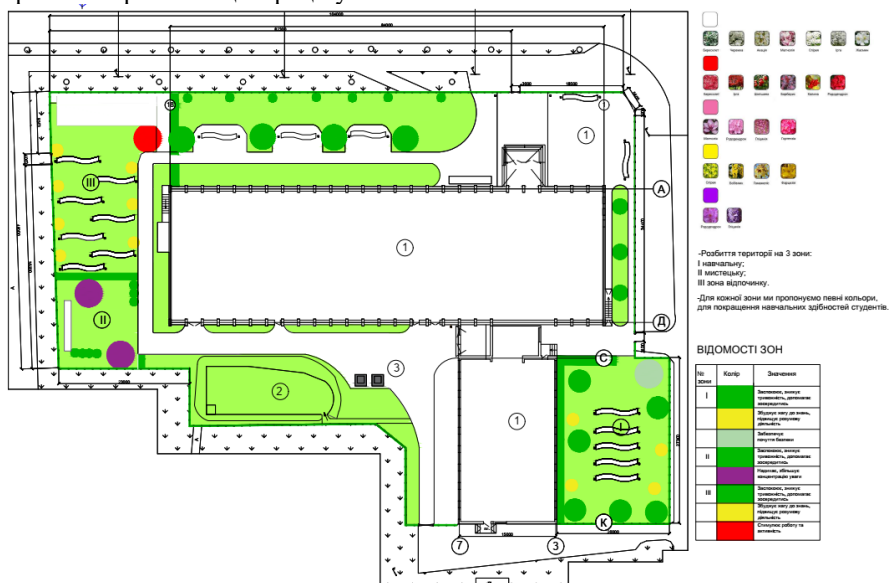


Рис. 3. Ландшафтно-терапевтичне зонування території ЛНТУ

Отже, в першій зоні будуть зелений та жовтий кольори, у другій зелений та фіолетовий, а у третій — зелений, із крапленнями червоного, жовтого та фіолетового. Застосовуючи саме такі кольори, ми зможемо спрямувати активність студентів у потрібному нам напрямі.

Висновки. Отже, проаналізувавши всі аспекти людського життя та фактори, які впливають на нього, ми можемо стверджувати, що необхідно берегти своє здоров'я і менше піддавати його різноманітним ризикам. Ми виявили, що психічний та фізичний стани людини взаємопов'язані і на наше самопочуття впливають такі чинники, як навколишнє середовище, спосіб життя, відносини з суспільством тощо.

Для того, щоб підтримати та покращити позитивний настрій та самопочуття здобувачів освіти та викладачів, ми пропонуємо проект терапевтичного саду на території ЗВО в якості оздоровчого відпочинку та навчання.

References

1. The Benefits of Therapeutic Gardens [Elektronnyi resurs] – Rezhym dostupu do resursu: <https://www.verywellhealth.com/therapeutic-gardens-1094682>.
2. Gerber C. The Benefits of Therapeutic Gardens [Elektronnyi resurs] / Charlotte Gerber. – 2020. – Rezhym dostupu do resursu: <https://www.verywellhealth.com/therapeutic-gardens-1094682>
3. The Benefits of Therapeutic Gardens [Elektronnyi resurs] – Rezhym dostupu do resursu: <https://www.verywellhealth.com/therapeutic-gardens-1094682>.
4. Jewell J. Therapeutic Gardens [Elektronnyi resurs] / Jennifer Jewell – Rezhym dostupu do resursu: <https://www.pacifichorticulture.org/articles/therapeutic-gardens/>.
5. Zahalna psykholohiia: Pidruch. dlia studentiv vyshch. navch. zakladiv/Za zahaln. red. akad. S.D.Maksymenka. – K.: Forum, 2002.

Список використаної літератури

1. The Benefits of Therapeutic Gardens [Електронний ресурс] – Режим доступу до ресурсу: <https://www.verywellhealth.com/therapeutic-gardens-1094682>.
2. Gerber C. The Benefits of Therapeutic Gardens [Електронний ресурс] / Charlotte Gerber. – 2020. – Режим доступу до ресурсу: <https://www.verywellhealth.com/therapeutic-gardens-1094682>
3. The Benefits of Therapeutic Gardens [Електронний ресурс] – Режим доступу до ресурсу: <https://www.verywellhealth.com/therapeutic-gardens-1094682>.
4. Jewell J. Therapeutic Gardens [Електронний ресурс] / Jennifer Jewell – Режим доступу до ресурсу: <https://www.pacifichorticulture.org/articles/therapeutic-gardens/>.
5. Загальна психологія: Підруч. для студентів вищ. навч. закладів/За загальн. ред. akad. С.Д.Максименка. – К.: Форум, 2002.

ДО ПИТАННЯ ЗАЧИСТКИ ДНА БУРОНАБИНИХ ПАЛЬ

ON THE ISSUE OF CLEANING THE BOTTOM OF DRILLING PILLS

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

Mudryj I.B., Ph.D., senior lecturer (National University of Lviv Polytechnic, Lviv)

У статті розглянуто стан якості зачистки забою свердловини від бурового шламму та води в її основі, їх вплив на несучу здатність буронабивної палі. Розглянуто вплив технології буріння на осипання чи опливання ґрунту свердловини у забої свердловини. Виконано аналіз основних технологій зачистки забою свердловини та запропоновано метод його очистки з використанням гідравлічного зачисного ківша.

The main influence of the quality of well bottom cleaning, the presence of drilling mud and water level in its base, on the bearing capacity of the drilling pile is considered. The quality of wellbore cleaning has a decisive effect on the bearing capacity of the bored pile, and the presence of sludge in the heel of the pile significantly distorts the data of static tests of piles, which does not allow to correctly determine its bearing capacity in specific soil conditions.

In the practice of construction, in our market, there are two main methods of well cleaning: using cleaning buckets and the method of ramming. The ramming method has certain limitations due to the dynamic impact on the surrounding structure and the level of water saturation of the well, and the technology using a cleaning drill does not guarantee complete cleaning of the well from drilling mud through the design of cleaning devices.

Studies of the prepared base, depending on the amount of water in the well and the level of soil scarcity have shown that laying concrete through a layer of water at the bottom of the well reduces the bearing capacity of the pile in proportion to the thickness of the water layer. Practical tests of piles show that the actual bearing capacity of the pile is higher than the calculated one and depends on the technology of execution. But such an increase will be relevant for hanging piles, for piles of racks it is necessary to solve the problem of cleaning the bottom of the well from drilling mud and water.

The paper considers the influence of the shortcomings of drilling technology on the shedding or flooding of the well soil with the formation of drilling mud in the bottomhole. The analysis of the main technologies of well bottom cleaning is performed and the method of cleaning five wells using a hydraulic bucket is proposed.

Ключові слова: буронабина паля; технологія буріння свердловини; технологія зачистки основи палі; зачисний пристрій; несуча здатність палі; пристрій для промивки забою свердловини.

Keywords: buronabina pile; well drilling technology; pile base stripping technology; cleaning device; bearing capacity of the pile; device for washing the bottomhole.

Дослідження [1,2,3,4] показують, що якість влаштування буронабинних паль залежить від контролю параметрів:

- способу вкладання бетону;
- кількості води у свердловині;
- якості зачистки забою свердловини.

Причому якість зачистки забою свердловини вирішальним чином впливає на несучу здатність буронабивної палі. За наявності шламу у п'яті палі значною мірою спотворюються дані статичних випробувань паль, що не дозволяє правильно визначити її несучу здатність у конкретних ґрунтових умовах. Буровий шлам, що залишається на дні свердловини, може викликати осідання споруд у подальшому вище гранично допустимих значень. При влаштуванні буронабивних паль забій свердловини повинен бути ретельно очищений від розпушеного ґрунту або, за відсутності води у свердловині, – ущільнений трамбуванням [2, 5].

З існуючих способів зачистки основи свердловини палі можна виділити два основних: з використанням зачисних ківшів та метод трамбування.

При зачистці свердловини зачисним ківшом шар бурового шламу, що залишається на дні свердловини, неможливо повністю витягнути буровим інструментом. Так, при зачистці забою ківшовим буром, розпушений ґрунт частково залишається на дні свердловини, потрапляючи у проміжки між ріжучими зубами ківша. За наявності суцільних ріжучих ножів розпушений ґрунт залишається поза радіусом роботи ківшового бура, оскільки його діаметр зазвичай менший за внутрішній діаметр свердловини. У свердловинах, заповнених водою або глинистим розчином, шар бурового шламу після буріння може збільшуватися через осідання на дно свердловини завислих частинок ґрунту. Така ситуація виникає, якщо між закінченням буріння свердловини та її бетонуванням була велика перерва в часі, а повторне зачищення забою не проводилося [3].

Ущільнення неводонасичених ґрунтів може проводитися шляхом скидання у свердловину трамбівки (при діаметрі 1 м і більше – масою не менше 5 т, при діаметрі свердловини менше 1 м – 3 т), або методом віброштампування, у тому числі з додаванням жорстких матеріалів (щебінь, жорстка бетонна суміш тощо). Трамбування ґрунту необхідно проводити до значення відмови, що не перевищує 2 см за останні п'ять ударів. Зачистку забою від бурового шламу може виконуватися грейфером

або ківшебуром, а у водонасичених піщаних ґрунтах — жолонкою, обладнаною зворотнім клапаном. При цьому особливу увагу слід звертати на недопущення винесення навколишнього ґрунту у свердловину. У разі буріння під водою або бентонітовим (полімерним) розчином допускається застосовувати видалення розпушеного ґрунту шляхом його замулювання та подальшого видалення відкачуванням.

Крім того, розпушений ґрунт у забої свердловини може утворюватися при порушенні технології буріння. Якщо, при проходженні піщаних ґрунтів нижче рівня ґрунтових вод, рівень води у свердловині не підтримується на відповідній позначці, можливе опливання ґрунту зі стінок свердловини або винесення його у свердловину [6, 7].

Метою роботи є розглянути стан нових технологічних рішень, які використовуються для зачистки забою свердловини.

Виклад основного матеріалу. Дослідження підготовленої основи, залежно від кількості води у свердловині та рівня недобору ґрунту [1], показують, що:

- бетонування через 50 мм води на дні свердловини знижує міцність бетону на стиск в середньому на 15%;
- бетонування через 100 мм і 400 мм води на дні свердловини знижує міцність бетону в основі на стиск усереднено на 50% і 80% відповідно;
- бетонування у більш ніж 100 мм води негативно впливає на фактичну щільність бетону, відсоток зайвих порот і співвідношення заповнювача та в'язучого;
- наявність 50 мм сухого ґрунту на дні свердловини унеможливує прямий контакт між бетоном та основою свердловини;
- вологий ґрунт недобору легше витісняється бетоном, але скорочує площу несучої основи по периметру п'яти палі.

Залежно від ґрунту повинно використовуватися різне бурове обладнання (рис. 1), яке має різну ступінь руйнування основи палі та очистки. На практиці вибір наявного обладнання у підрядника, як правило, обмежений. При влаштуванні буронабивних паль буровий грейфер (рис. 1.г) слід застосовувати для розробки піщаних та великоуламкових, а також твердих глин і напівскельних ґрунтів. Розробку скельних ґрунтів слід виконувати буровими долотами (рис. 1.д), які залежно від моделі долота забезпечуються вістрям, зубами або прямими різцями. Шнек (рис. 1.в) застосовується для розробки глинистих ґрунтів, у тому числі твердих порід. Ківшовий бур (ківшебур) (рис. 1.б) призначений для проходки водонасичених пісків або гравелистих ґрунтів, а також, на завершальному етапі, — для зачистки свердловини. В останньому випадку він має плоскі ріжучі кромки.

Практика виконання буронабивних робіт показує, що товщина шламу у забої свердловини може складати до 10 см. При влаштуванні свердловин під буронабивні палі користуються шнековими бурами, у яких елемент, що

руйнує ґрунт, розташований значно нижче від породовидавлюючих лопатей шнеку. Розпушений ґрунт не захоплюється лопатями шнеку, зостається у свердловині та ущільнюється вагою бетону при бетонуванні свердловини. Опресування свердловин, відповідно, тиском 0,2-0,4 МПа на протязі 1-3 хвилин (для буроінскційних паль) покращує становище, але не повертає ґрунт у первісне положення.

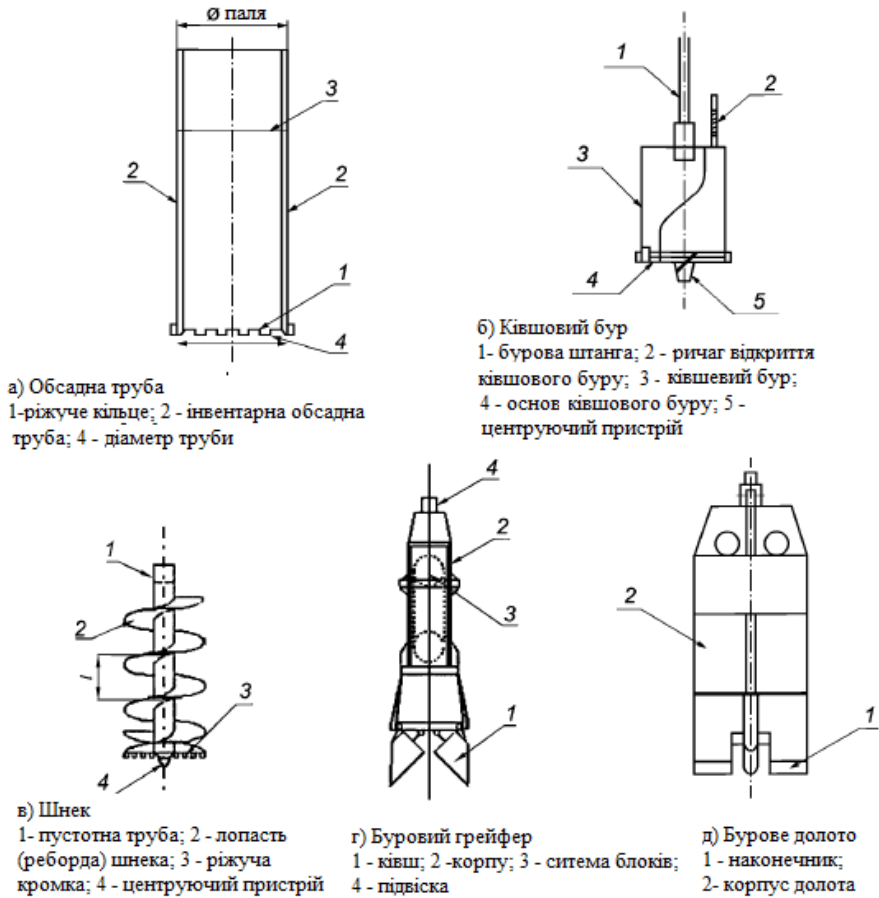


Рис. 1. Обладнання для періодичного буріння

Для буронабивних паль із використанням обсадних труб, щоб уникнути витікання нестійких ґрунтів до свердловини, необхідно занурювати обсадну трубу нижче забою свердловини. При виконанні цих

вимог та завершенні буріння проводять бетонування свердловини з вилученням обсадної труби. При цьому порушується структура ґрунту на глибину додаткового занурення обсадної труби нижче забою свердловини. Складно оцінити можливі осадки від таким чином влаштованої палі та якими методами його можливо підрахувати, але слід зазначити, що фактична несуча здатність паль (зокрема, буроінекційних) є вищою від розрахункової [8] і залежить від технології виготовлення паль. Так, коефіцієнт k -збільшення несучої здатності у порівнянні з розрахунковою, складає [8]:

- за допомогою прохідного шнека $k = 1,4$;
- під захистом обсадних труб $k = 1,5$;
- під захистом глинистого розчину $k = 1,5$;
- типу Titan $k = 2,1$.

Фактичне збільшення несучої здатності палі, у порівнянні з розрахунковою, буде актуальним для паль висячого типу, але для паль-стійок необхідно вирішувати задачу зачистки забою свердловини від бурового шламу та води. При виборі методу зачистки основи палі, крім використання основної технології з використанням зачисного ківша, пропонується розглянути і альтернативний спосіб — пристрій для промивки забою свердловини (рис. 2), що за суттю є гідравлічним ківшем [9].

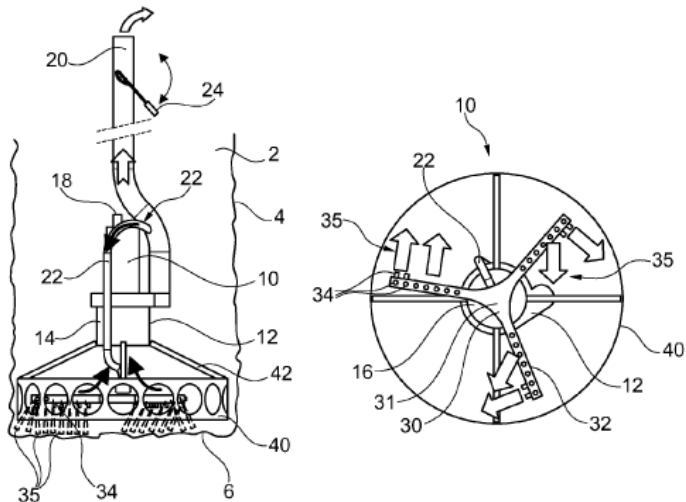


Рис. 2. Пристрій для промивки забою свердловини: 2 – свердловина; 4 – стінки свердловини; 10 – очисний пристрій; 12 – ротор; 14 – насос; 18 – засіб підвіски; 20 – всмоктувальна лінія; 22 – відгалуження всмоктувальної лінії; 24 – регулювальник потоку; 30 – ротор; 31 – центральна втулка; 34 – промивна форсунка; 35 – промивні струмені; 40 – розпірне кільце

Пристрій для очистки дна палі (рис. 2) характеризується тим, що передбачено щонайменше одну промивну насадку, через яку можна створювати промивний струмінь, який вимиває розпушений ґрунтовий матеріал із забою свердловини. Основна ідея полягає в тому, що осаджений ґрунтовий матеріал із забою свердловини відсмоктується або механічно виноситься із забою. Промивний струмінь чи ряд промивних струменів, що створюється очисним пристроєм, змиває відкладений ґрунтовий матеріал із забою свердловини та виносить його вгору. Подрібнений матеріал, розпилений в рідині свердловини (суспензія), може легше всмоктуватися через всмоктувальний отвір очисного пристрою та виводитися зі свердловини. Завдяки такому промиванню дна свердловини можна отримати чисту поверхню на межі між свердловиною і твердим ґрунтом основи.

Висновок. Використання такого типу очисних пристроїв дозволяє вирішити задачі:

- очищення забою свердловини від розпушеного ґрунтового матеріалу;
- видалити зі свердловини воду.

Вирішення двох вище зазначених задач дозволить не знижувати проектний клас бетону в п'яті буронабивної палі та уникнути можливої понаднормативної осадки палі.

Така технологія може мати обмеження у ґрунтах із високим ступенем водонасичення, оскільки можливе випливання ґрунту у свердловину через додаткове його замочування. Можливість використання таких засобів зачистки забою свердловини потребує практичних досліджень в умовах будівництва.

References

1. G C Fanourakis, P W Day, G R H Grieve//The effects of placement conditions on the quality of concrete in large-diameter bored piles/ Vol 54 No 2, October 2012, Pages 86–93, Paper 806
2. <http://stroy-spravka.ru/article/kontrol-kachestva-izgotovleniya-buronavivnykh-svai>.
3. Tekhnicheskyye rekomendatsyy po proektyrovaniyu y ustroystvu svainykh fundamentov, vpolniaemykh s yspolzovaniem razriadno-ympulsnoi tekhnolohyy dlia zdaniy povyshennoi etazhnosti (svay-RYT). TR 50-180-06. — M.: OOO «UYTs «VEK», 2006. — 68 str
4. Agnushev R. A. Modern pile technologies: manual / Ruble. A. Mangushev, A. V. Ershov, A. I. Osokin; M: ASV publishing house; SPb GASU, 2007.—160 p.
5. ДСТУ-Н Б В.2.1-32:2014 Настанова з проектування котлованів для улаштування фундаментів і заглиблених споруд. К.: Украхбудінформ, 2014. 46 с.

6. Kosteryn Э.В. Osnovaniya y fundamenty: ucheb.posobyе. – М.: Vyssh. shk., 1990 – 431 s.
7. Ponomarev A.B., Zakharov A.V., Bezghodov M.A. K voprosu o vliyaniyu faktora vremeny na nesushchuiu sposobnost svai // Sovremennyye geotekhnologyy v stroytelstve y ykh nauchno-tekhnicheskoye soprovozhdenye: materyaly mezhdunar. nauch.-prakt. konf. – SPb., 2014. –Ch.II. – 44–51 s.
8. V. M. Ulytskyi, V. V. Koniushkov: Nesushchaia sposobnost buroinyektsionnykh svai pry razlychnykh tekhnolohiyakh yzgotovleniya // Problema trasportnykh system 207/3
9. <https://patents.google.com/patent/US9512591>

Список використаної літератури

1. G C Fanourakis, P W Day, G R H Grieve//The effects of placement conditions on the quality of concrete in large-diameter bored piles/ Vol 54 No 2, October 2012, Pages 86–93, Paper 806
2. <http://stroy-spravka.ru/article/kontrol-kachestva-izgotovleniya-buronabivnykh-svai>.
3. Технические рекомендации по проектированию и устройству свайных фундаментов, выполняемых с использованием разрядно-импульсной технологии для зданий повышенной этажности (сваи-РИТ). ТР 50-180-06. — М.: ООО «УИЦ «ВЕК», 2006. — 68 стр
4. Мангушев Р. А. Современные свайные технологии: учебное пособие / Р. А. Мангушев, А. В. Ершов, А. И. Осокин; М.: Издательство АСВ; СПб ГАСУ, 2007. –160 с.
5. ДСТУ-Н Б В.2.1-32:2014 Настанова з проектування котлованів для улаштування фундаментів і заглиблених споруд. К.: Украхбудінформ, 2014. 46 с.
6. Костерин Э.В. Основания и фундаменты: учеб.пособие. – М.: Высш. шк., 1990 – 431 с.
7. Пономарев А.Б., Захаров А.В., Безгодов М.А. К вопросу о влиянии фактора времени на несущую способность свай // Современные геотехнологии в строительстве и их научно-техническое сопровождение: материалы междунар. науч.-практ. конф. – СПб., 2014. –Ч.II. – 44–51 с.
8. В. М. Улицкий, В. В. Конюшков: Несущая способность буруинъекционных свай при различных технологиях изготовления // Проблема транспортных систем 207/3
9. <https://patents.google.com/patent/US9512591>.

**РЕСТАВРАЦІЯ ЗОВНІШНЬОГО ВИГЛЯДУ ПІЯРСЬКОГО
КОСТЕЛУ СВЯТОГО ІОАННА ЄВАНГЕЛІСТА В СМТ. ЛЮБЕШІВ
ВОЛИНСЬКОЇ ОБЛАСТІ ЗА ІКОНОГРАФІЧНИМИ ДЖЕРЕЛАМИ
1916 ТА 1969 РОКІВ**

**RESTORATION OF THE APPEARANCE OF THE PRIVATE CHURCH
OF SAINT JOHN THE GOSPEL IN THE TOWN OF LYUBESHIV,
VOLYN REGION ACCORDING TO ICONOGRAPHIC**

**Парфентьєва І.О., к.т.н., доцент, Мартинюк Ю.М., студент
(Луцький національний технічний університет)**

**Parfentieva I.O., Ph.D., Associate Professor, Martyniuk Y.M., student
(Lutsk National Technical University)**

Статтю присвячено підходу у відновленні зовнішнього вигляду об'єкта, який зруйнований вже більше, як 50 років тому та відображений лише в іконографічних джерелах. Автори світлин систематизують дані щодо візуального-художнього наповнення історичного простору, архітектурної витонченості будівлі костелу піарів святого Іоанна Євангеліста у селищі міського типу Любешів. Літографічні джерела надають умовний художньо інтерпретований вигляд простору зі збереженими візуальними домінантами. Уточнення та співставлення з послідовними плануваннями виявило значну розбіжність між іконографічними джерелами.

За внутрішнім оздобленням святиня могла конкурувати з європейськими храмами. Відкриття її відбулося 1786 року. У 1960-х роках радянська влада вирішила знищити унікальний костел.

The article is devoted to the approach to restoring the appearance of the object, which was destroyed more than 50 years ago, and is depicted only in iconographic sources. The authors of the photographs systematize the assessment of the visual and artistic content of the historical space, the architectural sophistication of the building of the Church of the Feasts of St. John the Evangelist in the urban-type settlement of Lyubeshiv. Lithographic sources provide a conditionally artistically interpreted view of the space with preserved visual dominants. Clarifications and comparisons with research plans revealed significant discrepancies between iconographic sources. The interior of the shrine could compete with European temples. It was opened in 1786.

In the 1960s, the Soviet authorities decided to destroy the unique church.

The purpose of this article is to outline the method of working with available lithographic and descriptive sources to model the architectural space of the church of PR in the period from 1916 to 1969. The modeling of the temple by the surrounding city provides information on the scale of the object, the degree of its spatial change and destruction, the location of the object in the space of the modern city of Lyubeshiv.

The Church of St. John the Evangelist is completely destroyed, and its territory is limited by the development of a modern village, it is almost impossible to see the remains of the foundations of the historic building. The recreation area absorbed the remains of the foundation of the temple, where it was once located, under its earth mounds and tree roots. The planning drawings of the site preserve the only building of the previous historical period – the Monastery of Public Relations, which is currently a marker for the localization of historical planning.

Conclusion. Restoring the appearance of the ruined Church of St. John the Evangelist within available and published sources is an attempt to capture the same artistic nuance of the nineteenth century. This visual-spatial reconstruction is based only on iconographic and fragments of descriptive sources, which are also limited resources to restore the holistic appearance of the environment. There is currently no evidence of the decoration of the balcony for the body, stairways, Perhaps in the future the study will be supplemented.

Ключові слова: костел, храм, піарів, Любешів, пам'ятка архітектури.

Keywords: church, temple, feasts, Lyubeshiv, architectural sophistication.

Вступ. Дослідження історичних міст та селищ Північного заходу Волині – необхідна ціль для відновлення цілісності історичного розвитку регіону. Збереження культурного різномаяття та архітектурної спадщини різних епох та їх відображення у просторі сучасних міст – важливий крок у становленні культурної ідентичності. Можливість уточнення та моделювання історичних архітектурних об'єктів, їхня локалізація та деталізація поглиблюють семантичні значення та уявлення міського простору. Для початку роботи над проектним моделюванням споруди, відходячи від описового методу до проектного моделювання, інтеграції споруди у візуальний простір сучасного міста, потрібна велика матеріальна база. Збережено та накопичено достатньо кількість проектних матеріалів, джерел та архітектурно-обмірних креслень, щоб почати процес моделювання споруди.

Метою статті є продемонструвати метод роботи з наявними літографічними, описовими джерелами задля моделювання архітектурного простору костелу піарів у період з 1916 по 1969 років. Моделювання храму оточуючим містом надає інформацію щодо масштабу об'єкту, ступінь її просторової зміни та руйнації, місцезнаходження об'єкта у просторі сучасного міста Любешів.

Спроба моделювання костелу у Любешові за літографічними та описовими джерелами XIX-XX століття. На загальний огляд представлено спробу моделювання простору на території колишнього монастиря піарів у селищі Любешові. Зображення проекту автора Ю. Мартинюка було опубліковано Любешівською селищною радою [5] у монографії 2022 року (рис. 1). Автор спроби тривимірної моделі ставив на

меті відтворення конфігурації храму з прив'язкою до околиць сучасного селища Любешів, також були розроблені деякі фрагменти споруди.



Рис. 1. Тривимірна модель костелу

Костел Святого ІОАННА ЄВАНГЕЛІСТА є повністю знищеною спорудою, територія її обмежена забудовою сучасного селища, майже неможливо оглянути залишки фундаментів історичної будівлі. Зона відпочинку, де знаходився костел, поглинута під насипами землі та коріннями дерев, залишки фундаменту храму непомітні. На планувальних кресленнях ділянки збережена єдина споруда попереднього історичного періоду – Кляштор піарів, який наразі є маркером для локалізації історичних планувань.

Історія спорудження цегляного піярського костелу святого Іоанна Євангеліста в Любешеві повністю завершилась у 1762 році. Будівництво відбувалось щонайменше 17 років. Біля п'яти років потому розписували та оздоблювали його склепіння та внутрішні стіни. (рис.2). А врочисте відкриття храму відбулось аж 1786 року. Особисто контролював будівництво папа Римський. Саме для цього він тримав свого нунція (посла) в Любешеві майже двадцять років.

Новодольський костел (так його називали в давнину) за своїм оформленням не мав собі рівних в усій Речі Посполитій [1]. У храмі звучав малий оркестр, пізніше його змінив двадцятиголосий орган. Досвідчені музики казали, що він майже не поступався «наймилозвучнішому» в Речі Посполитій органу, що у Кракові (Польща).



Рис. 2. Інтер'єр костелу (фото 1920 р.),
автор фресок – Кароль Губель [3]

Костел був знищений у мирний час, хоч і пережив війни та розрухи. У 1968 році відбулася перша спроба знищення костелу, військовими саперами із Володимира-Волинського, після вибуху двох тон амоналу над храмом стояли клуби пилу та диму. Вибухова хвиля вирвала лише деякі шматки, у двометровій стіні навіть не виявилось отвору (рис.2). Та все ж храм постраждав, вибух завдав чималої шкоди: у навколишніх будівлях пошкодив вікна та дахи, на фабриці господарських виробів повилітали вікна, з'явилися тріщини в стінах. Але храм вистояв. Ніби сам Всевишній дарував людям час задуматися, захистити святиню. Та, на жаль, цього не трапилося.



Рис. 3. Чи не останнє фото перед руйнуванням

Черга другої спроби надійшла наступного року. Досі встановити не вдалося, хто завершив диявольський задум і зруйнував костел. Свідки запевняли, що прибули із Сарн спеціалісти-підривники, інші – що це шахтарі з Нововолинська. Андрій Грицюк, колишній заступник начальника Любешівського райвідділу внутрішніх справ УРСР це підтверджував. Він та інші працівники міліції, створювали по команді районного начальства живий коридор, щоб не допускати людей у небезпечну зону підривання. Достовірно відомо, що підривникам знадобилось два тижні, щоб пробити отвори по всьому периметру храму, діаметром десять сантиметрів, з допомогою відбійного молотка, компресора, ручного інструменту, щоб закласти в них вибухівку. І 17 липня 1969 року, у четвер, храм зруйнували, від нього залишилась купа каміння (рис.4).

Мешканці розповідали, що пролунав вибух, храм ніби підняло, утворилася велика кількість пилу й диму. Після чого святиня опустилася на своє місце руїнами, лише деякі кути будівлі встояли... Пізніше цеглу люди розібрали для будівництва будинків, а щебінь – для мощення вулиць та доріг [4].

Подальша робота над реставрацією зовнішнього вигляду костелу. Наявна велика кількість опублікованих іконографічних джерел періоду після 1916 року, коли у Любешів приїжджав польський фотограф. Завдяки йому було зафіксовано велику кількість елементів архітектури на світлинах [2]. За фрагментарними фото інтер'єру та екстер'єру, вже після часткової руйнації споруди, неможливо надати детальних інженерних рішень щодо вигляду та планування. У подальшому будуть використані матеріали храмів, які в той самий період також були перебудовані або

укріплені радянською владою. Важливим також є співставлення з існуючими зображеннями, для систематизації художніх засобів архітектури. Окремим завданням буде моделювання вигляду сакральних та скульптурних об'єктів.



Рис. 4. Момент руйнування

Висновок. Відновлення зовнішнього вигляду зруйнованого Костелу Святого Іоанна Євангеліста в межах доступних та опублікованих джерел є спробою показати та відтворити той самий художній, архітектурний задум XVIII століття, що у селищі Любешові. Дана візуально-просторова реконструкція посилається тільки на іконографічні та фрагменти описових джерел, які також є обмеженими ресурсами для відновлення цілісного вигляду костелу. Відсутні свідчення щодо оздоблення балкону для органу, сходових маршів. Можливо, в подальшому дослідження буде доповнене.

References

1. Dzherelo foto: <http://www.wbc.poznan.pl>. Tetiana Yatsechko-Blazhenko.
2. Petro Kravchuk, pochesnyi hromadianyn Liubesheva, kraieznavecs. <https://www.volynpost.com/news/119755-kostel-u-lyubeshovi-na-foto-1920-h-rokiv>
3. Internet resurs <https://lyubeshiv.rayon.in.ua/news/380173-pro-hudozhnika-iaakii-rozpisuvav-kostol-u-liubeshivi-pisala-polska-gazeta-hih-stolittia>
4. Internet resurs <https://lyubeshiv.rayon.in.ua/topics/385038-liubeshiv-taemnitzi-zruinovanogo-hramu>
5. Liubeshivska selyshchna rada <https://lubeshivska-gromada.gov.ua/>

Список використаної літератури

1. Джерело фото: <http://www.wbc.poznan.pl>. Тетяна Яцечко-Блаженко.
2. Петро Кравчук, почесний громадянин Любешева, краєзнавець <https://www.volynpost.com/news/119755-kostel-u-lyubeshovi-na-foto-1920-h-rokiv>
3. Інтернет ресурс <https://lyubeshiv.rayon.in.ua/news/380173-pro-hudozhnika-iaakii-rozpisuvav-kostol-u-liubeshivi-pisala-polska-gazeta-hih-stolittia>
4. Інтернет ресурс <https://lyubeshiv.rayon.in.ua/topics/385038-liubeshiv-taemnitzi-zruinovanogo-hramu>
5. Любешівська селищна рада <https://lubeshivska-gromada.gov.ua/>

**РОЗРАХУНОК ІСНУЮЧОЇ КОНСТРУКЦІЇ ЗАЛІЗОБЕТОННОГО
КАРКАСУ СПОРТИВНОЇ ЗАЛИ ВОЛИНСЬКОЇ ОБЛАСНОЇ
ОРГАНІЗАЦІЇ ФСТ «ДИНАМО» З МЕТОЮ ПЕРЕВІРКИ
МОЖЛИВОСТІ ВЛАШТУВАННЯ ВИШКИ БАЗОВОЇ СТАНЦІЇ
МОБІЛЬНОГО ЗВ'ЯЗКУ**

**CALCULATION OF THE EXISTING STRUCTURE OF THE
REINFORCED CONCRETE FRAME OF THE SPORTS HALL OF THE
VOLYN REGIONAL ORGANIZATION PSS "DYNAMO" FOR THE
INSTALLATION OF THE MAST OF THE BASE STATION OF
MOBILE COMMUNICATION**

**Пасічник Р.В., к.т.н., доц., Ротко С.В. к.т.н., доц., Герасим Д.В.,
студент БЦІ (Луцький національний технічний університет)**

**Pasichnyk R.V., Ph.D. in Engineering., Rotko S.V., Ph.D. in
Engineering, Herasym D.V., student of BCI (Lutsk National Technical
University)**

Спираючись на результати технічного обстеження та оцінки стану залізобетонних рам каркасу та конструкції покрівлі, збірних залізобетонних пустотних плит покриття спортивної зали Волинської обласної організації ФСТ «Динамо», по вул. Данила Галицького, 33, у м. Луцьку Волинської обл. виконано дослідження можливості навантаження існуючої конструкції додатковими зусиллями від щогли базової станції мобільного зв'язку. Розроблено розрахункову схему конструкції, яка складається з існуючого каркасу будівлі та щогли базової станції ПрАТ «Київстар», що передбачена на покрівлі.

Research and Construction Laboratory at the Department of Civil Engineering and Civil Engineering of Lutsk National Technical University conducted a technical inspection of the gym of the Volyn regional organization FST "Dynamo", on the street. Danyla Halyskoho 33, in the city of Lutsk, Volyn region. As a result of technical inspection and assessment of the condition of reinforced concrete frame frames and roof construction, prefabricated reinforced concrete hollow core slabs, a conclusion was made on compliance with technical requirements for the category of technical condition "I". We performed a static calculation to test the possibility of loading the existing building structure with additional load from the mast of the mobile base station. A design scheme has been developed, which consists of the existing frame of the building and the tower of the base station of PJSC Kyivstar, which is located on the roof. Static calculation of the reinforced concrete structure of the frame frame was performed in the software package "Lira-CAD". The calculation was performed from the constant, variable (snow) load of the existing building, and from the constant load (from a mast weighing 2.0 tons and a height of $H = 15.0$ m), variable (wind) load. A feature of the

design scheme is the presence of beam elements at the same time, in which there are bending moments, transverse forces, longitudinal forces, and extensions that work only on longitudinal tension. As a result of the action of wind load, the vertical structure of the mast, in addition to its own weight of the structure, additionally, through extensions, receives a vertical load, which is transmitted to the foundation of the mast and hence to the frame.

The obtained results show that the internal stresses that occur in the cross sections of the frame do not exceed the stresses provided by the reliability factor.

The load-bearing capacity of the frame is sufficient, even with additional load from the mast, provided that the design decisions are anticipated and followed in terms of fixing and compensating for dynamic wind loads.

Ключові слова: залізобетон, рама, арматура, напруження.

Keywords: reinforced concrete, frame, steel reinforcement, tension.

Науково-дослідна будівельна лабораторія при кафедрі будівництва та цивільної інженерії Луцького національного технічного університету виконала обстеження несучих конструкцій спортивного комплексу Волинської обласної організації ФСТ «Динамо», що по вул. Данила Галицького у м. Луцьку.



Рис. 1. Вимірювання захисного шару бетону приладом ІЗС-10Н



Рис. 2. Визначення фізико-механічних характеристик бетону неруйнівним методом (склерометром Шмідта АТ241/Е клас N, виробництва «Technotest» S.a.s, Італія)

Результати виконаних інженерних обстежень, досліджень і розрахунків залізобетонних конструкцій: рами каркасу січенням 1500×450, прольотом 20 м (ряди А-Б, вісь 2); плит покриття марок ПК 60.16, розмірами 6000×1600×220; ПК 60.12, розмірами 6000×1200×220; рулонної покрівлі (ряди А-Б, осі 1-4), що перебувають в експлуатації понад 30 років та знаходяться в нормальному стані, відсутні тріщини, сколи, виколи, вибоїни, оголення та корозія арматури, висоли, відшарування захисного шару бетону, клас (марка) бетону С20/25, В25, М350 відповідає технічним вимогам для конструкцій будівництва аналогічних об'єктів.

Висновки з аналізу результатів виконаних робіт із технічного обстеження, випробування, дослідження і розрахунків:

1) Збірні залізобетонні пустотні плити покриття марок ПК 60.16; ПК 60.12 (ряди А-Б, осі 1-4) – відсутні дефекти та пошкодження, що можуть знизити тримку здатність та довговічність, стан конструкцій плит покриття нормальний – категорія технічного стану «1».

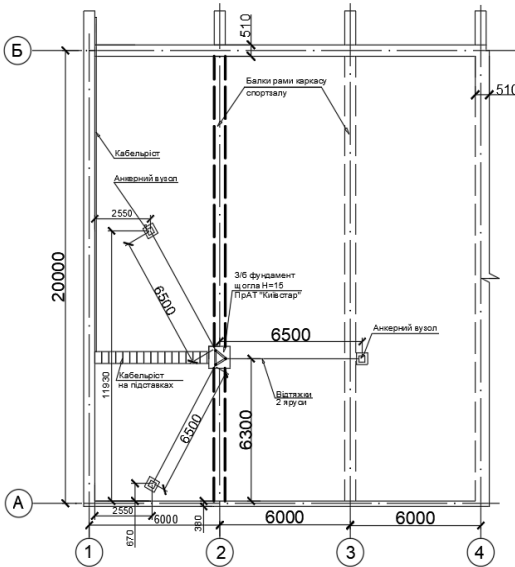


Рис. 3. Фрагмент плану покрівлі

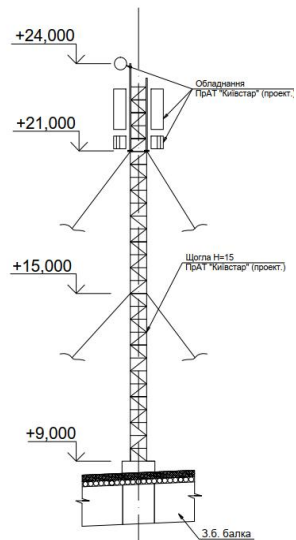


Рис. 4. Щогла ПрАТ «Київстар»

2) Залізобетонні рами каркасу спортивної зали (ряди А-Б, осі 2,3,4) – відсутні дефекти та пошкодження, що можуть знизити тримку здатність та довговічність, стан конструкцій залізобетонних рам каркасу нормальний – категорія технічного стану «1».

3) Рулонна покрівля спортивної зали – відсутні дефекти та пошкодження, що можуть знизити тримку здатність та довговічність стан конструкції покрівлі нормальний – категорія технічного стану «І».

На предмет дозволу монтажу щогли ПрАТ «Київстар», ми виконали статичний розрахунок конструкції залізобетонної рами за допомогою програмного комплексу «ЛІРА-САПР». У якості навантаження використано існуюче навантаження на раму та навантаження від щогли.

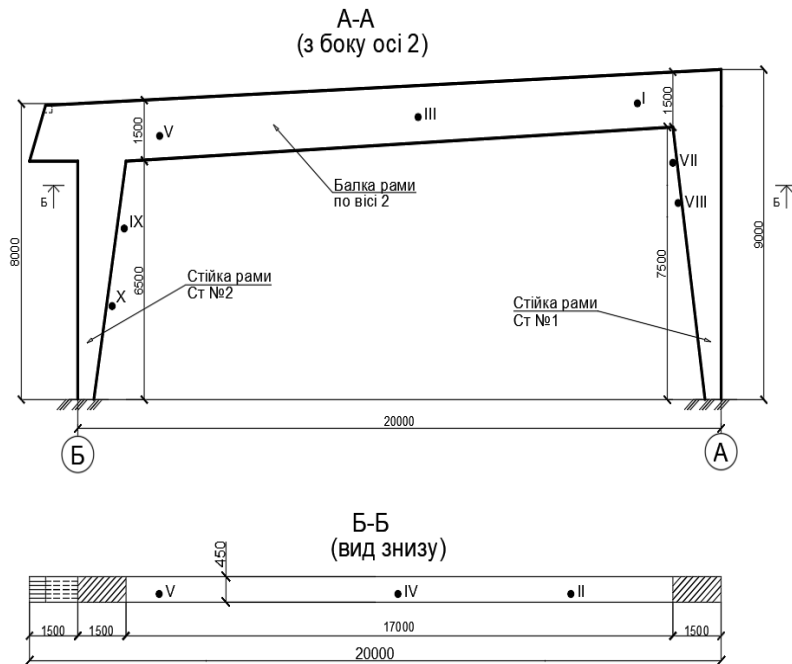


Рис. 5 Рама спортивної зали

Таблиця 1

Жорсткості елементів

1	Брус 45 X 150	$R_o=2.5, E=3.31e+006, G_F=0$
		$B=45, H=150$
2	Канат 2.5	$q=2.88762e-005$
		$EF=56.2883, EI_y=5.63e-005$
		$EI_z=5.63e-005, G_{Ik}=0$
3	Три труби	$q=0.0119806$
		$EF=32072.5, EI_y=1.36e+003$
		$EI_z=1.36e+003, G_{Ik}=59.8$
		$Y1=14.6, Y2=14.6, Z1=22.9, Z2=12.9, RU \ Y=0, RU \ Z=0$

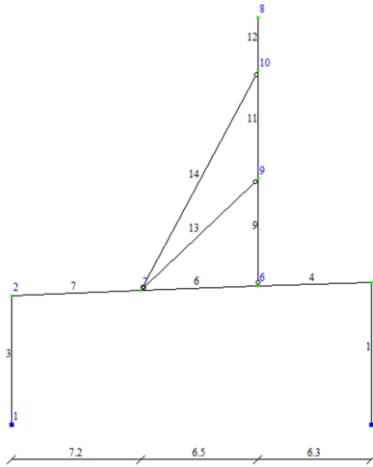


Рис. 6. Розрахункова схема конструкції

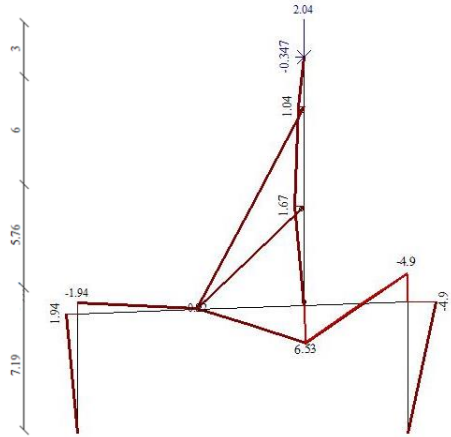


Рис. 7. Епюра згинальних моментів

Таблиця 2

Максимальні зусилля в перерізах елементів

№ елем	№ січен	Зусилля			Тип елем
		N (Т)	M _y (Т*М)	Q _z (Т)	
1	2	- 1.791	- 4.899	- 0.616	10
3	2	- 0.249	1.938	0.269	10
4	1	- 0.548	- 4.899	1.813	10
4	5	- 0.548	6.530	1.813	10
6	1	- 0.935	6.530	- 1.038	10
7	5	- 0.279	- 1.938	- 0.238	10
9	2	- 2.863	1.674	0.279	10
11	1	- 2.494	1.674	- 0.106	10
12	1	- 2.039	1.040	- 0.347	10
13	1	0.533	0.000	0.000	10
14	1	0.514	0.000	0.000	10

Статичний розрахунок залізобетонної конструкції рами каркасу по осі 2 у рядах А-Б, який виконаний програмним комплексом «ЛІРА-САПР» на дію постійного, змінного (снігового) навантаження на конструкції існуючої будівлі, а також на дію постійного навантаження від щогли (вагою 2,0 т та висотою $H=15,0$ м), змінного (вітрового) навантаження показує, що внутрішні зусилля, які виникають у рамі від ваги щогли та дії вітру, не перевищують напружень, передбачених коефіцієнтом надійності $\gamma_{fm}=1,1$ [1].

Несуча здатність залізобетонної рами каркасу по осі 2 у рядах А-Б достатня для встановлення щогли, за умови передбачення проектних рішень щодо закріплення (анкерування до жорсткого залізобетонного диску покриття) і компенсації динамічних навантажень від вітру.

Конструкції залізобетонної рами каркасу спортивної зали ФСТ «Динамо», що по вул. Данила Галицького, у м. Луцьку, придатні під влаштування фундаменту та щогли базової станції ПрАТ «Київстар» на залізобетонній рамі каркасу по осі 2 у рядах А-Б та придатні для продовження їх експлуатації.

Особливістю розрахункової схеми є наявність одночасно балкових елементів, що працюють і на згин, і на розтяг-стиск, і на зріз, та розтяжок (на схемі елементи номер 13 та 14), що працюють лише на поздовжній розтяг N . У результаті дії вітрового навантаження вертикальна конструкція щогли, окрім власної ваги конструкції, додатково, через розтяжки, отримує вертикальне навантаження, яке передається на фундамент щогли, а отже, і на раму.

Внутрішні зусилля, визначені за допомогою програмного комплексу «ЛІРА-САПР», що виникають у рамі від ваги щогли та вітру, не перевищують допустимих напружень, передбачених відповідним коефіцієнтом надійності, що складає: у прольоті: $6,53/1500,3 \times 100 = 0,43\%$; у вузлах: $4,9/1626,2 \times 100 = 0,30\%$, що менше ($n=1.1$) допустимого в [1].

Несуча здатність рами достатня, навіть при додатковому навантаженні від щогли, за умови передбачення та дотримання проектних рішень щодо закріплення і компенсації динамічних вітрових навантажень.

References

1. DBN V.2.6-98:2009 Betonni ta zalizobetonni konstruktsii. Osnovni polozhennia.
2. Rekonstruktsiia ta pidsylennia budivel i sporud Z. Ya. Blikharskyi. Lviv, 2008. Vydavnytstvo Natsionalnoho universytetu «Lvivska politekhnikha»

Список використаної літератури

1. ДБН В.2.6-98:2009 Бетонні та залізобетонні конструкції. Основні положення.
2. Реконструкція та підсилення будівель і споруд. З. Я. Бліхарський. Львів, 2008. Видавництво Національного університету «Львівська політехніка»

**ВПЛИВ НЕХАРАКТЕРНИХ НАВАНТАЖЕНЬ НА КОНСТРУКЦІЇ
БУДІВЕЛЬ**

**INFLUENCE OF UNCHARACTERISTIC LOADS ON BUILDING
CONSTRUCTIONS**

**Пахолук О.А., к.т.н., доц., Самчук В.П., к.т.н., доц., Чапук О.С.,
к.т.н., доц. (Луцький національний технічний університет)**

**Pakholiuk O.A., Ph.D. in Engineering, Associate Professor, Samchuk
V.P., Ph.D. in Engineering, Associate Professor, Chapiuk O.S., Ph.D. in
Engineering, Associate Professor (Lutsk National Technical University)**

*Проаналізовано руйнування житлового фонду та цивільних об'єктів в
Україні від впливу активних військових дій.*

*With the start of a full-scale war with Russia, Ukraine has faced the cynical
destruction of civilian facilities: housing estates, hospitals, schools and kindergartens.
They were and continue to be targeted by tanks, artillery, multiple rocket launchers (such
as "Hail", "Tornado", etc.), strategic missiles and aircraft. As a result of such actions,
the buildings received a number of destructions from light shrapnel to complete
destruction. As a result of such actions, the buildings received a number of destructions
from light shrapnel to complete destruction.*

*Approximately one month after the start of the war, after the liberation of part of
Ukraine, a sufficient amount of photographic and video materials was accumulated,
which made it possible to analyze the work of buildings and their structures under the
influence of uncharacteristic loads. A significant number of specialized domestic
specialists joined this work. Thus, the portal okna.ua conducted a detailed analysis of the
destruction of translucent structures and gave recommendations on measures to reduce
damage from debris.*

*We analyzed the damage of insulated and uninsulated external enclosing
structures, identified patterns of their behavior depending on the quality of work
performed and compliance with technology during installation.*

*According to the results of the analysis, we can state the different quality of
insulation work performed and the different behavior of the insulation under the action
of the blast wave. Interestingly, the magnitude and nature of the damage depends not
only on the quality of work, but also on the insulation material.*

*Facades insulated with basalt wool can damage the decorative finishing layer.
Under strong influences, the cotton insulation was destroyed, partially peeled off or
completely torn off. Even with completely torn boards, glue and pieces of cotton wool
remain on the wall, which continues to protect and strengthen the structure. The walls
were not destroyed or burned. Quite a different situation is observed with the insulation
of buildings with expanded polystyrene. And it is present in new buildings and in
reconstructed ones. In none of the available photos did we see the correct mounting of*

the insulation boards. This applies to the application of a layer of glue, and the provision of mechanical fastening dowels. As a result of such errors, the facade is completely or significantly exposed, which may also be accompanied by burning.

Ключові слова: руйнування конструкцій, утеплювач, якість утеплення, кріплення плит утеплювача, технологія утеплення

Keywords: destruction of structures, insulation, quality of insulation, fastening of insulation boards, insulation technology

З початком повномасштабної війни з росією Україна зіткнулась з цинічним руйнуванням цивільних об'єктів: житлові квартали, лікарні, школи та дитячі садочки. По них відбувались і продовжують відбуватись цілеспрямовані удари танками, ствольною артилерією, реактивними системами залпового вогню (типу «Град», «Смерч» та ін.), стратегічними ракетами та авіацією. У результаті таких дій будівлі отримали низку руйнувань, від легких осколкових до повного знищення.



Рис. 1. Руйнування населених пунктів

Орієнтовно через місяць після початку війни після звільнення частини території України накопичилась достатня кількість фото- та відеоматеріалів, яка дала можливість аналізу роботи будівель та їх конструкцій під впливом нехарактерних для них навантажень. До цієї роботи долучилась значна кількість профільних вітчизняних спеціалістів.

Так, портал **okna.ua** провів детальний аналіз руйнування світлопрозорих конструкцій [1] та дав рекомендації по заходах, спрямованих на зменшення шкоди від уламків. Також у матеріалі було

наголошено на рекомендаціях ДСНС про дії населення при обстрілах та в умовах надзвичайних ситуацій воєнного характеру. Матеріали викладені з прямими посиланнями на ці рекомендації.

Крім того, будівельна спільнота почала об'єднуватись у формування для вирішення питань обстеження ушкоджених будівель, забезпечення житлом тимчасово переміщених осіб, відбудови міст та інших нагальних. Яскравим прикладом такого об'єднання є спільнота «UA Ренесанс» [2].



UA.РЕНЕСАНС
МІСТОБУДІВНА ПЛАТФОРМА

Рис. 2. Емблема спільноти

Нами було проаналізовано ушкодження утеплених та неутеплених зовнішніх огорожувальних конструкцій, виявлено закономірності їх поведінки залежно від якості виконаних робіт та дотримання технології під час влаштування.

За результатами аналізу можемо констатувати різну якість виконуваних робіт з утеплення та різну поведінку утеплювача при дії вибухової хвилі. Цікаво, що величина та характер ушкоджень залежить не лише від якості робіт, а й від матеріалу утеплювача.



Рис. 3. Будівля, утеплена базальтовою ватою



Рис. 4. Будівля, утеплена базальтовою ватою

На рис. 3 та 4 ми бачимо практично вцілілі фасади, утеплені базальтовою ватою, з незначними ушкодженнями декоративного оздоблювального шару. На рис. 4 видно рівномірно розташовані дюбелі фіксування утеплювача з достатньою кількістю точок кріплення. При цьому світлопрозорі конструкції в обох випадках зазнали значних ушкоджень.



Рис. 5. Будівля пологового будинку, утеплена базальтовою ватою

На рис. 5 та 6 ми бачимо значно більші сліди руйнувань конструкцій, ніж на рис. 3 та 4. Ватний утеплювач зазнав руйнування, частково відшарувався або був відірваний повністю. Однак, при цьому чітко видно

кріплення плит утеплювача із суцільним нанесенням клейової суміші. Навіть при повністю обірваних плитах на стіні залишається клей та частини вати, що продовжує захищати та підсилювати конструкцію. Стіни не зазнали руйнувань та не обгоріли.



Рис. 6. Будівля пологового будинку, утеплена базальтовою ватою



Рис. 7. Будівля, утеплена базальтовою ватою

У той же час видно (рис. 7), що навіть при прямому попаданні боеприпасу із великою руйнівною силою, базальтова вата, виступаючи буферним шаром, зберігає конструкції від значніших руйнувань. Такі властивості вати підкріплюються правильно виконаними роботами із влаштування шару утеплювача. Однак, навіть при деяких помилках при влаштуванні (рис. 8) створюється непоганий частковий захист конструкцій.



Рис. 8. Будівля, утеплена базальтовою ватою з помилками

На рис. 8 бачимо, що мінераловатні плити закріплені з порушенням технології (наклеювання на маяки, недостатня кількість дюбелів). У цій ситуації відбулось відлущування утеплювального шару та оголення конструкції навіть при незначному характері руйнувань.



Рис. 9. Будівля, утеплена базальтовою ватою з помилками

На рис. 9 теж бачимо грубі порушення технології кріплення плит. Оскільки утеплювач був закріпленний на маяки, то вибухова хвиля від верхнього поверху пройшла у порожнини між стіною та ватою та відірвала значний пласт. Зовнішній міцний гідроізоляційно-декоративний шар потягнув утеплювач донизу і лише два фактори врятували фасад від повного оголення. По-перше, вибух розповсюджувався лише з верхнього поверху, по-друге – лише дюбелі втримали масив від повного відлущування.



Рис. 10. Оголення фасаду при утепленні пінополістиролом з помилками



Рис. 11. Помилки при утепленні пінополістиролом

Зовсім інша ситуація спостерігається при утепленні будівель пінополістиролом. Причому вона присутня і в нових будівлях, і в реконструйованих. На жодному з доступних фото ми не побачили

правильного кріплення плит утеплювача. Це стосується і нанесення шару клею, і забезпечення механічного кріплення дюбелями. В результаті таких помилок повністю або значною мірою оголюється фасад, що також може супроводжуватись його обгоранням.



Рис. 12. Оголення фасаду при утепленні пінополістиролом з помилками

За результатами аналізу матеріалів можемо зробити наступні висновки:

1. Застосування утеплювача скріплює фасадну частину будинку.
2. Утеплювач виступає демпферним шаром при зовнішніх ударних впливах.
3. Базальтова вата захищає фасад краще, ніж пінополістирол.
4. Недотримання технології виконання робіт з утеплення призвело до відшарування всього шару утеплювача і оголення фасадів.

References

1. Як знизити небезпеку від вікон через вибухи. URL: <https://okna.ua/ua/library/yak-znyzyty-nebezpeku-vid-vikon-cherez-1> (date of application: 10.05.2022).
2. Telegram-канал UA Renesans URL: https://t.me/UA_Renaissance (date of application: 10.05.2022).

Список використаної літератури

1. Як знизити небезпеку від вікон через вибухи. URL: <https://okna.ua/ua/library/yak-znyzyty-nebezpeku-vid-vikon-cherez-1> (дата звернення: 10.05.2022).
2. Телеграм-канал UA Ренесанс URL: https://t.me/UA_Renaissance (дата звернення: 10.05.2022).

МОДИФІКАЦІЯ БІТУМУ ВТОРИННИМ ПОЛІМЕРОМ

MODIFICATION OF BITUM BY RECLAIMED POLYMER

Пиріг Я.І., к.т.н., с.н.с., Галкін А.В., к.т.н., Оксак С.В., к.т.н, доц., Бугасвський С.О., д.т.н., проф. (Харківський національний автомобільно-дорожній університет, м. Харків)

Pyrig Y.I., Ph.D. in Engineering, S. Researcher, Galkin A.V., Ph.D. in Engineering, Oksak S.V., Ph.D. in Engineering, Assoc. Prof., Buhaievskiy S., Dr. Tech. Sciences, Professor (Kharkov National Automobile and Highway University, Kharkov)

У статті розглянуто вплив вторинного поліетилену та його комбінації з полімером стирол-бутадієн-стирол на властивості в'язкого нафтового дорожнього бітуму. Встановлені особливості впливу цих полімерів на властивості модифікованих в'язжучих.

Asphalt concrete is the most commonly used material for road pavements of various types. Since the quality of asphalt concrete is largely determined by the quality of bituminous binders, one of the main ways to improve the quality and durability of asphalt pavements is a targeted modification of bituminous binders. Nowadays, the most common modifiers of pavement bitumen are polymers, the use of which allows to structure binders and significantly expand their plasticity intervals, as well as, in the case of styrene-butadiene-styrene to give the bitumen elasticity. Along with the advantages of using polymers, they also have disadvantages, the most significant of which is an increasing in the cost of paving. To avoid this, the use of reclaimed polymers as modifiers of pavement bitumen has recently become increasingly common. The aim of this work is to study the effect of reclaimed polyethylene and its combination with styrene-butadiene-styrene on the properties of bitumen. To achieve this goal, a comparison of the properties of bitumen modified with reclaimed polyethylene, styrene-butadiene-styrene and a complex of these polymers is made. All mentioned modifiers were mixed with bitumen in the amount of 3%. The modification of bitumen by polymers was provided by mixing in a laboratory mixer equipped with a colloid mill for 1 h at a temperature of 180... 185 °C. For the obtained bituminous binders, standard quality indicators have been determined in accordance with DSTU 9116. According to the obtained data, SBS and polyethylene polymers have different effects on the properties of the original bitumen. An increase in the modified bitumen concentration of the SBS polymer leads to a gradual increase in the softening point temperature, an increase in elasticity, a decrease in the temperature sensitivity of the binder determined by the equivalence temperature and decrease in the binder storage stability. The polyethylene polymer acts as a filler and reduces penetration at 25 °C, reduces ductility at 25 °C and reduces elasticity. The modification by SBS, reclaimed polyethylene and their combinations into bitumen does not affect the breaking point temperature of the binder,

but leads to a significant reduction in adhesion. Due to the lower density of reclaimed polyethylene than bitumen, during the storage of the modified binder, its separation is observed. Based on the obtained experimental data, it is proved that reclaimed polyethylene can be used as a component of a complex polymer modifier to improve the properties of pavement bitumen (increased softening point temperature and reduced penetration), but due to the tendency to separation such binder should not be stored without forced mixing.

Ключові слова: в'язкий бітум, вторинний полімер, поліетилен, стирол-бутадієн-стирол, пенетрація, температура розм'якшеності, еластичність, зчеплюваність.

Keywords: viscous bitumen, reclaimed polymer, polyethylene, styrene-butadiene-styrene, penetration, softening point, elastic recovery, adhesion.

Вступ. В Україні за останні десятиліття спостерігається суттєве збільшення кількості автомобілів. Згідно з [1], у 2021 р. парк легкових автівок та вантажівок в країні досяг кількості 10,5 млн. штук. При цьому інтенсивність зростання кількості автомобілів як в світі, так і в Україні постійно збільшується (у 2010 р. кількість автомобілів у світі перевищила межу в 1 млрд, а межа в 2 млрд. автомобілів буде досягнута вже в 2035 р.) [2]. Для створення комфортного та безпечного руху такої кількості автомобілів в країні повинно бути забезпечено якісне дорожнє покриття.

Асфальтобетон є матеріалом, що найбільш широко використовується для влаштування покриттів автомобільних доріг різних категорій. Згідно з діючими вітчизняними нормативними документами, термін експлуатації асфальтобетонних покриттів до капітального ремонту повинен становити не менше 9 – 12 років, але за рахунок стрімкого підвищення інтенсивності автомобільного руху та збільшення навантажень на покриття від вантажівок, що в свою чергу призводить до збільшення пластичних деформацій та дефектів на дорогах, реальні терміни експлуатації дорожніх покриттів є значно меншими. Оскільки якість асфальтобетону в значній мірі визначається якістю бітумних в'язучих, одним з основних шляхів покращення властивостей та довговічності асфальтобетонних покриттів є направлена модифікація бітумних в'язучих.

Останнім часом найбільш поширеними модифікаторами в'язких дорожніх бітумів є полімери, використання яких дозволяє структурувати в'язучі (підвищити модуль пружності асфальтобетону) та значно розширити їх інтервали пластичності (збільшити температурний діапазон експлуатації покриттів), а також, у випадку використання стирол-бутадієн-стиролу (СБС), надати бітуму такої специфічної властивості, як еластичність (збільшити опір дорожнього покриття динамічним навантаженням) [3, 4]. Поряд із суттєвими перевагами використання полімерів вони мають й недоліки, з яких найбільш вагомим є істотне

зростання вартості влаштування дорожнього покриття. Для запобігання цьому в якості модифікаторів нафтових бітумів в останній час все більшого поширення набуває використання вторинних полімерів.

Аналіз публікацій. Історія модифікації бітумів різними добавками бере початок з кінця 19 століття, коли в промисловому масштабі було розпочато застосування асфальтобетону при влаштуванні дорожніх покриттів. Потреба в модифікуванні в'язучих була викликана необхідністю застосування обмеженої номенклатури марок дорожніх бітумів на ділянках доріг із різною вантажонапруженістю та розташованих у різних кліматичних зонах [5]. З 30-х – 40-х років минулого століття в якості модифікаторів бітумів почали використовуватися створені на той час синтетичні полімери (поліакрилонітрил, полістирол, полівінілхлорид, бутадієн-стирольний каучук, поліетилен (ПЕ), неопреновий каучук) [6, 7], а 60-і – 70-і роки ознаменувалися початком використання в дорожній галузі різних країн світу полімерів, розроблених виключно для модифікації дорожніх бітумів (блоксополімери стиrolу та бутадієну – СБР та СБС) [8]. На даний час ринок полімерних модифікаторів представлений широкою номенклатурою речовин, серед яких окремою групою виділяються вторинні полімери. Актуальність застосування цієї групи полімерів зумовлена їх низькою вартістю, що в свою чергу дозволяє знизити собівартість приготування асфальтобетонних сумішей та паралельно цьому – можливість вирішення проблеми їх утилізації [8, 9].

Одним із поширених представників вторинних полімерів є поліетилен (на його частку приходиться 29,4% від загального обсягу виготовлення полімерів у країнах Європи [9]). За рахунок того, що температура розплавлення поліетилену не перевищує технологічних температур приготування асфальтобетонних сумішей (140 – 150°C) він може бути відносно легко суміщеним з бітумом. Згідно з [9], поліетилен може вводиться в бітум в кількості 1 – 10% (зазвичай 3 – 5%), а час суміщення, залежно від швидкості перемішування (120 – 7200 об/хв.), становить від 4 год. до 3 хв.

За даними, наведеними в [10, 11], поліетилен хімічно не взаємодіє з бітумом, а розчиняється в ньому, утворюючи дисперсію в масляному середовищі бітуму (виходячи з цього, на якість модифікації значно впливає склад бітуму, зокрема, вміст масел). При цьому відбувається структурування в'язучого – знижується пенетрація, підвищується температура розм'якшеності та розширюється інтервал пластичності. При зниженні температури бітуму, модифікованого поліетиленом, останній кристалізується у в'язучому, утворюючи нову фазу. Згідно з [10, 12], при концентрації в бітумі менше 5% поліетилен відіграє роль дрібнозернистого наповнювача, при концентраціях від 5% до 10% в бітумі починається утворення кристалізаційно-коагуляційної структури, а при концентрації більше 10% в бітумі утворюється структурний каркас високої щільності.

Згідно даних, наведених Руденською І.М. [12], оптимальними умовами виготовлення бітуму, модифікованого поліетиленом, є: концентрація полімеру 1,5 ... 3,0%, температура змішування – 130 ... 150°C, час змішування – 1,5 год.

Останнім часом значна увага приділяється розробці комплексних полімерних модифікаторів, до складу яких входять різноманітні полімери. У випадку застосування вторинного поліетилену, однією з причин цього є те, що поліетилен у складі в'язучого утворює певну структуру [13], що призводить до неможливості істотно збільшити еластичність бітумного в'язучого. В цьому випадку доцільним є використання в складі комплексного модифікатора полімеру СБС, який забезпечить достатній рівень еластичності модифікованого бітуму.

Мета і задача дослідження. Метою виконаної роботи було дослідження впливу вторинного поліетилену та його комбінації зі стирол-бутадієн-стиролом на властивості бітуму. Для досягнення поставленої мети виконано порівняння властивостей бітумів, модифікованих вторинним поліетиленом, стирол-бутадієн-стиролом та комплексом цих полімерів.

Методи та об'єкти дослідження. Для проведення дослідження було прийнято вихідний бітум БНД 70/100 виробництва Мозирського нафтопереробного заводу, властивості якого відповідали вимогам ДСТУ 4044 [14]. В якості модифікаторів використовувалися: СБС KRATON D-1101, вторинний поліетилен високого тиску (ПЕ), та промислово виготовлені комплексні полімери «50/50» та «40/60», що складались відповідно з 50% полімеру ПЕ і 50% полімеру СБС у першому випадку та 40% поліетилену і 60% СБС у другому випадку. Зовнішній вигляд полімерів (тверді гранули від білого до світло-коричневого кольору розміром 3 ... 5 мм) наведено на рис. 1.

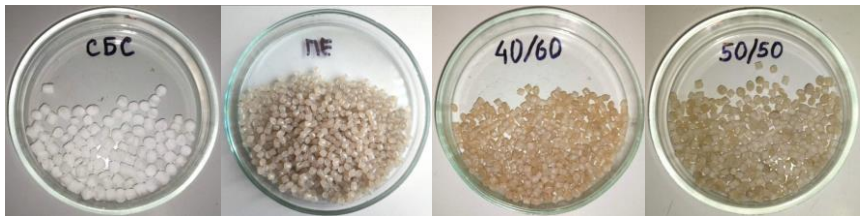


Рис. 1. Зовнішній вигляд полімерів

Приготування бітумів, модифікованих прийнятими в роботі полімерами, здійснювалось згідно з технологічними операціями, наведеними в ДСТУ 9117 [15]. Всі прийняті полімери вводились в бітум в найбільш вживаній на виробництві кількості – 3% (при використанні добавки «50/50» вміст поліетилену та СБС в бітумі становив 1,5%, при

використанні добавки «40/60» вміст поліетилену в бітумі становив 1,2%, а СБС – 1,8%). Температура в'яжучих під час приготування складала 180 ... 185°C. Перемішування полімерів з бітумом виконувалось за допомогою лабораторного змішувача, обладнаного колоїдним млином. Час перемішування приймався, виходячи з умови досягнення в'яжучим однорідності, та становив 1 годину. Для всіх виготовлених модифікованих в'яжучих визначались стандартні показники якості згідно вимог ДСТУ 9116 [16].

Результати дослідження. Стандартні показники якості бітумів, модифікованих прийнятими полімерами, наведені в табл. 1.

Таблиця 1

Властивості бітумних в'яжучих

Перелік показників якості	Значення для				
	БНД 70/100	БНД 70/100 + 3 % полімеру			
		СБС	ПЕ	«50/50»	«40/60»
Однорідність	-	Візуально однорідне			
Пенетрація за 25 °С, 0,1 мм	78	61	50	59	61
Температура розм'якшеності, °С	48,2	62,2	58,8	56,7	58,7
Еквіпенетраційна температура (Т ₈₀₀), °С	45,0	55,5	53,5	52,5	53
Розтяжність за 25 °С, см	78,1	41,3	12,3	16,4	20,5
Еластичність за 25 °С, %	14,3	80,8	19,9	22,7	42,7
Температура крижкості, °С	-18,5	-19,5	-19,0	-19,5	-18,5
Зчеплюваність з поверхнею скла, %	22,6	11,8	14,3	12,1	12,5
Індекс пенетрації, визначений за Т ₈₀₀	-1,51	0,59	-0,37	-0,20	0,01
Розшарування при зберіганні:					
різниця температур розм'якшеності, °С	-	37,1	>34,0	>34,3	32
різниця пенетрації за 25 °С, 0,1 мм	-	25	30	32	20
різниця еластичності за 25 °С, %	-	52,4	37,0	35,7	35,4

У відповідності з отриманими даними, полімери СБС та ПЕ надають різний вплив на властивості вихідного бітуму. При збільшенні у бітумному в'яжучому концентрації полімеру СБС відбувається:

- поступове зростання температури розм'якшеності – на 8,5°C при 1,5% СБС (у випадку використання добавки «50/50»), на 10,5°C – при 1,8% СБС (у випадку добавки «40/60») та на 14,0°C – при 3% СБС;
- підвищення еластичності – з 14,3% у бітумі до 22,7% – у в'яжучому з 1,5% СБС (добавка «50/50»), до 42,7% – при 1,8% СБС (добавка «40/60») та до 80,8% – при 3% СБС;
- зменшення температурної чутливості в'яжучого, визначеного за

температурою, що відповідає пенетрації $800 \times 0,1$ мм (T_{800}) (табл. 1, рис. 2) – з мінус 1,51 у вихідного бітуму до мінус 0,20 у бітуму з 1,5% СБС (добавка «50/50»), до 0,01 у бітумі з 1,8% СБС (добавка «40/60») та до 0,59 у бітумі з 3,0% полімеру СБС.

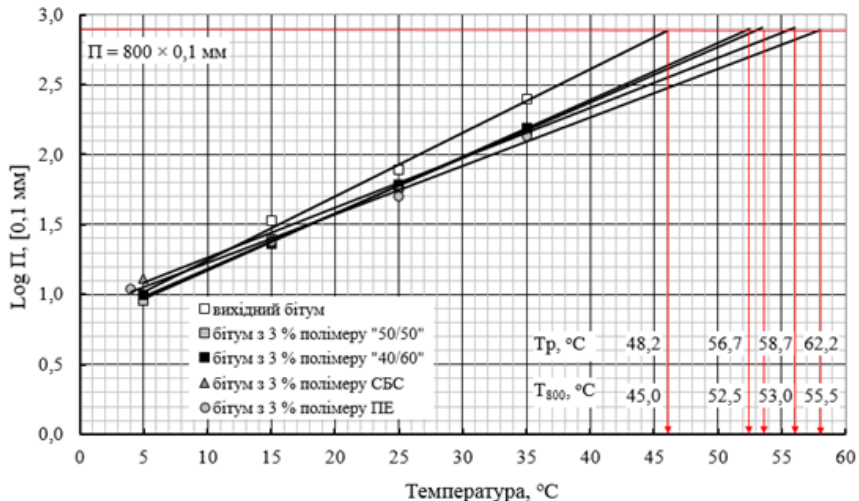


Рис. 2. Вплив полімерів на температурну чутливість в'язучого

В той же час полімер ПЕ відіграє роль наповнювача та призводить до:

- зменшення пенетрації за температури $25^\circ C$ – з $78 \times 0,1$ мм у вихідного бітуму до $61 \times 0,1$ мм у бітумі з 1,2% ПЕ (добавка «40/60»), до $59 \times 0,1$ мм у бітумі з добавкою «50/50» (1,5% ПЕ у бітумі) та до $50 \times 0,1$ мм у бітумі з 3,0% ПЕ в бітумі;

- зменшення значень розтяжності, визначеної за температури $25^\circ C$ до 20,5 см при використанні добавки «40/60» (1,2% ПЕ у бітумі), до 16,4 см при використанні добавки «50/50» (1,5% ПЕ у бітумі) та до 12,3 см при використанні полімеру ПЕ (3,0% ПЕ у бітумі);

- зменшення еластичності в'язучого за температури $25^\circ C$ – до 42,7% при 1,2% ПЕ у бітумі (добавка «40/60»), до 22,7% при 1,5% ПЕ (добавка «50/50») та до 19,9% при 3,0% полімеру ПЕ.

Всі використані в дослідженні полімери не впливають на температуру крижкості модифікованих бітумних в'язучих, що підтверджується майже незмінністю цього показника (від мінус $18,5^\circ C$ до мінус $19,5^\circ C$), залишаючись подібним до вихідного бітуму (мінус $18,5^\circ C$).

Модифікування вихідного бітуму прийнятими в роботі полімерними добавками призводить до погіршення адгезійних властивостей в'язучих, незалежно від вмісту того чи іншого полімеру, що підтверджується

зниженням майже вдвічі, відносно вихідного бітуму, значень зчеплюваності в'яжучих із поверхнею скла, яка визначалась згідно з ДСТУ 9169 [17]. Забезпечення мінімально нормованих в ДСТУ 9116 [16] значень зчеплюваності бітумних в'яжучих можливе лише за рахунок додаткового введення в модифіковане в'яжуче адгезійних добавок.

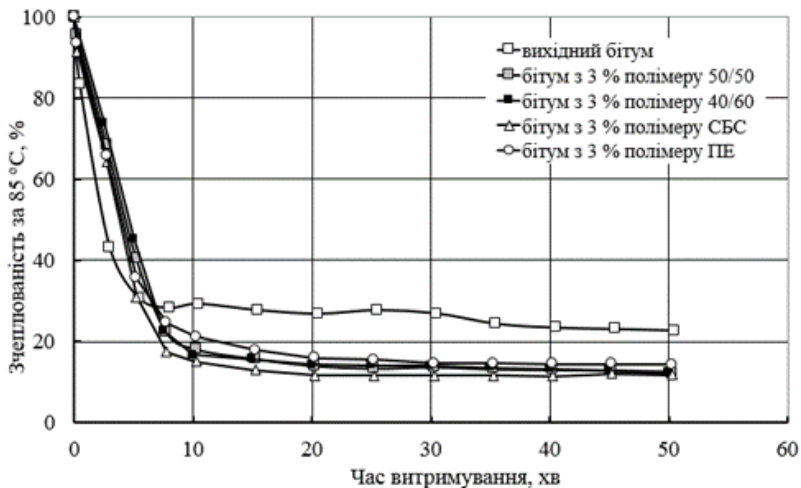


Рис. 3. Залежність зчеплюваності в'яжучих від часу випробування

Одним із важливих показників якості бітумів, модифікованих полімерами, є стабільність при зберіганні за високої температури. Особливо цей показник є важливим у випадку використання вторинного поліетилену, оскільки його щільність, залежно від типу та молекулярної маси полімеру, становить $0,91 \dots 0,97 \text{ г/см}^3$, що є значно нижчим, ніж щільність нафтового бітуму ($\sim 1,00 \text{ г/см}^3$). Відповідно, це може призводити до розшарування бітумного в'яжучого.

На основі результатів експериментальної перевірки стабільності в'яжучих підтверджена схильність бітумів, модифікованих прийнятими полімерами, до розшарування під час зберігання (для бітумів, модифікованих добавкою «50/50» та вторинним поліетиленом на поверхні в'яжучого візуально спостерігались згустки полімеру). Отримані з використанням прийнятих полімерних добавок модифіковані в'яжучі недоцільно зберігати на заводі в ємностях без постійного примусового перемішування. Ці в'яжучі доцільно використовувати безпосередньо після приготування.

Висновки. На основі отриманих експериментальних даних встановлено, що вторинний поліетилен може використовуватися в якості

складової комплексного полімерного модифікатора для покращення властивостей дорожніх бітумів (підвищення температури розм'якшеності та зниження пенетрації). За рахунок більш низької щільності поліетилену модифіковане бітумне в'язуче є схильним до розшарування, тому зберігання такого в'язучого без примусового перемішування є недоцільним.

References

1. V Kyeve uroven avtomobylyzatsyy prevysyl 400 avto na 1000 zhytelei. Kohda budet kak v Evrope? URL: <http://autoconsulting.ua/article.php?sid=48496> (data zvernennia: 02.05.2022).
2. Sousanis J. World Vehicle Population Tops 1 Billion Units. URL: <https://www.wardsauto.com/news-analysis/world-vehicle-population-tops-1-billion-units> (data zvernennia: 02.05.2022).
3. Zolotarev V.A. Bytumi, modyfytsirovannye polymeramy y asfaltopolymerbetoni. *Dorozhnaia tekhnika*. 2009. С. 16-23.
4. Modyfytsirovannye bytumnye viazhushchye, spetsyalnye bytumu y bytumu s dobavkamy v dorozhnom stroitelstve. Pod obshchei red. V.A. Zolotareva, V.Y. Bratchuna. Kharkov: Yzd-vo KhNADU, 2003. 229 s.
5. Isacson U., Lu X. Testing and appraisal of polymer modified road bitumens – state of the art. *Materials and Structures*. 1995. № 28(3), P. 139-159.
6. Haldyna, V.D. (2009). Modyfytsirovannye bytumu: uchebnoe posobyе. Omsk: SybADY, 228.
7. Yildirim Y. Polymer modified asphalt binders. *Construction and Building Materials*, 2007. № 21(1), P. 66-72.
8. Brasileiro L., Moreno-Navarro F., Tauste-Martínez R., Matos J., Rubio-Gámez M.D.C. Reclaimed polymers as asphalt binder modifiers for more sustainable roads: A review. *Sustainability*, 2019. № 11(3), P. 646-686.
9. Rozental D.A., Bereznykov, A.V., Kudriavtseva, Y.N. Bytumu. Polucheniye y sposoby modyfykatsyy. L.: LTY. 1979. 80 s.
10. Rozental D.A. Povysheniye kachestva stroytelnykh bytumov. M.: TsNYYЭNeftekhym. 1976. 74 s.
11. Dat L.Ch.M., Protsenko M.Iu. Nyzkomolekuliarnyi polyetylen y eho vlyianiye na svoystva dorozhnogo neftianoho bytuma. Yzvestiya vuzov. Ynvestytsyy. Stroitelstvo. Nedvyzhymost, 2018. № 8 (3(26)). S. 105-111.
12. Rudenskaia Y.M., Rudenskiy A.V. Orhanycheskiye viazhushchye dlia dorozhnogo stroitelstva. M.: Transport, 1984. 229 s.
13. Samsonov M.V. Modyfykatsiya svoystv dorozhnykh viazhushchykh materiyalov polymeramy. dys. ... kand. tekhn. nauk. 2015. 130 s.
14. DSTU 4044:2019. Bitumu naftovi dorozhni v'yazki. Texnichni umovy. [Chynnyj vid 2020-05-01]. Vyd. ofits. Kyiv: Derzhstandart Ukrainy, 2019. 15 s.
15. DSTU 9117:2021. Bitum ta bitumni viazhuchi. Nastanova shchodo vyrobnytstva ta zastosuvannia dorozhnykh bitumiv, modyfikovanykh polimeramy. [Chynnyi vid 2022-01-03]. Vyd. ofits. Kyiv: UkrNDNTs, 2021. 14 s.
16. DSTU 9116:2021. Bitum ta bitumni viazhuchi. Bitumu dorozhni, modyfikovani polimeramy. Tekhnichni umovy. [Chynnyi vid 2022-01-03]. Vyd. ofits. Kyiv: UkrNDNTs, 2021. 15 s.

17. DSTU 9169:2021. Bitum ta bitumni viazhuchi. Vyznachennia zchepliuvanosti z mineralnym materialom. [Chynnyi vid 2022-01-08]. Vyd. ofits. Kyiv: UkrNDNTs, 2021. 12 s.

Список використаної літератури

1. В Киеве уровень автомобилизации превысил 400 авто на 1000 жителей. Когда будет как в Европе? URL: <http://autoconsulting.ua/article.php?sid=48496> (дата звернення: 02.05.2022).

2. Sousanis J. World Vehicle Population Tops 1 Billion Units. URL: <https://www.wardsauto.com/news-analysis/world-vehicle-population-tops-1-billion-units> (дата звернення: 02.05.2022).

3. Золотарев В.А. Битумы, модифицированные полимерами и асфальтополимербетоны. Дорожная техника. 2009. С. 16-23.

4. Модифицированные битумные вяжущие, специальные битумы и битумы с добавками в дорожном строительстве. Под общей ред. В.А. Золотарева, В.И. Братчуна. Харьков: Изд-во ХНАДУ, 2003. 229 с.

5. Isacson U., Lu X. Testing and appraisal of polymer modified road bitumens – state of the art. Materials and Structures. 1995. № 28(3), P. 139-159.

6. Галдина, В.Д. (2009). Модифицированные битумы: учебное пособие. Омск: СибАДИ, 228.

7. Yildirim Y. Polymer modified asphalt binders. Construction and Building Materials, 2007. № 21(1), P. 66-72.

8. Brasileiro L., Moreno-Navarro F., Tauste-Martínez R., Matos J., Rubio-Gámez M.D.C. Reclaimed polymers as asphalt binder modifiers for more sustainable roads: A review. Sustainability, 2019. № 11(3), P. 646-686.

9. Розенталь Д.А., Березников, А.В., Кудрявцева, И.Н. Битумы. Получение и способы модификации. Л.: ЛТИ. 1979. 80 с.

10. Розенталь Д.А. Повышение качества строительных битумов. М.: ЦНИИНефтехим. 1976. 74 с.

11. Дат Л.Ч.М., Проценко М.Ю. Низкомолекулярный полиэтилен и его влияние на свойства дорожного нефтяного битума. Известия вузов. Инвестиции. Строительство. Недвижимость, 2018. № 8(3 (26)). С. 105-111.

12. Руденская И.М., Руденский А.В. Органические вяжущие для дорожного строительства. М.: Транспорт, 1984. 229 с.

13. Самсонов М.В. Модификация свойств дорожных вяжущих материалов полимерами. дис. ... канд. техн. наук. 2015. 130 с.

14. ДСТУ 4044:2019. Бітуми нафтові дорожні в'язкі. Технічні умови. [Чинний від 2020-05-01]. Вид. офіц. Київ: Держстандарт України, 2019. 15 с.

15. ДСТУ 9117:2021. Бітум та бітумні в'язучі. Наставова щодо виробництва та застосування дорожніх бітумів, модифікованих полімерами. [Чинний від 2022-01-03]. Вид. офіц. Київ: УкрНДНЦ, 2021. 14 с.

16. ДСТУ 9116:2021. Бітум та бітумні в'язучі. Бітуми дорожні, модифіковані полімерами. Технічні умови. [Чинний від 2022-01-03]. Вид. офіц. Київ: УкрНДНЦ, 2021. 15 с.

17. ДСТУ 9169:2021. Бітум та бітумні в'язучі. Визначення зчеплюваності з мінеральним матеріалом. [Чинний від 2022-01-08]. Вид. офіц. Київ: УкрНДНЦ, 2021. 12 с.

**ТЕХНІЧНЕ ОБСТЕЖЕННЯ КОНСТРУКЦІЙ ТЕХПІДПІЛЛЯ
АДМІНБУДІВЛІ У М. ЛУЦЬКУ**

**TECHNICAL INSPECTION OF TECHNICAL UNDERGROUND
FLOOR ELEMENTS OF ADMINISTRATIVE BUILDING IN LUTSK**

Ротко С.В., к.т.н., доц., Ужегова О.А., к.т.н., доц., Пасічник Р.В., к.т.н., доц., Гонтар В.О., студент (Луцький національний технічний університет, Луцьк)

Rotko S.V., Ph.D. in Engineering, Associate Professor, Uzhehova O.A., Ph.D. in Engineering, Pasichnyk R.V., Ph.D. in Engineering, Associate Professor, Gontar V.O, student (Lutsk National Technical University, Lutsk)

Наведено результати технічного обстеження конструкцій техпідпілля адміністративної будівлі у м. Луцьку науково-дослідною будівельною лабораторією Луцького національного технічного університету. Виконано перевірку несучої здатності залізобетонної колони, яку було використано в якості ригеля перекриття.

The technical inspection results for the administrative building's technical underground elements in city of Lutsk by the science-research construction laboratory of Lutsk National Technical University are given. The building type is a skeleton frame. In the structural scheme, metal I-beams and channel beams were used as the technical underground floor joists.

The survey found that building elements were in operation for a prolonged period of time (up to thirty years) in absence of proper ventilation, excessive moisture due to damaged utility lines and flooding of the technical underground floor. This led to corrosion of metal elements, corrosion of reinforcing steel in precast reinforced concrete elements with insufficient concrete cover, uneven subsidence of the concrete floor.

During the metal floor beams' inspection, ultrasonic test of load-bearing capacity reduction for load-bearing elements due to corrosion losses was performed using an ultrasonic flaw detector. 6 samples were studied. The test results indicated that the steel beams have a general uniform surface corrosion, but the thickness of the beams' walls and shelves meets the requirements of DSTU 8807: 2018.

For further safe operation of the building it is recommended: to arrange for ventilation of the technical underground floor, update the utility lines with changes and additions to the project; restore corrosion protection of metal beams; perform plastering of reinforced concrete floor slabs where concrete cover is cracked and reinforcing steel is exposed; perform restoration of the technical underground concrete floor with arrangement of slopes, an emergency drainage pit, add necessary changes and additions to the project.

Precast reinforced concrete column series 1.020-1 / 83 which was installed instead of a metal beam, located in grid lines 29-31/G, was designed as a bending

element. Calculation of the beams' load-bearing capacity showed that the strength per normal cross-sections on the applied loads was provided.

Ключові слова: технічне обстеження, техпідпілля, балки перекриття, ультразвуковий контроль, корозія, несуча здатність

Key words: technical inspection, technical underground floor, floor beams, ultrasonic control, corrosion, bearing capacity

Постановка проблеми. Безпечна експлуатація будівлі чи споруди залежить від правильного проведення технічного оцінювання її стану. Найчастіше руйнування не відбуваються одночасно та миттєво – для цього потрібен тривалий вплив певних факторів. Проте це може статися у результаті стихійного лиха, вибуху чи пожежі. Планове технічне обстеження виконують для того, щоб дати оцінку поточного стану будівель і конструкцій, встановити можливість подальшої безаварійної експлуатації або необхідність відновлення їх експлуатаційних властивостей [1, 2].

Важливо проаналізувати низку факторів, які можуть суттєво впливати на надійність будівлі: умови її експлуатації, стан основ і фундаментів, інженерних мереж, конструктивних елементів. Важливо відповідально обстежити усі несучі конструкції на предмет виявлення дефектів і пошкоджень, які можуть призвести до аварійної ситуації, а також до повного або часткового руйнування об'єктів, виконати відповідні розрахунки, надати комплексні рекомендації щодо необхідного ремонту для відновлення міцнісних та експлуатаційних характеристик обстежуваних конструкцій, що істотно збільшить термін експлуатації будівлі [2].

Аналіз останніх досліджень. Працездатність конструкцій в умовах експлуатації може суттєво відрізнятись від передбаченої при проектуванні. Умови експлуатації можуть змінюватись залежно від низки факторів: агресивності середовища у приміщеннях, наявності шкідливих стоків, зміни стану основ і фундаментів тощо. Стан конструкції може змінюватись також під впливом часу внаслідок старіння [3].

Рівень придатності технічного стану окремих конструкцій та об'єкта в цілому для надійного та безпечного використання за призначенням визначають через ступінь відповідності несучої здатності (або інших експлуатаційних характеристик) нормативним або проектним вимогам [1].

Мета роботи – визначення технічного стану конструкцій техпідпілля за результатами виконаного обстеження, перевірка несучої здатності залізобетонної конструкції перекриття.

Виклад основного матеріалу. Науково-дослідною будівельною лабораторією Луцького національного технічного університету виконано технічне обстеження конструктивних елементів техпідпілля адміністративної будівлі у м. Луцьку за адресою: Київський майдан, 4.

Будівля каркасна, у конструктивній схемі (рис. 1) в якості ригелів перекриття техпідпілля були використані:

- ✓ металеві балки з двотавра $2 \text{ I №}27\text{Ca}$, які розміщені в осях 29-31, 31-33, 33-35, ряд Е;
- ✓ металеві балки зі швелера $2 \text{ C №}30\text{C}$, які розміщені в осях 31-33, 33-35, ряд Г;
- ✓ збірна залізобетонна балка (колонна К-3, серії 1.020-1/83), яка розміщена в осях 29-31, ряд Г.

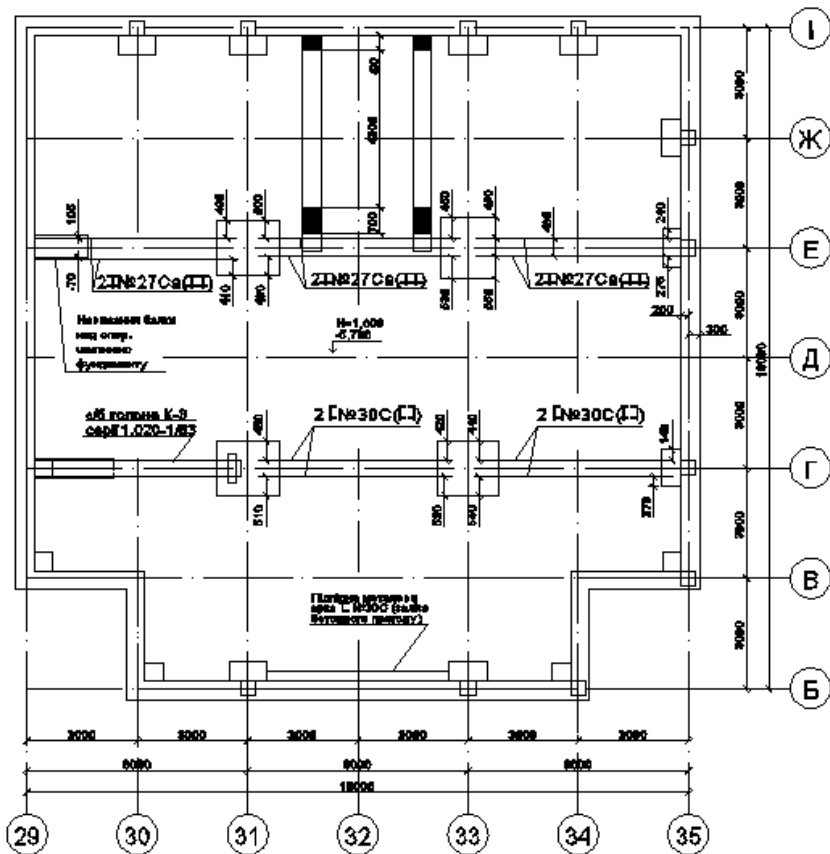


Рис. 1. План-схема технічного підпілля, ряди Б-І в осях 29-35

Для визначення фактичного стану несучих конструкцій техпідпілля було виконано технічне обстеження ригелів перекриття (металевих і залізобетонних), збірних залізобетонних плит, фундаментів, основ, бетонної підлоги та інженерних мереж, із фотофіксацією усіх видимих дефектів і пошкоджень, а також – інструментальне обстеження методами неруйнівного контролю із використанням спеціального обладнання.

Обстеженням встановлено, що будівельні конструкції протягом тривалого часу (до тридцяти років), перебувають в експлуатації за відсутності належної вентиляції, наявності надмірної вологи (рис. 2) внаслідок пошкодження інженерних мереж і підтоплення підлоги техпідпілля. Це призвело до корозії металевих конструкцій, корозії арматури збірних залізобетонних конструкцій з недостатнім захисним шаром бетону (рис. 3), нерівномірного просідання бетонної підлоги.



Рис. 2. Надмірна вологість середовища, конденсат на плитах перекриття підвалу (ряди В-Г, осі 29 – 30)



Рис. 3. Корозія металевих балок і арматури з/б плит перекриття

При обстеженні металевих балок перекриття був виконаний ультразвуковий контроль корозійних втрат несучих елементів за допомогою ультразвукового дефектоскопа УДЗ-71, перетворювачів П121-5х10/2-Т-003, П121-10х6/2-Т-003, П121-5-65°-ММ, П121-5-50°-ММ (рис. 4).

Було досліджено 6 зразків. Результати контролю показали, що металеві балки перекриття з двотаврів 2 \square №27Са і швелерів 2 \square №30С мають загальну поверхневу рівномірну корозію по всій поверхні, проте товщина стінок і полиць балок відповідає вимогам [4].

Обстеженням виявлено, що при улаштуванні металевих двотаврових і таврових балок перекриття не були виконані необхідні завершальні будівельні роботи, зокрема, омонолічування балок з метою довготривалого антикорозійного та протипожежного захисту на весь період експлуатації. Замість цього, в порушення технології будівельного виробництва, виконане неправильне, неякісне закладання цеглою міжбалкового простору (рис. 5). Металева сітка $\varnothing 4$ -5мм, призначена для виконання омонолічування металевих балок, під дією корозії втратила придатність для свого цільового призначення і потребує заміни.



Рис. 4. Проведення дефектоскопічного ультразвукового контролю корозійних втрат металевих балок перекриття

Металеві двотаврові та швелерні балки по ряду Е (вісь 29), Г (вісь 35) змонтовано з ексцентриситетом (рис. 5-6). У порушення технології будівельного виробництва неякісно, цеглою, виконані ділянки для обпирання балок перекриття, «омонолічування» вузлів металевих балок, порушена технологія будівельного виробництва з улаштування монолітних залізобетонних фундаментів.



Рис. 5. Ексцентричне розміщення металевої балки 2 □ №30С – ряд Г, вісь 35, закладання цеглою міжбалкового простору



Рис. 6. Ексцентричне розміщення, змяття опорної частини фундаменту металевої балки 2 Т №27Са – ряд Е, вісь 29

Збірні залізобетонні плити перекриття технічного підпілля, марок ПК 56.15.8, ПК56.12.8, які розміщені в рядах Е-І, Г-Е, Б-Г, уздовж осей 29-35, мають незначні сколи, виколи, тріщини захисного шару бетону, оголення і корозію робочої та конструктивної арматури.

Наявність конденсату на плитах перекриття свідчить про значну вологість у техпідпіллі, що потребує влаштування вентиляції та внесення змін і доповнень до проєкту.

Залізобетонні фундаменти, які служать основою під опорні цегляні ділянки, для обпирання металевих балок (ряди Е, Г, осі 31-35) та бетонних основ (з бетонних стінових блоків) – ряди Е, Г, вісь 29 (рис. 1), мають: незначні сколи, виколи з часу їх влаштування; цегляні надбудови (наросування фундаментів під опорні ділянки металевих балок); відсутність опорних металевих закладних деталей для обпирання балок; змінання цегляної кладки в опорній зоні балок (ряд Е, вісь 29); ексцентричне розміщення влаштування опорних фундаментів під балки – потребує підсилення фундаментів методом влаштування залізобетонної монолітної обойми, згідно проєктного рішення, – фундаменти рядів Е, Г, осі 29, 31, 33, 35 та внесення змін і доповнень до проєкту.

Бетонна підлога технічного підпілля має нерівномірне просідання, за рахунок чого зафіксовані осадочні тріщини шириною розкриття 5-50 мм (ряди Е-І, осі 31-34; ряди Б-Г, осі 29-33). Відсутність направлених ухилів, неякісний фактурний шар свідчать про потребу капітального ремонту з улаштуванням ухилів, приямка для аварійного водовідведення, згідно проєктного рішення.

В осях 29-31, ряд Г, у якості ригеля перекриття була змонтована стандартна залізобетонна колона за серією 1.020-1/83 (рис. 7–8). Візуальним оглядом було встановлено задовільний стан конструкції, без пошкоджень. Для перевірки несучої здатності елемента у даній роботі було виконано розрахунок колони як елемента, що працює на згинання.



Рис. 7. Змонтована збірна залізобетонна колона в якості ригеля (ряд Е, осі 29 – 30)



Рис. 8. Обпирання залізобетонної балки

На конструкцію опираються плити перекриття – збірні порожнисті, серії 1.041.1, марок ПК 56.15.6 і ПК 56.12.8. Клас бетону плит (С16/20) підтверджено протоколом обстеження.

Колона серії 1.020-1/83, що була використана у якості ригеля, виготовлена з бетону класу С25/30 (згідно з серією, проектна марка М400). Для підтвердження класу бетону було виконано випробування неруйнівним методом за допомогою молотка Шмідта (склерометра) типу «АТ 241/Е» (виробник - компанія «TECHNOTEST S.r.l.», Італія). Випробування зразків бетону проведено відповідно до вимог ДСТУ Б В.2.7-220:2009; ДСТУ Б В.2.7-214:2009; ДСТУ Б.В. 2.7-43-96; ДСТУ Б.В.2.7-176:2008.

Випробуванням встановлено, що бетон конструкції (колона серії 1.020-1/83), відповідає вимогам нормативно-технічної документації для класу бетону С25/30 (М400).

Армування колони (рис. 9) згідно з серією ([5], лист 4, с. 6) – чотири стержні $\varnothing 20A400C$ (А-III). Переріз елемента 400×400 мм, розрахунковий проліт становить $L=3,2$ м. Вертикальне навантаження прийнято рівномірною розподіленням по довжині.

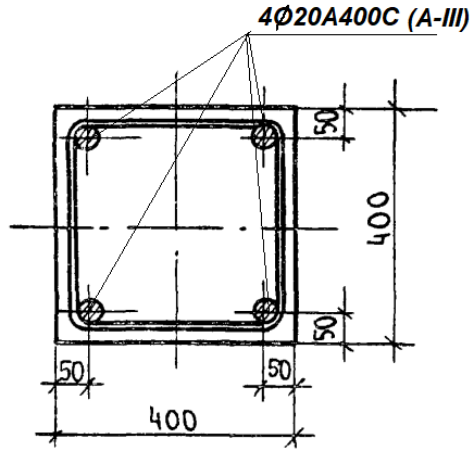


Рис. 9. Армування колони К-3 (серія 1.020-1/83, марка 1КВД 4.48)

На ригель діє постійне навантаження 5,48 кПа (від власної ваги плит перекриття, ригеля, ваги підлоги та перегородок). Змінне експлуатаційне (характеристичне) навантаження приймали рівним 2,0 кПа, у т.ч. довготривале (квазіпостійне) – 0,85 кПа, залежно від призначення будівлі ([6], табл. 6.2, п.2). Розрахункові граничні значення навантажень обчислювали множенням характеристичних значень на коефіцієнт надійності щодо дії навантаження γ_m .

Навантаження на 1м пог. ригеля визначали множенням відповідного навантаження на ширину вантажної площі перекриття (рис. 1):

- постійне від перекриття: $5,48 \cdot 6 = 32,88 \text{ кН / м}$;
- змінне: $2,4 \cdot 6 = 14,4 \text{ кН / м}$,
- у т.ч. довготривале: $1,105 \cdot 6 = 6,63 \text{ кН / м}$;
- повне: $7,88 \cdot 6 = 47,28 \text{ кН / м}$;
- від ваги ригеля: $0,4 \cdot 0,4 \cdot 25 = 4 \text{ кН / м}$;
- загальне: $47,28 + 4 = 51,28 \text{ кН / м}$.

Згинальний момент у середній частині прольоту конструкції від рівномірно розподіленого розрахункового навантаження становить:

$$M = ql^2 / 8 = 51,28 \cdot 3,2^2 / 8 = 65,64 \text{ кНм.}$$

Перевірку несучої здатності нормального перерізу балки виконували як для прямокутного перерізу з подвійним армуванням [7,8].
Вихідні дані:

$h = 400 \text{ мм}; b = 400 \text{ мм}; a = 50 \text{ мм}; a' = 50 \text{ мм};$ клас бетону $C25/30$,
 $f_{cd} = 17,5 \text{ МПа};$ арматура розтягнутої зони $2\text{Ø}20A400C$; $f_{yd} = 365 \text{ МПа};$
 $A_s = 628,0 \text{ мм}^2$; арматура стиснутої зони $2\text{Ø}20A400C$; $A'_s = 628,0 \text{ мм}^2$;
 $f'_{yd} = 365 \text{ МПа}; \xi_R = 0,633; \alpha_R = 0,378.$

1. Робоча висота перерізу: $d = h - a = 400 - 50 = 350 \text{ мм}.$

2. Відносна висота стиснутої зони:

$$\xi = \frac{f_{yd} A_s}{0,8 f_{cd} b d} = \frac{365 \cdot 628,0}{0,8 \cdot 17,5 \cdot 400 \cdot 350} = 0,117.$$

3. Оскільки $\xi = 0,117 < \xi_R = 0,633$, розраховуємо переріз, як із одиничним армуванням.

4. $\rho = A_s / b d = 628,0 / 400 \cdot 350 = 0,0045.$

5. $\zeta = 1 - 0,5 \rho \frac{f_{yd}}{f_{cd}} = 1 - 0,5 \cdot 0,0045 \cdot 365 / 17,5 = 0,953.$

Приймаємо $\zeta = 0,95.$

6. За умови $\xi < \xi_R$ граничний момент, який може сприйняти

балка, визначаємо за формулою: $M_u = A_s f_{yd} d \zeta$:

$$M_u = 628,0 \cdot 365 \cdot 350 \cdot 0,95 = 76215650 \text{ Нмм} = 76,2 \text{ кНм}.$$

7. Перевіряємо умову: $M \leq M_u$

$65,64 \text{ кНм} < 76,2 \text{ кНм}$ – умова виконується, отже, несуча здатність нормального перерізу балки забезпечена.

Висновки. У результаті технічного обстеження конструктивних елементів техпідпілля адмінбудівлі встановлено, що тривалий період експлуатації будівельних конструкцій та інженерних мереж (протягом 30 років), несприятливий вплив надмірно вологого середовища технічного підпілля, відсутність вентиляції, недотримання вимог технології виконання робіт під час будівництва призвели до низки пошкоджень і дефектів, які суттєво погіршили технічний стан конструктивних елементів.

Для подальшої безпечної експлуатації будівлі рекомендовано: влаштувати вентиляцію техпідпілля, виконати модернізацію інженерних мереж, із внесенням змін і доповнень до проєкту; відновити антикорозійний захист металевих балок; виконати тинькування залізобетонних плит перекриття у місцях, де є тріщини захисного шару бетону та оголення арматури; виконати капітальний ремонт бетонної підлоги техпідпілля з улаштуванням ухилів і приямка для аварійного водовідведення, із внесенням змін і доповнень до проєкту.

Змонтована у якості ригеля збірна залізобетонна колона серії 1.020-1/83, яка розміщена в осях 29-31, ряд Г, була розрахована як згинальний елемент. Перевірка несучої здатності балки показала, що міцність за нормальними перерізами на діючі навантаження забезпечена.

References

1. DSTU-N B V.1.2-18:2016. Nastanova shchodo obstezhennia budivel i sporud dlia vyznachennia ta otsinky yikh tekhnichnoho stanu. Kyiv: DP "UkrNDNTs", 2017. 44 s.
2. Tekhnichne obstezhennia bud-yakykh budivel i sporud. Rezhym dostupu: <https://tehpasport.com.ua/ua/services/tehnichne-obstezhennya-budivel-i-sporud/>
3. Fomytsia L.M. Doslidzhennia metodiv otsinky pratsezdatsnosti budivelnykh konstrukttsii v umovakh ekspluatatsii // Mekhanika i fizyka ruinuvannia budivelnykh materialiv ta konstrukttsii: zbirnyk naukovykh prats. Lviv: Kameniar, 2002. Vyp. 5. S 287-292.
4. DSTU 8807:2018 «Balky dvotavrovi ta shvelery stalevi spetsialni. Sortiment». Natsionalnyi standart Ukrainy. Kyiv: Minbud Ukrainy, 2018. 5 s. Rezhym dostupu: https://www.uscc.ua/uploads/page/images/normativnye%20dokumenty/dstu/vigoto_vlennya-mk-nacionalna-gilka-standardy/%D0%94%D0%A1%D0%A2%D0%A3%208807_2018.pdf
5. Typovye konstruktssy y detaly zdanyi y sooruzhenyi. Seryia 1.020-1/83. Konstruktssy karkasa mezhyvdovoho prymerenya dlia mnohoetazhnykh obshchestvennykh zdanyi, proyzvodstvennykh y vspomohatelnykh zdanyi promyshlennykh predpriyati. Vypusk 2-11. Kolonny sechenyem 400×400 mm dlia zdanyi s vysotamy etazhei 4,4 y 4,8(6) m. Rabochoye chertezhy. Tsentralnyi ynstitut tipovoho proektyrovannia Hosstroia SSSR, 1987.
6. DBN V.1.2-2:2006. Navantazhennia i vplyvy. Normy proektuvannia. K.: Minbud Ukrainy, 2006. 72 s.
7. Konstruktssii budynkiv i sporud. Betonni ta zalizobetonni konstruktssii. Osnovni polozhennia / Minrehionbud Ukrainy: DBN V.2.6-98:2009. Chynni vid 01.06.11. K.: Minrehionbud Ukrainy, 2011. 71 s.

8. Konstruktsii budynkiv i sporud. Betonni ta zalizobetonni konstruktsii z vazhkoho betonu. Pravyla proektuvannia / Minrehionbud Ukrainy: DSTU B V.2.6-156: 2010. K.: Minrehionbud Ukrainy, 2011. 123 s.

Список використаної літератури

1. ДСТУ-Н Б В.1.2-18:2016. Настанова щодо обстеження будівель і споруд для визначення та оцінки їх технічного стану. Київ: ДП "УкрНДНЦ", 2017. 44с.

2. Технічне обстеження будь-яких будівель і споруд. Режим доступу: <https://tehpasport.com.ua/ua/services/tehnichne-obstezhennya-budivel-i-sporud/>

3. Фомиця Л.М. Дослідження методів оцінки працездатності будівельних конструкцій в умовах експлуатації // Механіка і фізика руйнування будівельних матеріалів та конструкцій: збірник наукових праць. Львів: Каменярь, 2002. Вип. 5. С. 287-292.

4. ДСТУ 8807:2018 «Балки двотаврові та швелери сталеві спеціальні. Сортамент». Національний стандарт України. Київ: Мінбуд України, 2018. 5 с. Режим доступу:

https://www.uscc.ua/uploads/page/images/normativnye%20dokumenty/dstu/vigoto_vlennya-mk-nacionalna-gilka-standarty/%D0%94%D0%A1%D0%A2%D0%A3%208807_2018.pdf

5. Типовые конструкции и детали зданий и сооружений. Серия 1.020-1/83. Конструкции каркаса межвидового применения для многоэтажных общественных зданий, производственных и вспомогательных зданий промышленных предприятий. Выпуск 2-11. Колонны сечением 400×400 мм для зданий с высотами этажей 4,4 и 4,8(6) м. Рабочие чертежи. Центральный институт типового проектирования Госстроя СССР, 1987.

6. ДБН В.1.2-2:2006. Навантаження і впливи. Норми проектування. К.: Мінбуд України, 2006. 72 с.

7. Конструкції будинків і споруд. Бетонні та залізобетонні конструкції. Основні положення / Мінрегіонбуд України: ДБН В.2.6-98:2009. Чинні від 01.06.11. К.: Мінрегіонбуд України, 2011. 71 с.

8. Конструкції будинків і споруд. Бетонні та залізобетонні конструкції з важкого бетону. Правила проектування / Мінрегіонбуд України: ДСТУ Б В.2.6-156: 2010. К.: Мінрегіонбуд України, 2011. 123 с.

**УТОЧНЕНИЙ РОЗРАХУНОК НА ВИМУШЕНІ КОЛИВАННЯ
КРУГЛОЇ ТРАНВЕРСАЛЬНО ІЗОТРОПНОЇ ПЛИТИ**

**SPECIFIED CALCULATION OF FORCED OSCILLATIONS OF A
ROUND TRANSVERSALLY ISOTROPIC PLATE**

**Ротко С.В., к.т.н., доц., Шваб'юк В.В., к.т.н., доц., Ужегова О.А.,
к.т.н., доц. (Луцький національний технічний університет, м. Луцьк)**

**Rotko S.V., Ph.D. in Engineering, Associate Professor, Shvabyuk V.V.,
Ph.D. in Engineering, Associate Professor, Uzhehova O.A., Ph.D. in
Engineering (Lutsk National Technical University, Lutsk)**

Проведено розрахунок на вимушені коливання круглої трансверсально ізотропною плити, що лежить на пружній основі Вінклера та шарнірно обперта по краю. Розрахункові рівняння пластини включають поправки для врахування деформацій поперечного зсуву та обтиснення.

The calculation of the forced oscillations of a round transversely isotropic plate, which lies on the elastic Winkler basis and is hinged along the edge, is calculated. The dependences for stresses due to forces and moments in the form of a cubic parabola on the transverse coordinate are used in the article. A system of equilibrium equations in cylindrical coordinates is also used, which includes terms that describe the dynamics of forced oscillations of the transotropic plate. The initial and boundary conditions are added to the equations, which are more natural in comparison with those that take into account only the transverse displacement and do not take into account the transverse compression. In particular, the boundary condition for vertical movement provides real support of the plate along its lower edge.

The obtained calculated equations of bending of the plate include amendments to take into account the deformations of the transverse shear and compression, as well as the transverse normal stress and inertia. These amendments will potentially allow a more accurate study of their impact on the nature and magnitude of higher fluctuation frequencies. The Hankel integral transformation is applied to the differential bending equation, the core of which is its own function, through which the integral transformations of deflection and dynamic loading are written. Such representations allow us to obtain a transcendental equation for determining the frequencies of natural oscillations, which is expressed as dependences on Bessel functions. As a result, we obtain the characteristic equation and its solutions, which include the frequencies of forced and free oscillations. As partial cases, one can obtain dependences for "shear" theories, as well as the classical theory of Kirchhoff's thin plate bending.

The formulas for the frequencies include both the physical characteristics of the plate material and the characteristics of the elastic Winkler basis.

Ключові слова: вимушені коливання, пружна основа Вінклера, деформації поперечного зсуву та обтиснення

Key words: forced oscillations, elastic Winkler basis, transverse shear and compression deformations

Вступ. Подібні задачі частково розглядалися у працях С.О. Амбарцумяна [1], Є.М. Гершунова Е.М. [2], В.З. Власова і М.М. Леонтьєва [3], О.О. Рассказова, І.І. Соколовської та М.О. Шульги [4], Ю.М. Тарнопольського та А.В. Розе [5] та ін. [6]). Разом з тим, у більшості названих робіт (за виключенням [6]) впливом поперечних деформацій у цих моделях автори нехтували. Впливу поперечного обтиснення на вищі частоти коливань пластин і оболонок присвячено значно менше робіт. У більшості випадків такі дослідження проводились у постановках просторової задачі теорії пружності [7].

Постанова задачі. Розглядається напружено-деформований стан круглої плити з трансверсально-ізотропного матеріалу радіусом R , завтовшки $2h$, віднесеної до циліндричної системи координат r, θ, z . Вирази для напружень у поперечних перерізах плити можна записати у вигляді залежностей від зусиль і моментів для трансверсально-ізотропного матеріалу [6]:

$$\sigma_r = \frac{N_r}{2h} + \frac{3M_r}{2h^3} \cdot z + \tilde{E} \left(\frac{\partial \bar{Q}_r}{\partial r} + \frac{\nu}{r} \left(\frac{\partial \bar{Q}_\theta}{\partial \theta} + \bar{Q}_r \right) \right) \cdot f(z) + A' \tilde{\sigma}_z + \sigma_r^*;$$

$$\sigma_\theta = \frac{N_\theta}{2h} + \frac{3M_\theta}{2h^3} \cdot z + \tilde{E} \left(\frac{1}{r} \frac{\partial \bar{Q}_\theta}{\partial \theta} + \frac{\bar{Q}_r}{r} + \nu \frac{\partial \bar{Q}_r}{\partial r} \right) \cdot f(z) + A' \tilde{\sigma}_z + \sigma_\theta^*;$$

$$\tau_{r\theta} = \frac{N_{r\theta}}{2h} + \frac{3M_{r\theta}}{2h^3} z + G(1-\alpha) \left(\frac{1}{r} \frac{\partial \bar{Q}_r}{\partial \theta} + \frac{\partial \bar{Q}_\theta}{\partial r} - \frac{\bar{Q}_\theta}{r} \right) f(z); \quad (1)$$

$$\tau_{rz} = \frac{3Q_r}{4h} \left(1 - \frac{z^2}{h^2} \right), (r \rightarrow \theta) \quad .$$

Тут $\bar{Q}_r = (1-\alpha)Q_r / K'$, $\bar{Q}_\theta = (1-\alpha)Q_\theta / K'$;

$$\sigma_r^* = \tilde{E}h^2(1-\alpha) \left(\frac{\partial^2 w_2}{\partial r^2} + \nu \left(\frac{1}{r} \frac{\partial w_2}{\partial r} + \frac{1}{r^2} \frac{\partial^2 w_2}{\partial \theta^2} \right) \right) f(z) + zA'\gamma_p \frac{\partial^2 w}{\partial t^2},$$

$$\sigma_\theta^* = \tilde{E}h^2(1-\alpha) \left(\frac{1}{r} \frac{\partial w_2}{\partial r} + \frac{1}{r^2} \frac{\partial^2 w_2}{\partial \theta^2} + \nu \frac{\partial^2 w_2}{\partial r^2} \right) f(z) + zA'\gamma_p \frac{\partial^2 w}{\partial t^2},$$

$$\tau_{r\theta}^* = 2Gh^2(1-\alpha) \frac{1}{r} \left(\frac{1}{r} \frac{\partial w_2}{\partial \theta} - \frac{\partial^2 w_2}{\partial r \partial \theta} \right) f(z); f(z) = \frac{z}{5} \left(1 - \frac{5z^2}{3h^2} \right),$$

$$\int_{-h}^h f(z) dz = \int_{-h}^h z f(z) dz = 0; w_2 = \frac{3}{8} \frac{\alpha_z \tilde{q}_2}{E'h} + \frac{A'}{2} \Delta w_b, \quad m = 2\gamma_p h -$$

маса одиниці поверхні плити; γ_p – густина матеріалу плити;

$$\sigma_0 = q_1 + \frac{3z}{5h} \tilde{q}_2; \tilde{q}_2 = q^+ + q^- + m \frac{\partial^2 w}{\partial t^2}; q_1 = \frac{1}{2} (q^+ - q^-);$$

$$\tilde{\sigma}_z = \sigma_z - \sigma_0 = \frac{3}{4} \frac{\tilde{q}_2}{h} f(z); w_b = \tilde{w} - 0,8w_\tau + 0,8h^2 w_2;$$

$$h^2 w_2(x, y) = \frac{1}{1-\alpha} \left(\frac{3}{8} \frac{q_2 h}{E'} - \alpha w_\tau \right).$$

Величина w_τ є розв'язком диференційного рівняння

$$K' \Delta \tilde{w}_\tau = -\tilde{q}_2 + m \frac{\partial^2 \tilde{w}}{\partial t^2},$$

$$\text{де } \tilde{w}_\tau = w_\tau - h^2 w_2; \tilde{w} = w + \frac{\varepsilon_2 \tilde{q}_2 h^4}{D}.$$

Внутрішні зусилля і моменти, через які виражаються напруження (1), задовольняють систему рівнянь рівноваги циліндричної системи координат для круглої транстропної плити у вигляді:

$$\frac{\partial N_r}{\partial r} + \frac{1}{r} \frac{\partial N_{r\theta}}{\partial \theta} + \frac{N_r - N_\theta}{r} = 2h\gamma_p \frac{\partial^2 u}{\partial t^2},$$

$$\frac{\partial N_{r\theta}}{\partial r} + \frac{1}{r} \frac{\partial N_\theta}{\partial \theta} + \frac{2N_{r\theta}}{r} = 2h\gamma_p \frac{\partial^2 v}{\partial t^2}, \quad (2)$$

$$\begin{aligned} \frac{\partial M_r}{\partial r} + \frac{1}{r} \frac{\partial M_{\theta r}}{\partial \theta} + \frac{M_r - M_\theta}{r} &= Q_r + I\gamma_p \frac{\partial^2 \gamma_r}{\partial t^2}, \\ \frac{\partial M_{\theta r}}{\partial r} + \frac{1}{r} \frac{\partial M_\theta}{\partial \theta} + \frac{2}{r} M_{r\theta} &= Q_\theta + I\gamma_p \frac{\partial^2 \gamma_\theta}{\partial t^2}, \\ \frac{\partial Q_r}{\partial r} + \frac{1}{r} \frac{\partial Q_\theta}{\partial \theta} + \frac{Q_r}{r} &= -q_2 + 2h\gamma_p \frac{\partial^2 \tilde{w}}{\partial t^2}, \end{aligned}$$

де поздовжні і поперечні сили, а також згинальні і крутні моменти виражаються через відомі інтегральні залежності від відповідних напружень

$$\begin{aligned} \{N_r, N_\theta, N_{r\theta}, Q_r, Q_\theta\} &= \int_{-h}^h \{\sigma_r, \sigma_\theta, \tau_{r\theta}, \tau_{rz}, \tau_{\theta z}\} dz, \\ \{M_r, M_\theta, M_{r\theta}\} &= \int_{-h}^h \{\sigma_r, \sigma_\theta, \tau_{r\theta}\} z dz. \end{aligned}$$

До цих рівнянь мають бути приєднані ще й початкові та граничні умови при $t = 0$:

$$\begin{aligned} w = w_0(r, \theta), \quad \frac{\partial w}{\partial t} = w_1(r, \theta), \quad u = u_0(r, \theta), \quad \frac{\partial u}{\partial t} = u_1(r, \theta), \\ v = v_0(r, \theta), \quad \frac{\partial v}{\partial t} = v_1(r, \theta), \end{aligned} \quad (3)$$

де $w_0, v_0, u_0, u_1, v_1, w_1$ – задані компоненти початкового переміщення і початкової швидкості від точки (r, θ) .

У випадку шарнірного оперття по контуру $r = R$ граничні умови записуються

наступним чином:

$$W_{z=h}(R, \theta, t) = 0, \quad M_r = 0, \quad Q_\theta = 0. \quad (4)$$

Вважається, що плита ($0 \leq r \leq R$) лежить на пружній основі Вінклера і навантажена динамічним навантаженням $q(r, t)$. Розрахункове рівняння вимушених осесиметричних коливань плити можна записати у вигляді [6]:

$$\frac{D}{R^4} \Delta^2 \tilde{w}(\rho, t) + m \left(1 - \frac{\varepsilon_1 \Delta}{R^2} \right) \frac{\partial^2 \tilde{w}(r, t)}{\partial t^2} + k \tilde{w}(\rho, t) = \left(1 - \frac{\varepsilon_1 \Delta}{R^2} \right) q, \quad (5)$$

$$\text{де } \Delta = \frac{\partial}{\partial \rho^2} + \frac{1}{\rho} \frac{\partial}{\partial \rho}; \quad 0 \leq \rho \equiv r/R \leq 1; \quad t > -\infty; \quad k - \text{коефіцієнт}$$

$$\text{постелі пружної основи; } \tilde{w} = w + \frac{A'h^2}{6R^2} \Delta w;$$

$$\varepsilon_1 = \frac{h^2}{10(1-\nu)} \left(8 \frac{G}{G'} - 3\nu'' \right);$$

$$A' = \nu'' / (1-\nu); \quad m = 2\gamma_p h - \text{маса одиниці поверхні плити.}$$

Будемо вважати, що для головних коливань розв'язок задачі можна записати так:

$$w(\rho, t) = w(\rho) \sin pt, \quad (6)$$

де p – частота вимушених коливань.

Розглянемо окремий випадок, коли зовнішнє навантаження можна також записати у подібному вигляді

$$q(\rho, t) = q(\rho) \sin pt, \quad (p \neq \omega_i), \quad (7)$$

де ω_i – частоти власних коливань.

Із урахуванням залежностей (6), (7), рівняння (5) набуде вигляду:

$$\frac{D}{R^4} \Delta \Delta w(\rho) - m \left(1 - \frac{\varepsilon_1 \Delta}{R^2} \right) p^2 w(\rho) + k w(\rho) = \left(1 - \frac{\varepsilon_1 \Delta}{R^2} \right) q. \quad (8)$$

Застосувавши до диференційного рівняння (8) інтегральне перетворення Ганкеля [6], ядром якого є власна функція $G(\rho\mu_i)$, інтегральні трансформанти прогину та динамічного навантаження будуть

$$W(\mu_i) = \int_0^1 \rho w(\rho) G(\rho\mu_i) d\rho, \quad Q(\mu_i) = \int_0^1 \rho q(\rho) G(\rho\mu_i) d\rho, \quad (9)$$

де для випадку шарнірного опирання власна функція

$$G(\rho\mu_i) = J_0(\alpha_i \rho) \cdot I_0(\beta_i) - I_0(\beta_i \rho) \cdot J_0(\alpha_i)$$

та корені характеристичного рівняння

$$\frac{D}{R^4} \mu_i^4 \pm \frac{m\varepsilon_1 p^2}{R^2} \mu_i^2 - m \left(p^2 - \frac{k}{m} \right) = 0 \quad (10)$$

мають вигляд:

$$\mu_{i1} = \alpha_i = R \left(\sqrt{p^2 \frac{m}{D^\circ} + \left(\frac{\varepsilon_1 p^2 m}{2D} \right)^2} + \varepsilon_1 p^2 \frac{m}{2D} \right)^{\frac{1}{2}}, \quad (11)$$

$$\mu_{i2} = \beta_i = R \left(\sqrt{p^2 \frac{m}{D^\circ} + \left(\frac{\varepsilon_1 p^2 m}{2D} \right)^2} - \varepsilon_1 p^2 \frac{m}{2D} \right)^{\frac{1}{2}}.$$

Тут $D^\circ = D \left(1 + \frac{kR^4}{D\mu_i^4} \right)$; μ_i – корені характеристичного рівняння.

Частоти власних коливань пластини у цьому випадку можна знайти за формулою

$$\omega_i = \frac{\mu_i^2}{R^2} \sqrt{\frac{D}{m}} \sqrt{1 + \frac{kR^4}{D\mu_i^4}} \left(1 \pm \frac{\varepsilon_1 \mu_i^2}{R^2} \right)^{-\frac{1}{2}}. \quad (12)$$

Зауважимо при цьому, що для отримання числових результатів за формулами (11), (12), крім усіх інших величин, необхідно задаватися ще і значенням товщини плити $2h$. Останнє необхідно для визначення параметрів m і $k_1 = kh$.

Висновки. Отримані рівняння та залежності враховують додатково до деформації поперечного зсуву ще й деформацію поперечного обтиснення, вплив нормального напруження σ_z , а також інерцію обертання поперечних перерізів плити. Якщо покласти нулю величини $\frac{E}{G'} = 0$, $\nu'' = 0$, то отримаємо відповідні залежності класичної теорії тонких пластин. Покладення нулю коефіцієнта Пуассона ($\nu'' = 0$) приводить до результатів теорії плит, що враховує тільки деформацію поперечного зсуву.

References

1. Ambartsumian S.A. Teoriya anizotropnykh plastyn. M.: Nauka, 1987. 360 s.
2. Hershunov E.M. Raschet kruhlykh y koltseyvkh plastynok na deistvye proizvolnoi dynamicheskoi zahruzky // Otdelenye matematyky, mekhaniky. Yzvestiya AN SSSR. Mekhanyka y mashynostroenye, 1964. №6. S. 89–95.

3. Vlasov V.Z., Leontev N.N. Balky, plastyny y obolochky na uprugom osnovanyu. M.: Hosfyzmatlyt, 1960. 491 s.
4. Rasskazov A.O., Sokolovskaia Y.Y., Shulha N.A. Sravnytelnyi analiz nekotorykh varyantov sdvyhovykh modelei v zadachakh ravnovesyia y kolebaniy mnohosloinykh plastyn // Pрыkl. mekhanyka, 1983. T. 19, №7. S. 90-96.
5. Tarnopolskyi Yu.M., Roze A.V. Osobennosti rascheta detalei yz armyrovannykh plastykov. Ryha: Zynatne, 1969. 276 s.
6. Shvabiuk V.I., Rotko S.V., Huda O.V. Kolyvannia transtropnoi plastyny na pruzhnii osnovi pid tyskom ridyny // Suchasni problemy mekhaniky ta matematyky: V 3-kh t. / Pid zah. red. R.M. Kushnira i B.I. Ptashnyka. Lviv: IPPM im. Ya.S. Pidstryhacha NANU, 2013. T.2. S. 182-184.
7. Hrynchenko V.T. Ravnovesye y ustanovyvshyesia kolebaniya upruhykh tel konechnykh razmerov. K.: Naukova dumka, 1978. 264 s.

Список використаної літератури

1. Амбарцумян С.А. Теория анизотропных пластин. М.: Наука, 1987. 360 с.
2. Гершунов Е.М. Расчет круглых и кольцевых пластинок на действие произвольной динамической загрузки // Отделение математики, механики. Известия АН СССР. Механика и машиностроение, 1964. №6. С. 89–95.
3. Власов В.З., Леонтьев Н.Н. Балки, пластины и оболочки на упругом основании. М.: Госфизматлит, 1960. 491 с.
4. Рассказов А.О., Соколовская И.И., Шульга Н.А. Сравнительный анализ некоторых вариантов сдвиговых моделей в задачах равновесия и колебаний многослойных пластин // Прикл. механика, 1983. Т. 19, №7. С. 90-96.
5. Тарнопольский Ю.М., Розе А.В. Особенности расчета деталей из армированных пластиков. Рига: Зинатне, 1969. 276 с.
6. Шваб'юк В.І., Ротко С.В., Гуда О.В. Коливання транструпної пластини на пружній основі під тиском рідини // Сучасні проблеми механіки та математики: В 3-х т. / Під заг. ред. Р.М. Кушніра і Б.Й. Пташника. Львів: ІППМ ім. Я.С. Підстригача НАНУ, 2013. Т.2. С. 182-184.
7. Гринченко В.Т. Равновесие и установившиеся колебания упругих тел конечных размеров. К.: Наукова думка, 1978. 264 с.

УДК 624+69+628+712+591.5

[https://doi.org/10.36910/6775-2410-6208-2022-7\(17\)-18](https://doi.org/10.36910/6775-2410-6208-2022-7(17)-18)

**ОБҐРУНТУВАННЯ СПОРУД ОГОРОДЖЕННЯ ТЕРИТОРІЇ
ЛУЦЬКОГО ЗООПАРКУ З УРАХУВАННЯМ АНАЛІЗУ ІСТОРІЇ
УРБАНІЗАЦІЇ ЛАНДШАФТУ**

**RATIONALE OF STRUCTURES OF FENCING OF THE TERRITORY
OF THE LUTSK ZOO, TAKING INTO ACCOUNT THE ANALYSIS OF
THE HISTORY OF URBANIZATION OF LANDSCAPE**

Синій С. В., к.т.н., доц. (Луцький національний технічний університет, Луцьк), Крантовська О. М., к.т.н., доц., Ксьоншкевич Л. М., к.т.н., доц. (Одеська державна академія будівництва та архітектури, Одеса), Орешкович Матія, к.т.н., доц. (Північний університет, Вараздін, Хорватія), Сунак П. О., к.т.н., доц. (Луцький національний технічний університет, Луцьк)

Synii S. V., Ph.D. in Engineering, Associate Professor (Lutsk National Technical University, Lutsk), Krantovska O. M., Ph.D. in Engineering, Associate Professor, Ksonshkevych L. M., Ph.D. in Engineering, Associate Professor (Odesa State Academy of Civil Engineering and Architecture, Odesa), Orešković Matija, Ph.D. in Engineering, Associate Professor (University North, Varazdin, Croatia), Sunak P. O., Ph.D. in Engineering, Associate Professor (Lutsk National Technical University, Lutsk)

У даній роботі наведено результати аналізу історії урбанізації ландшафту території рекреаційної зони у центральній частині Луцька – ділянки Луцького зоопарку у міському Центральному парку. З кожним роком дана територія все більше осушується, антропогенне навантаження на ландшафт збільшується, є небезпека поступового наростання темпів громадської забудови, що може призвести до поступової невідновної втрати природних характеристик ландшафту та міського клімату. Одночасно, пропонується архітектурно-конструктивне рішення огорожувальних споруд Луцького зоопарку з пішохідними, інженерними мережами, підтриманням правил утримання тварин.

Lutsk Zoo is located in the recreational area of the central part of Lutsk. Green plantations and water bodies of this recreational area contribute to the maintenance of ecological balance in the central part of the city. The recreational area was formed on the floodplain of the river Styr. 100 years ago it was a swampy area flooded by floods, and the Styr River and the Styr River tributaries meandered in this area, the largest of which was the Glushets River. In 2020, the territory of the Lutsk Zoo was increased to about 7.36 hectares. Therefore, there was a need to arrange exhibitions in the new area of 3.36 hectares. The concept of Lutsk Zoo development proposed in the article envisages preservation of the existing landscape with protection from the intensive influence of

urbanization. In this regard, an analysis of the history of landscape urbanization. Such data will be useful, because this area has been urban for many centuries. Since the founding of Lutsk, the natural development of the landscape has been accompanied by anthropogenic influences. Therefore, the analysis of the existing General Plan of Lutsk and archival documents – maps of general planning of the city (1795-1912), reconstruction of the topography of X - XIII centuries, as well as old photographs of the central part of Lutsk. The existing landscape is suitable for local animals and birds (species of animals and birds common in the Volyn region or Polissya).

The article proposes to arrange fencing structures of the Lutsk Zoo according to the type of gallery. Due to the high level of groundwater under the gallery floor, the installation of channels for utilities is provided. Pedestrian crossings of fencing structures by gallery type increase the sound insulation of animal exposures and have other advantages that have been considered in detail when developing design options for fencing structures. For example, the article presents a variant of the construction of the fence of the wolf exposition.

Ключові слова: споруди огороження території, зоопарк, ландшафт, благоустрій території, інженерні та пішохідні мережі, будівництво, реконструкція, експлуатація.

Keywords: structures of fencing of the territory, zoo, landscape, improvement of the territory, engineering and pedestrian networks, building, reconstruction, operation.

Постановка проблеми. Зоопарк є складним комплексом будівель і споруд, підпорядкованих схемі зонування його території. Зовнішній периметр території зоопарку, окремих його функціональних зон і ділянок у межах цих зон мають різні за складністю та розмірами споруди огороження. Конструктивні рішення споруд огороження повинні бути адаптовані до особливостей функціонального призначення конкретної ділянки території зоопарку та у зв'язку з цим – відповідати широкому спектру вимог до їх експлуатації: від технічного та екологічного до соціального та культурного.

Однією з сучасних тенденцій сталого розвитку територій є збереження або відтворення природного та історичного ландшафту міських територій, який може суттєво трансформуватися внаслідок процесів його урбанізації. Причому, таке трансформування не завжди вдаль і у довготривалій перспективі може мати більше негативних, ніж позитивних наслідків для певних критеріїв функціонування населеного пункту. Особливо цінними в такому сенсі є ділянки території населеного пункту, розташовані в його історичних межах. Наприклад, для Луцька такою ділянкою є рекреаційна зона його центральної частини, у якій власне і розташований Луцький зоопарк [1].

Отже, обґрунтування архітектурно-конструктивних рішень споруд огороження Луцького зоопарку зі збереженням у концепції розвитку його території відповідно проаналізованих ознак історично сформованого під

впливом урбанізації ландшафту є актуальним питанням, відображеним у статті.

Аналіз відомих досліджень і публікацій. Дослідження планувальних і дотичних до них інших характеристик території Луцька, враховуючи дані архівів, наведено у публікаціях [2-8] та ін.; з улаштування огорожень зоопарків – у [9] та ін., а доріжок зоопарків – у [10] та ін. Досвід цих досліджень використано для обґрунтування рішень із улаштування розроблених огорожувальних споруд Луцького зоопарку. Дослідження з формування та розробки концепції розвитку території та споруд Луцького зоопарку розпочаті авторами у 2020 році, окремі результати доповідалися у 2022 році на міжнародній науково-практичній конференції у ЛНТУ [11].

Мега статті – обґрунтування архітектурно-конструктивних рішень споруд огороження Луцького зоопарку зі збереженням у концепції розвитку його території відповідно до проаналізованих ознак історично сформованого під впливом урбанізації ландшафту.

Основні завдання: проаналізувати історичні особливості урбанізації ландшафту Луцького зоопарку; розробка споруд огороження території Луцького зоопарку.

Виклад основного матеріалу

1. Аналіз історії урбанізації ландшафту Луцького зоопарку.

КП "Луцький зоопарк" [1] (Луцький зоопарк) утворене у 1979 р., входить в УАЗА, ЕАЗА і на сьогодні має близько 500 тварин 94 видів.

З часу заснування території Луцького зоопарку розташована на сході міської рекреаційної зони (рис. 1), яку утворює Центральний парк [1, 12], і після приєднаної у 2020 р. нової ділянки у 3,36 га складає близько 7,36 га. Відносно інших українських зоопарків це скоріш середня, ніж мала площа території, з орієнтовного інтервалу від 2 га (Докучаєвський зоопарк) до 34,22 га (Київський зоопарк). Станом на сьогодні нова територія зоопарку не освоєна, існуючі хащі - переважно з листяних порід дерев і кущів.

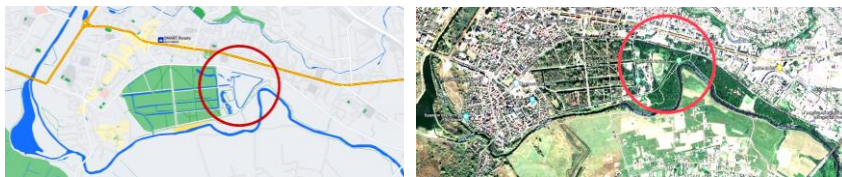
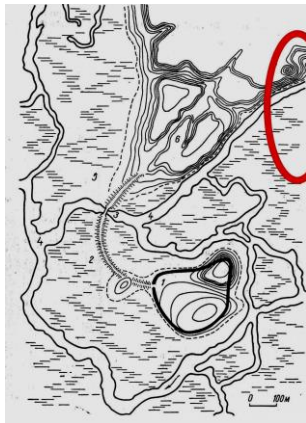


Рис. 1. Карта сучасного стану досліджуваної ділянки території [12]

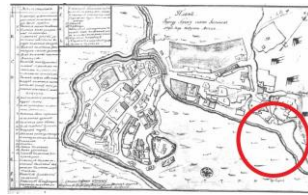
З часу заснування Луцька природний розвиток ландшафту супроводжується антропогенним впливом. Його містобудівна структура складалася історично, з характерними для більшості міст заходу України планувальними рішеннями, що підтверджується аналізом архівів

генпланувальних рішень минулих століть [3-5] та результатами сучасних досліджень із реконструкції топографії [2], наведених на рис. 2.

Розглядувана ділянка території розташована у колишній болотистій заплаві річки Стир, на місці її меандрування та розливу у повні її рукави, найбільший з яких – Глушець. У XVIII – XIX ст. з розростанням міської території почався більш активний вплив людей на дану ділянку. Однак, ще на протязі перших десятиліть XX ст. ділянка була під водою мілководдя, вздовж берега (орієнтовно – краю сучасної міської магістралі Глушець) протікав рукав Глушець, який при повені розливався.



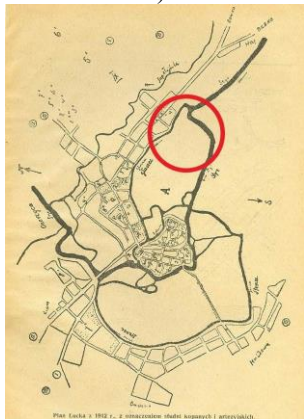
а)



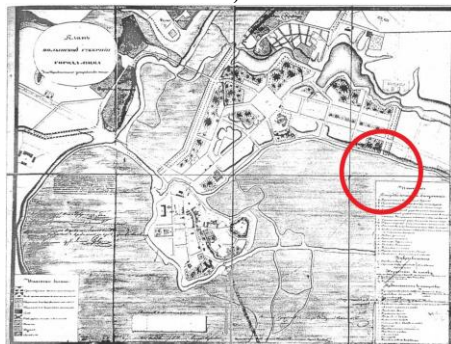
б)



в)



д)



г)

Рис. 2. Плани Луцька: а – реконструкція топографії X - сер. XIII ст. [2]; б – 1795 р. [3]; в – 1839 р. [4]; г – 1865 р. [3]; д – 1912 р. [5]. Колом орієнтовно показано місце сучасного розташування Луцького зоопарку

Найбільших змін дана територія зазнала з влаштуванням у перш. пол. ХХ ст. дамби вздовж прилеглого берега Стиру. Тоді заплава була перекрита і почалось поступове осушення території, зокрема шляхом влаштування каналів і насадження дерев. Спочатку дана територія планувалась під сад та індивідуальну житлову забудову, але цьому заважали війни. Лише в 50-70 роках ХХ ст. було розбито парк з алеями та зонами відпочинку з відповідними спорудами, плануванням системи каналів. Ще до 80-х років на річці Стир працював флот.

На протязі кількох століть рельєф території теперішнього Центрального парку поступово підвищувався, з пологим підйомом у бік берега і на тепер залишилися лише штучні канали та рови. Попри це, згідно сучасного Генплану міста, дана територія має небезпеку підтоплення (остання повинь на Стиру спостерігалась у 2012 році з підняттям рівня води на кілька метрів, але не вище дамби, яка простягається уздовж берега від Луцького замку до колишнього звивистого початку рукава Глушець).

2. Розробка споруд огороження території Луцького зоопарку.

Згідно запропонованого підходу до збереження ландшафту Луцького зоопарку від наступних змін рельєфу його території під впливом урбанізаційних процесів внаслідок розбудови та модернізації міської інфраструктури (об'єктів транспортних та інженерних мереж по вулиці Глушець) та прилеглої забудови центральної частини міста, пропонується на межі з такими об'єктами влаштування ділянки зовнішнього периметру зоопарку зі споруд огороження галерейного типу (рис. 3) з оглядовими вікнами (віконними прорізами заданої геометричної форми), направленими у внутрішній простір зоопарку – у бік експозицій тварин.

Також пропонується використати кілька варіантів архітектурних рішень конструкції споруд огороження, які як модулі поєднувати між собою або, для умов внутрішніх ділянок території зоопарку, – з відкритими просторами таких ділянок і комунікаційними шляхами людей на них. На окремих ділянках галереї можуть переходити у тунелі. Також, при потребі, в таких галереях можна передбачити сходи та пандуси.

Зважаючи на природні умови ландшафту території Луцького зоопарку та інші обмеження технічного та екологічного характеру, пропонується передбачити в підлозі таких модулів канали (чи техпідпілля) для прокладання інженерних мереж, щоб покращити доступ до них та забезпечити умови їх експлуатації вище ґрунтових вод [12, 13 та ін.].

На рис. 3 показано вертикальний поперечний розріз одного з розроблених варіантів модуля, який включає терасу та пристосований для експозиції вовків.

Враховуючи вимоги до міцнісних характеристик запропонованої конструкції споруди огороження території зоопарку, основою її конструкції передбачено виробити з бетону чи залізобетону, як сучасного

матеріалу з достатньо широкими можливостями пристосування до заданих умов експлуатації та поширеною у світі потужною базою програмного забезпечення для інженерного розрахунку відповідних елементів конструкцій [14-16 та ін.]. Зовнішнє оздоблення стін – із дерева.

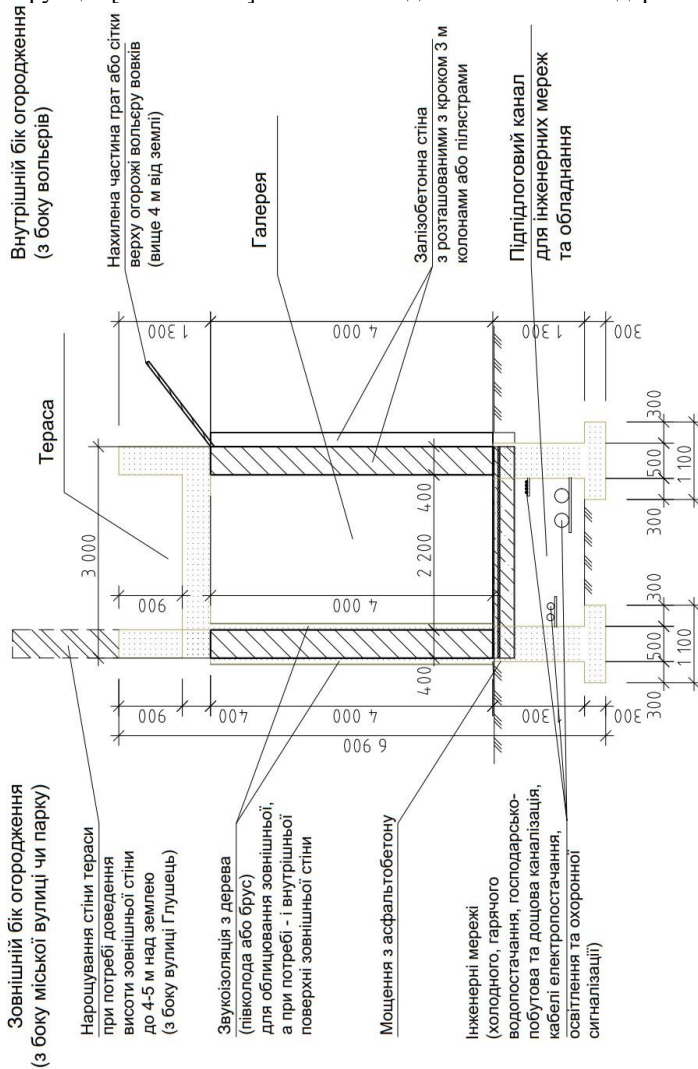


Рис. 3. Варіант споруди огороження галерейного типу з терасою, як один із варіантів модуля для ділянки зовнішнього периметру зоопарку [1]

Висновки. Збереження ландшафту території Луцького зоопарку шляхом благоустрою із будівництвом огорожувальних споруд дозволить захистити її у перспективі від тотальної забудови та підтримати стійкість

міста до кліматичних загроз. Запропоноване архітектурно-конструктивне рішення огорожувальних споруд передбачає підвищення надійності роботи інфраструктури зоопарку з дотриманням нормативів утримання тварин. Дослідження у даному напрямку нами продовжуються.

References

1. Komunalne pidpriemstvo "Lutskiyi zoopark" [El. res.]. URL: <https://www.lutskrada.gov.ua/pages/komunalne-pidpriemstvo-lutskiyi-zoopark>
2. Kolosok B. V. Lutskiyi Verkhniy ta Okolnyi zamky // Doslidzhennia z sloviano-ruskoj arkhеolohii. – K.: Naukova dumka, 1976. – S. 217-228.
3. Rychkov P. Istorychni plany Lutska XVIII – XIX st. v arkhivakh Peterburha ta Moskvy // Arkhitekturna spadshchyna Volyni. Zb. nauk. prats. - Rivne: Diatlyk M. S., 2014. Vyp. 4. S. 64-75.
4. Kolosok B.V. Arkhivni dzherela kintsia XVIII – pochatku XX st. pro lutski mosty // Pratsi Tsentru pamiatkoznavstva. 2010. Vyp. 17. S. 185-198.
5. Wojnicz A. Łuck na Wołyniu: opis historyczno-fizjograficzny. Luck, 1922. 104.
6. Kotys O. Urbanistychni modernizm: yakym mih buty lutskiyi park v epokhu Le Korbiuzie (01.08.2017 r.) [El. res.]. URL: <http://www.hroniky.com/articles/view/239-urbanistychni-modernizm-iyakym-mih-buty-lutskiyi-park-v-epokhu-le-korbiuzie1>
7. Lutski vulytsi na starykh svitlynakh. Chastyna 1. (02.02.2016). [El. res.]. URL: <https://volyn.tabloyid.com/layf/lucki-vulyci-na-staryh-svitlynah>
8. Lutski vulytsi na starykh svitlynakh. Chastyna 2. (05.02.2016). [El. res.]. URL: <https://volyn.tabloyid.com/layf/lucki-vulyci-na-staryh-svitlynah-0>
9. Gupta, B. K. Barrier designs for zoos. New Delhi: Central Zoo Authority 2008.
10. Brem, B. Zoo Walkways: The Path to Connecting with Nature // 21st Biennial Conf. of IZE; Conference Proceedings. - Chester, England. 2012, pp.1-8.
11. Google Maps [El. res.]. URL: <https://www.google.com.ua/maps/>
12. Synii S. V., Krantovska O. M., Ksonshkevych L. M., Orešković Matija, Sunak P. O., lykhach A. O. The concept of development of the territory and the buildings of The Lutsk Zoo [El. res.] // Innovations in construction: collection of abstracts VII international scientific-practical internet conference of young scientists and students. – Luczk: LNTU, 2022. – S. 97-100. URL: <https://drive.google.com/file/d/1wNrsH0mcE2717pLW276stf-Fw7kmGv6b/view>
13. Synii, S. V., Melnyk, Yu. A., Sunak, P. O., Ksonshkevych, L. M., Krantovska, O. M. Design of sewerage networks using the principles of SWOT analysis // Modern technologies and methods of calculations in construction. – Lutsk: LNTU. 2021. – Vol. 16. - pp. 171-179. DOI: [https://doi.org/10.36910/6775-2410-6208-2021-6\(16\)-22](https://doi.org/10.36910/6775-2410-6208-2021-6(16)-22)
14. Ksonshkevych, L., Krantovska, O., Petrov, M., Synii, S., Uhl, A. Investigation of the structure of cement stone, obtaining and optimization of high-strength concrete on mechanically activated binder // MATEC Web of Conferences - 2018, Vol. 230, 03010, pp. 1-8. <https://doi.org/10.1051/mateconf/201823003010>
15. Krantovska, O., Petrov, M., Ksonshkevych, L., Synii, S., Sunak, P. Improved engineering method for calculating the strength of the supporting areas of reinforced concrete elements // MATEC Web of Conferences - 2018, Vol. 230, 02014, pp. 1-9. <https://doi.org/10.1051/mateconf/201823002014>
16. Krantovska, O., Petrov, M., Ksonshkevych, L., Orešković, M., Synii, S., Ismailova, N. Numerical simulation of the stress-strain state of complex-reinforced

elements // Technical Journal, - Varaždin (Croatia): University North, 2019, Vol. 13(2), pp.110-115. <https://doi.org/10.31803/tg-20190417112619>

Список використаної літератури

1. Комунальне підприємство "Луцький зоопарк" [Ел. рес.]. URL: <https://www.lutskrada.gov.ua/pages/komunalne-pidpriemstvo-lutskiyi-zoopark>

2. Колосок Б. В. Луцький Верхній та Околий замки // Дослідження зі слов'яно-руської археології. – К.: Наукова думка, 1976. – С. 217-228.

3. Ричков П. Историчні плани Луцька XVIII – XIX ст. в архівах Петербурга та Москви // Архітектурна спадщина Волині. Зб. наук. праць. – Рівне: Дятлик М.С., 2014. Вип. 4. С. 64-75.

4. Колосок Б. В. Архівні джерела кінця XVIII – початку XX ст. про луцькі мости // Праці Центру пам'яткознавства. 2010. Вип. 17. С. 185-198.

5. Wojnicz A. Łuck na Wołyniu: opis historyczno-fizjograficzny. Luck, 1922. 104.

6. Котис О. Урбаністичний модернізм: яким міг бути луцький парк в епоху Ле Корбюзьє (01.08.2017 р.) [Ел. рес.]. URL: <http://www.hroniky.com/articles/view/239-urbanistychnyi-modernizm-iaкym-mih-buty-lutskiyi-park-v-epokhu-le-korbiuzie1>

7. Луцькі вулиці на старих світлинах. Частина 1. (02.02.2016). [Ел. рес.]. URL: <https://volyn.tabloyid.com/layf/lucki-vulyci-na-staryh-svitlynah>

8. Луцькі вулиці на старих світлинах. Частина 2. (05.02.2016). [Ел. рес.]. URL: <https://volyn.tabloyid.com/layf/lucki-vulyci-na-staryh-svitlynah-0>

9. Gupta, B. K. Barrier designs for zoos. New Delhi: Central Zoo Authority 2008. 100 p.

10. Brem, B. Zoo Walkways: The Path to Connecting with Nature // 21st Biennial Conf. of IZE; Conference Proceedings. – Chester, England. 2012, pp.1-8.

11. Google Maps [Ел. рес.]. URL: <https://www.google.com.ua/maps/>

12. Синій С. В., Крантовська О. М., Ксьоншкевич Л. М., Орешкович Матія, Сунак П. О., Ляхач А. О. Концепція розвитку території та споруд Луцького зоопарку [Ел. рес.] // Інновації у будівництві: зб. тез доп. VII Міжн. наук.-практ. інтернет-конф. мол. уч. та студ. [Ел. рес.]. – Луцьк: ЛНТУ, 2022. – С. 97-100. URL: <https://drive.google.com/file/d/1wNrsH0mcE2717pLW276stf-Fw7kmGv6b/view>

13. Синій С. В., Мельник Ю. А., Сунак П. О., Ксьоншкевич Л. М., Крантовська О. М. Проектування каналізаційних мереж з використанням принципів SWOT-аналізу // Сучасні технології та методи розрахунків у будівництві: зб. наук. Праць. Луцьк: ЛНТУ, 2021. Вип. 16. С. 171-179. 0,5 друк. арк. DOI: [https://doi.org/10.36910/6775-2410-6208-2021-6\(16\)-22](https://doi.org/10.36910/6775-2410-6208-2021-6(16)-22)

14. Ksonshkevych, L., Krantovska, O., Petrov, M., Synii, S., Uhl, A. Investigation of the structure of cement stone, obtaining and optimization of high-strength concrete on mechanically activated binder // MATEC Web of Conferences - 2018, Vol. 230, 03010, pp. 1-8. <https://doi.org/10.1051/mateconf/201823003010>

15. Krantovska, O., Petrov, M., Ksonshkevych, L., Synii, S., Sunak, P. Improved engineering method for calculating the strength of the supporting areas of reinforced concrete elements // MATEC Web of Conferences. 2018, Vol. 230, 02014, pp. 1-9. <https://doi.org/10.1051/mateconf/201823002014>

16. Krantovska, O., Petrov, M., Ksonshkevych, L., Orešković, M., Synii, S., Ismailova, N. Numerical simulation of the stress-strain state of complex-reinforced elements // Technical Journal, – Varaždin (Croatia): University North, 2019, Vol. 13(2), pp.110-115. <https://doi.org/10.31803/tg-20190417112619>

**ФАКТОРИ ВПЛИВУ НА ХАРАКТЕР ЗМІН РЕГІОНАЛЬНОЇ
ТИПОЛОГІЇ СХІДНИХ ОБЛАСТЕЙ УКРАЇНИ**

**FACTORS OF INFLUENCE ON THE CHANGES IN THE
REGIONAL TYPOLOGY OF THE EASTERN REGIONS OF UKRAINE**

**Соколенко К.В., аспірант, Соколенко В.М., к.т.н., доц.
(Східноукраїнський національний університет ім. В. Даля,
м. Сєвєродонецьк)**

**Sokolenko K.V., postgraduate student, Sokolenko V. M., Ph.D. in
Engineering (Volodymyr Dahl East Ukrainian National University,
Sievierodonetsk)**

Розглянуто проблематику та завдання зміни регіональної типології східних областей України, викликаних війною. Інженерно-планувальна організація території областей зазнає кардинальних змін під впливом військово-політичних факторів.

The problems and tasks of changing the regional typology of the eastern regions caused by the war are considered. It is noted that the engineering and planning organization of the territory of the regions is undergoing cardinal changes under the influence of military and political factors. Assessment of the conditions and factors that determine the state and parameters of development of the engineering and planning organization of the Luhansk region for the period 2014-2021 has undergone changes from 02/24/2022 with the start of the military aggression. The situation is not defined, the war is not over, the results and consequences are still difficult to predict and evaluate. From the point of view of urban planning and territorial development, it is advisable to confine ourselves to an analysis of trends and possible basic principles. Soon there will be issues of adjusting the tasks and principles of regional typology. Political decisions will be decisive, functional content and corresponding structural changes will be a consequence. The scale of destruction of the infrastructure and housing stock of the region matters. The post-war reconstruction will have a national and regional character. The basic needs of the population of the region as a whole remain the same. The terms and methods of implementing the requests of the society are subject to adjustment. Principles are decisive. The scale of the destruction of settlements is such that subsequently it will be necessary to evaluate the possibilities of restoration, apparently, according to the assessment of the territories. The key role will be played by the state of infrastructure - roads, transport hubs and facilities, water supply systems, energy (substations, power lines). The nature and scale of the renewal of individual settlements will also be determined by the functional potential that will manifest itself in the post-war period. Urban planning tasks and directions for the transformation of the territorial structure and living environment of the Lugansk region should take into account the change in the regional typology of the east of Ukraine. The restoration of the region will be based on the consequences of internal factors of preservation or destruction (decline)

of the territories, they will be determined by the results of the war. Outstanding factors for the tasks of the reconstruction of territories and cities will be macroeconomic tasks, the state of the environment, infrastructure facilities and transport links.

Ключові слова: місто, агломерація, реконструкція міської забудови, реконструкція територій, регіональна типологія.

Keywords: city, agglomeration, urban redevelopment, territory reconstruction, regional typology

Постановка проблеми. Дослідження на тему "Інженерно-планувальна організація території Луганської області в сучасних умовах" виконується з 2019р. та передбачало за мету розробку методів комплексної оцінки територій міст Луганської області в умовах згортання містобудівної бази з урахуванням впливу зовнішніх факторів. Об'єктом дослідження була прийнята система населених місць Луганської області, що підконтрольна Україні в зоні проведення ООС.

Використовуючи містобудівний та порівняльний аналіз, математично – статистичний аналіз, була виконана детальна оцінка умов та факторів, що визначали стан та параметри розвитку інженерно-планувальної організації Луганської області. Територіально містобудівна ситуація була статично зафіксована в кордонах 2015 р. та з певною пересторогою проглядалась тенденція довготривалого заморожування ситуації. Україна не розглядала силовий, військовий шлях визволення своїх територій на той час. Сукупність впливу зовнішніх факторів, соціально демографічних та економічних факторів визначали умови та параметри зміни містобудівної ситуації [1-3]. Пандемія коронавірусу, карантинні обмеження та локаути пригальмували процеси регіональних перетворень. Результати досліджень зруйновано від 24.02.2022 з початком військової агресії. Ситуація невизначена, війна не скінчилась, результати та наслідки поки важко прогнозувати та оцінити. З точки зору містобудівного та територіального розвитку доцільно обмежитись аналізом тенденцій та вірогідних базових принципів.

Аналіз відомих досліджень і публікацій

Ситуація по-своєму унікальна. Україна завжди була миролюбною державою, яка не мала територіальних зазіхань, підтримувала нейтральний, позаблоковий статус. Про це свідчить відмова від ядерної зброї, договори, що їх було укладено з державами-сусідами. Законодавство в галузі архітектури та містобудування, нормативна база будівництва, стратегії регіонального розвитку України беззаперечно свідчать, що держава була орієнтована виключно на взаємовигідну співпрацю та розвиток [4-7]. Ситуація змінилась, і певно у реально недалекому майбутньому будуть поставлені питання коригування завдань та

принципів регіональної типології. Вирішальними будуть політичні рішення, функціональне наповнення та відповідні структурні зміни будуть наслідками. Досвід буде напрацьовуватись безпосередньо.

Мета статті – дослідження масштабів та характеру змін містобудівних параметрів Луганської області під впливом соціально-демографічних та зовнішніх факторів, визначення масштабу деструкції інфраструктури та житлового фонду області.

Виклад основного матеріалу

Стислий опис ситуації за період 2014-2021 рр. містить наступні твердження. Промислові міста та території сходу України – Луганська та Донецька області, знаходились у передкризовому стані, зумовленому застарілим індустріальним укладом. Рівень розвитку гірничо-металургійного комплексу не відповідав вимогам сучасного розвитку економіки та суспільства. Російська зовнішня агресія, окупація частини території областей спричинили додаткові обставини, наслідки яких важко оцінити економічними категоріями. З точки зору інженерно-планувальної організації території областей було «розрізано» військовими діями. Фактично території ОРДЛО і областей існували окремо та функціонували за різними правилами та системами. Про узгоджений розвиток та співіснування мова не йшла. Серед визначених тенденцій початку XXI ст. можна вказати на зменшення населення області (регіону); погіршення економічної ситуації індустріального регіону; надмірне екологічне навантаження на території та міста області; технічно та технологічно застаріле виробництво, фонди, інфраструктура. Політичні чинники стану ситуації полишались першочерговими та невизначеними [1, 8, 9]. Тобто, окупація частини території областей унеможливує перспективний аналіз розвитку території. Для детального аналізу ситуації, розробки раціональних містобудівних рішень, пропозицій стратегічного розвитку, необхідно вирішити ряд наукових задач. Необхідно визначити основні територіальні та містобудівні параметри системи населених місць Луганської області в сучасних умовах. Розробити та запропонувати методи та методологію прийняття містобудівних рішень в системі населених місць Луганської області в умовах депресивного стану [7, 10-13]. Проаналізувати містобудівні методи перетворення житлового середовища міст Луганської області, контрольованою Україною. Невизначеність факторів зовнішнього впливу пропонувалось оцінити за допомогою SWOT аналізу або багатфакторної класифікації з використанням покрокової дихотомії. Оцінку ресурсу території можна виконати по аналізу балансу окремих груп – газ, вугілля, рілля, вода, зелені насадження. Якісні показники також вимагають використання критеріїв адаптації до кількісних оцінок. Комплексний аналіз надає можливість розробити варіанти прогнозу

перспективного розвитку регіону, функціонально-планувальної структури розселення. Із проміжних висновків доцільно виділити наступне: регіон суттєво змінив свої функції. Кордон та лінія розмежування ООС ще невизначений час будуть визначним фактором впливу на стан і розвиток області. В умовах збройного конфлікту, що триває вже 8-й рік, на території Сходу України – Луганська та Донецька області, сформовано прикордонний регіон. Виникає новий тип регіональної класифікації, для якого притаманні обмежувальні функції – фіксація кордону, законодавче урегулювання режиму перетинання лінії розмежування тощо. Новітні функції регіональної типології необхідно враховувати у завданнях удосконалення територіально-планувальної організації Луганської області, та містобудівному розвитку [6, 14-16]. Вивчення кількісних і якісних змін головних факторів та чинників містобудівного розвитку становить актуальне завдання. З точки зору завдань сучасної планувальної організації Луганської та Донецької областей не можна не враховувати вплив функціонального потенціалу містобудівної форми [6, 7]. Причиною та умовою є збройний конфлікт та окупація частини територій областей. Військові конфлікти мають свою внутрішню логіку, також їм притаманна непередбачуваність. АТО/ООС тривала вже 8-й рік, і весь цей час адекватного прогнозу стосовно її завершення не в змозі були дати ані військові, ані політики [1, 3]. Системно статистичний аналіз дозволяє визначити основні параметри, що визначають функціональний розвиток території [10, 11]. Було визначено проблеми в планувально-організаційній структурі територій Луганської області на сучасному етапі. Проте, як ми бачимо, реальність перевершила найбільш негативні прогнози своїм масштабом та неадекватністю. Отже, аналіз для періоду АТО/ООС, що тривала з 2014 р., втратив сенс. З 24.02.2022 ситуація кардинально змінилася. Повномасштабна війна обнулила результати досліджень. Аналіз замінюється принципами на період, поки війна не скінчиться перемогою.

Частково полишаються проблеми та суспільний запит, що їх потрібно буде вирішувати за невизначених умов:

- першою та головною проблемою є безпека населення, про яку в умовах війни мова не ведеться;
- непрогнозованим полишається масштаб руйнувань населених місць та інфраструктури;
- непрогнозованим полишається рівень екологічної деградації території;
- політико-правова невизначеність ситуації триватиме невизначений термін;
- невизначеність терміну перехідного періоду;
- неможливо спрогнозувати, яким чином зміниться вагомий зовнішній фактор, що визначатиме функції регіону – тобто регіон або

залишаться прикордонним порубіжжям, або буде зоною можливого збройного протистояння тривалий час;

- містобудівна документація та територіальний розвиток будуть тривалий час неактуальними або відсутніми;
- Луганська область не має ресурсу для повномасштабного відновлення – ані адміністративного, ані технічного.

Фактично, проблема забезпечення майбутнього сталого розвитку Луганщини розпочне відлік з чистого аркушу. Якщо розглядати завдання раціональної трансформації території Луганської області, її просторово-планувальної структури, то необхідно визначити фактори впливу, обмеження, умови.

Обмеження визначають параметричні рамки об'єкта дослідження – а саме, територія Луганської області з зонуванням відповідно до потреб захисту держави.

Умови, що впливають на обмеження: стан збройного конфлікту; політичні обставини та умови завершення військових дій; адекватна адміністративно-територіальна реформа, що буде враховувати наслідки війни.

Зміна технологічного укладу робить недоцільним відновлення застарілого виробництва. Більш доцільним виглядає створення нових інноваційних потужностей і підприємств [7,17]. Отже, треба створювати умови для інвесторів та зберігати інфраструктуру. Сучасна економіка спирається в першу чергу на людський потенціал. Ресурсна база вже не є визначальною. Якщо буде збережена та відновлена територіальна інфраструктура – шляхи сполучення, ЛЕП, водні ресурси, трубопроводи, то за сприятливої державної політики підтримки регіону можливе відновлення промислового потенціалу.

Задачі дослідження, що спрямовані на визначення і аналіз суспільного попиту на параметри зміни міського середовища, спираються на узагальнення аналітичного опитування, що виводить перелік запитів громадян щодо характеристик міського середовища. Безпека. Житлова проблема. Робочі місця. Соціальне та медичне обслуговування. Громадський транспорт. Зовнішній транспорт. Комунальна сфера. Торгівля та ритейл. Рекреація, відпочинок, туризм.

На даному етапі вплив фактору часу можна проігнорувати. Містобудівний розвиток – це процес, а отже, доцільно визначати напрямки розвитку та планові орієнтири.

Первинну класифікацію доцільно здійснити за принципом дихотомії – первинною ознакою є контроль (політичний, адміністративний, зона дії законодавства України) над територією. Наразі ситуація застигла у точках бифуркації. Ситуація може перерости в некеровану кризу з катастрофічними наслідками, або можливо буде реалізована програма поетапного освоєння території регіону. Власне, для обох частин

Луганської області проблеми загалом схожі [3, 8]. Однак різниця полягає в масштабах, наявності ресурсів та потенціалі розвитку. По факту політичні чинники виявились визначальними. Повоєнне відновлення матиме загальнодержавний та регіональний характер. Очевидно, потрібний програмний підхід. Програмні цілі будуть визначені після завершення війни та оцінки масштабу наслідків. Базові потреби населення регіону загалом залишаються незмінними. Підлягають коригуванню терміни та способи реалізації запитів суспільства. В даний час неможливий адекватний аналіз і будь-які прогнози. Отже, необхідно правильно визначати принципи. Регіональну типологію України буде переглянуто з урахуванням того факту, що РФ є ворожою агресивною державою. Масштаб руйнувань населених пунктів такий, що згодом оцінювати можливості відновлення, мабуть, доведеться з оцінки територій. Ключову роль матиме стан інфраструктури – дороги, транспортні вузли та споруди, системи водопостачання, енергетика (підстанції, ЛЕП). Характер і масштаб відновлення окремих населених пунктів визначатиметься, крім сказаного, функціональним потенціалом, який проявиться у післявоєнний період. Наприклад, можливо по-новому вирішуватиметься питання вибору обласного центру. Україна ще не стикалася з проблемами подібного характеру. Масштаб і характер руйнувань населених місць залежить від тривалості бойових дій у ньому. Так само доведеться оцінювати, як будівельний зонінг корелюється з масштабом та характером руйнувань. Містечка та малі населені пункти з садибною забудовою, квартали садибно-забудови знищуються разом з інфраструктурою. Постає питання доцільності їх відбудови взагалі. Клас будівель із дерев'яними перекриттями балкового типу та дрібно розмірними елементами також отримують майже повну руйнацію. Поки що неможливо оцінити технічний стан уражених цегляних і бетонних каркасів будівель, особливо тих, що були охоплені масштабними пожежами. Опорний планувальний каркас територій в меншому ступеню потерпає від бойових дій, проте не виключено варіант зміни масштабів та напрямку комунікацій. З гіркого гумору, слід відзначити, що техногенна проблема Донбасу – терикони, краще за все інше перенесуть війну та збережуть себе для майбутнього. На цьому автори хотіли б зупинитися і взяти паузу у своєму дослідженні.

Висновки. Кількісні та якісні зміни основних територіальних та містобудівних параметрів Луганської області внаслідок зовнішніх факторів знов стали невизначеними. Невизначеність факторів зовнішнього впливу пропонується оцінити за допомогою багатфакторної класифікації з використанням покрової дихотомії. Містобудівні завдання та напрями перетворення територіальної структури та житлового середовища міст Луганської області мають враховувати зміну регіональної типології сходу України.

Відновлення регіону матиме за основу наслідки дії внутрішніх факторів збереження або руйнації (занепаду) територій, вони будуть визначені результатами війни. Визначними чинниками для завдань реконструкції територій та міст будуть макроекономічні завдання, стан навколишнього середовища, інфраструктурні об'єкти та транспортні зв'язки. Загальнополітичні чинники та зовнішні фактори впливу будуть визначними.

References

1. Centr Razumkova. Vijna na Donbasi: realii' i perspektyvy vreguljuvannja. URL: https://razumkov.org.ua/uploads/article/2019_Donbas.pdf. (data zvernennja: 07.05.2022).
2. Pro osoblyvosti derzhavnoi' polityky iz zabezpechennja derzhavnogo suverenitetu Ukrai'ny na tymchasovo okupovanyh terytorijah u Donec'kij ta Lugans'kij oblastjah : Zakon Ukrai'ny vid 18.01.2018 r. № 2268-VIII : stanom na 26 lystop. 2020 r. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/2268-19#Text> (data zvernennja: 07.05.2022).
3. Lugans'ka oblderzhadmin. Programa ekonomichnogo i social'nogo rozvytku Lugans'koi' oblasti na 2021 – 2023 roky. URL: <http://loga.gov.ua/sites/default/files/collections/201228936.pdf> (data zvernennja: 07.05.2022).
4. Transkordonne spivrobitnyctvo Ukrai'ny: stan, problemy, perspektyvy : monografija / I. V. Art'omov ta in. Uzhgorod : MPP «Grazhda», 2012. 520 s. URL: <https://www.uzhnu.edu.ua/en/infocentre/get/6059> (data zvernennja: 07.05.2022).
5. DBN B.2.2-12:2018 "Planuvannja i zabudova terytorij" : Derzh. bud. normy vid 23.04.2018 r. Kyi'v : Minregionbud Ukrai'ny, 2018. 179 s.
6. Belokon' Ju. N. Regyonal'noe planyrovanye (teoryja y praktyka). Kyev : Logos, 2003. 258 s.
7. Ositnjanko A. P. Planuvannja rozvytku mista : Monografija. Kyi'v : KNUBA, 2001. 460 s.
8. Centr ekonomichnoi' strategii'. Diagnostychnyj zvit Analiz problem ekonomichnogo rozvytku Donec'koi' ta Lugans'koi' oblastej. 2021. 120 s. URL: <https://ces.org.ua/wp-content/uploads/2021/04/UA2002-Diagnostic-report-on-the-current-state-of-Donbas-February-2021.pdf> (data zvernennja: 07.05.2022).
9. Jacenko V. A. Teoretycheskye y praktycheskye ydey novogo gradostroytel'stva Donbassa: yh proshloe, nastojashhee y budushhee // Mistobuduvannja ta terytorial'ne planuvannja : nauk.-tehn. zb. – Vyp. 21. – K. : KNUBA, 2005. – S. 359 – 366.
10. Jacenko V. A. Teoretycheskye y praktycheskye ydey novogo gradostroytel'stva Donbassa: yh proshloe, nastojashhee y budushhee. Mistobuduvannja ta terytorial'ne planuvannja. 2005. № 21. S. 359–366.
11. Pleshkanovs'ka A. M. Pytannja rekonstrukcii' v teorii' ta praktyci mistobuduvannja. Mistobuduvannja ta terytorial'ne planuvannja. 2012. № 42. S. 265–274.
12. Kljushnychenko Je. Je. Social'no ekonomichni osnovy planuvannja ta zabudovy mist. Kyi'v : UAA, NDPI mistobuduvannja, 1999. 345 s.
13. Pro kompleksnu rekonstrukciju kvartaliv (mikrorajoniv) zastarilogo zhytloвого fondu : Zakon Ukrai'ny vid 22.12.2006 r. № 525-V : stanom na 16 zhovt. 2020 r. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/525-16#Text> (data zvernennja: 08.05.2022).

13. Kljushnychenko Je. Je. Rekonstrukcija zhytlovoi' zabudovy. Kyi'v : KNUBA, 2020.
14. Sokolenko K.V., Chernyh O.A., Sokolenko V.M. Aktual'ni zavdannja transformacii' inzhenerno-planuval'noi' organizacii' terytorii' Lugans'koi' oblasti v suchasnyh umovah. Mistobuduvannja ta terytorial'ne planuvannja. 2021. № 77. S. 428–440. URL: <https://doi.org/10.32347/2076-815x.2021.77.428-440> (data zvernennja: 08.05.2022).
15. Sokolenko V. M., Podljevs'kyj O. E., Sokolenko K. V. Problemy ta peredumovy dopovnennja funkcij regional'noi' typologii' v suchasnyh umovah lugans'koi' oblasti. Visnyk Shidnoukrai'ns'kogo nacional'nogo universytetu im. V. Dalja. 2019. № 8(256). S. 74–80. URL: <http://visnik.snu.edu.ua/index.php/VisnikSNU/article/download/257/234> (data zvernennja: 23.02.2022).
16. Atlas administratyvno-terytorial'nogo ustroju Ukrai'ny / P. Ostapenko ta in. Kyi'v : M-vo rozvytku gromad ta terytorij Ukrai'ny, 2021. 441 s.
17. Mizhnarodnyj bank rekonstrukcii' ta rozvytku. Ukrai'na. Ogljad urbanizacii'. Vashyngton, 2015. 218 s. URL: <https://documents1.worldbank.org/curated/en/787061473856627628/pdf/ACS15060-REVISED-PUBLIC-UKRANIAN-ukr-web-text-cover.pdf> (data zvernennja: 07.05.2022).

Список використаної літератури

1. Центр Разумкова. Війна на Донбасі: реалії і перспективи врегулювання. URL: https://razumkov.org.ua/uploads/article/2019_Donbas.pdf. (дата звернення: 07.05.2022).
2. Про особливості державної політики із забезпечення державного суверенітету України на тимчасово окупованих територіях у Донецькій та Луганській областях : Закон України від 18.01.2018 р. № 2268-VIII : станом на 26 листоп. 2020 р. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/2268-19#Text> (дата звернення: 07.05.2022).
3. Луганська облдержадмін. Програма економічного і соціального розвитку Луганської області на 2021 – 2023 роки. URL: <http://loga.gov.ua/sites/default/files/collections/201228936.pdf> (дата звернення: 07.05.2022).
4. Транскордонне співробітництво України: стан, проблеми, перспективи : монографія / І. В. Артьомов та ін. Ужгород : МПП «Гражда», 2012. 520 с. URL: <https://www.uzhnu.edu.ua/en/infocentre/get/6059> (дата звернення: 07.05.2022).
5. ДБН Б.2.2-12:2018 "Планування і забудова територій": Держ. буд. норми від 23.04.2018 р. Київ : Мінрегіонбуд України, 2018. 179 с.
6. Белоконь Ю. Н. Региональное планирование (теория и практика). Киев : Логос, 2003. 258 с.
7. Осітнянко А. П. Планування розвитку міста : Монографія. Київ : КНУБА, 2001. 460 с.
8. Центр економічної стратегії. Діагностичний звіт Аналіз проблем економічного розвитку Донецької та Луганської областей. 2021. 120 с. URL: <https://ces.org.ua/wp-content/uploads/2021/04/UA2002-Diagnostic-report-on-the-current-state-of-Donbas-February-2021.pdf> (дата звернення: 07.05.2022).

9. Яценко В. А. Теоретические и практические идеи нового градостроительства Донбасса: их прошлое, настоящее и будущее // Містобудування та територіальне планування : наук.-техн. зб. – Вип. 21. – К. : КНУБА, 2005. – С. 359–366.

Яценко В. А. Теоретические и практические идеи нового градостроительства Донбасса: их прошлое, настоящее и будущее. Містобудування та територіальне планування. 2005. № 21. С. 359–366.

10. Плешкановська А. М. Питання реконструкції в теорії та практиці містобудування. Містобудування та територіальне планування. 2012. № 42. С. 265–274.

11. Ключниченко Є. Є. Соціально економічні основи планування та забудови міст. Київ : УАА, НДПІ містобудування, 1999. 345 с.

12. Про комплексну реконструкцію кварталів (мікрорайонів) застарілого житлового фонду : Закон України від 22.12.2006 р. № 525-V : станом на 16 жовт. 2020 р. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/525-16#Text> (дата звернення: 08.05.2022).

13. Ключниченко Є. Є. Реконструкція житлової забудови. Київ: КНУБА, 2020.

14. Соколенко К.В., Черних О.А., Соколенко В.М. Актуальні завдання трансформації інженерно-планувальної організації території Луганської області в сучасних умовах. Містобудування та територіальне планування. 2021. № 77. С. 428–440. URL: <https://doi.org/10.32347/2076-815x.2021.77.428-440> (дата звернення: 08.05.2022).

15. Соколенко В. М., Подлевський О. Е., Соколенко К. В. Проблеми та передумови доповнення функцій регіональної типології в сучасних умовах луганської області. Вісник Східноукраїнського національного університету ім. В. Даля. 2019. № 8(256). С. 74–80. URL: <http://visnik.snu.edu.ua/index.php/VisnikSNU/article/download/257/234> (дата звернення: 23.02.2022).

16. Атлас адміністративно-територіального устрою України / П. Остапенко та ін. Київ : М-во розвитку громад та територій України, 2021. 441 с.

17. Міжнародний банк реконструкції та розвитку. Україна. Огляд урбанізації. Вашингтон, 2015. 218 с. URL: <https://documents1.worldbank.org/curated/en/787061473856627628/pdf/ACS15060-REVISED-PUBLIC-UKRANIAN-ukr-web-text-cover.pdf> (дата звернення: 07.05.2022).

УДК 711.25: 69.059

[https://doi.org/10.36910/6775-2410-6208-2022-7\(17\)-20](https://doi.org/10.36910/6775-2410-6208-2022-7(17)-20)

**АНАЛІЗ МОЖЛИВОСТЕЙ ВИКОРИСТАННЯ ПОРУШЕНИХ
ТЕРИТОРІЙ ГІРНИЧОДОБУВНИХ ПІДПРИЄМСТВ**

**ANALYSIS OF POSSIBILITIES OF USING DISTURBED
TERRITORIES OF MINING ENTERPRISES**

**Філатьєва Е.М., Ph.D., Філатьєв М.В. д.т.н., проф.,
Соколенко В.М., к.т.н., доц., Соколенко К.В., аспірант
(Східноукраїнський національний університет ім. В. Даля,
м. Сєверодонецьк)**

**Filatieva E.M. Ph.D., Filatiev M.V., Sc.D. in Engineering, Associate
Professor, Sokolenko V. M., Ph.D. in Engineering, Sokolenko K.V.,
postgraduate student (Volodymyr Dahl East Ukrainian National
University, Sievierodonetsk)**

Розглянуто територіальний та екологічний вплив гірничодобувних підприємств, що розташовані у межах міської забудови. Наведені небезпечні властивості відходів гірничої промисловості. Наведений аналіз впливу шахтних териконів на екологічну та територіальну складову міста.

During the operation of an ordinary mine, landscape changes are formed, the mining and geological structure changes. Capital buildings, infrastructure facilities, the planning framework of cities have existed for a longer time. After coal mining, the difficulties and tasks of exploitation and development of territories affected by the production activities of mining companies change. The tendency to leave the solution of problems "for later" to conditional descendants is quite natural for any socio-economic conditions. This leads to the conclusion that measures for adaptation and reclamation of disturbed areas should be planned in a short time, at the stage of the enterprise closure process.

One of the urgent environmental problems of the coal-mining regions of Ukraine is the negative phenomena and processes that accompany the liquidation of mines and cuts. They are of a multi-vector nature and in one way or another are connected with the restoration of the natural levels of groundwater, arboreal during the period of operation. The main ones are flooding and swamping of the earth's surface, changes in the chemical composition of ground and surface waters, activation of the shift of the earth's surface above workings, deterioration of the physical and mechanical properties of rocks, as well as extrusion of mine gases. Changes in hydrogeological conditions give rise to the following negative changes in the geological environment and ecosystem: depletion of groundwater reserves; extraction of gravitational water from waterproof rocks; drainage of wells, streams and reservoirs; violation of the water-salt regime of rocks in the aeration zone; deterioration of the quality of ground and surface waters.

The territorial and ecological impact of mining enterprises located within urban areas are considered. The hazardous properties of mining waste are presented. The analysis of the influence of mine heaps on the ecological and territorial component of the city is given. It is proposed to determine the nature of the use of territories, the main indicators and parameters put forward as basic requirements, and to carry out adaptation and reclamation measures, taking into account potential zoning. It is advisable to determine the main functions. Sanitary and ecological gaps, zones, buffer zones, areas of exclusively industrial use. The possibility of using similar areas for defense and defense purposes is subject to additional assessment.

Ключові слова: місто, агломерація, урбоекологія, реконструкція міської забудови, реконструкція території.

Keywords: city, agglomeration, urban ecology, urban redevelopment, territory reconstruction.

Постановка проблеми. Досвід експлуатації та закриття вугледобувних підприємств показали принципову відмінність між процесами, що супроводжують їхню діяльність на цих стадіях у частині впливу на навколишнє середовище та стан земної поверхні. Особливої актуальності набуває це питання, якщо підприємства вугледобувної галузі розташоване у межах міста.

При експлуатації вугільної шахти у звичайному режимі основна увага приділяється створенню безпечних умов ведення підземних гірничих робіт, оскільки вони завжди відносяться до особливо небезпечних. Ці ризики пов'язані як з безпосередніми технологічними операціями, так і з необхідністю створення умов, прийнятних для життєдіяльності людини у підземних умовах. Ці умови забезпечуються, насамперед, провітрюванням гірничих виробок і відкачуванням води на земну поверхню. Ці вимушені технологічні процеси протягом тривалого часу експлуатації вугільного підприємства викликають зміни як у стані порід, які вмещають вугільні пласти, так і впливають на екологічну обстановку на прилеглих територіях. Слід відзначити, що у період функціонування вугільної шахти, витрати на дотримання та забезпечення безпечних умов є частиною собівартості. На етапі закриття та реструктуризації вугледобувного підприємства схема та джерело фінансування змінюється.

Відходи вугільної промисловості у вигляді териконів та відвалів вугільних шахт і збагачувальних фабрик відносяться до об'єктів підвищеної екологічної небезпеки, оскільки є не тільки джерелами постійного виділення шкідливих речовин, а й у ряді випадків причиною зсувів із переміщенням породної маси на значні відстані. Особливу увагу потрібно приділити териконам, розташованим у міському середовищі [1-3].

Аналіз відомих досліджень і публікацій. Історія розвитку Донбасу перевищує 200 років. З надр вилучено понад 21 млрд. т (до 12 км³)

гірських порід, зокрема, вугілля – близько 15 млрд. т (10 км^3). В результаті такої діяльності відбулися деформації з порушенням геомеханічної рівноваги та суцільності 600 км^3 масиву порід у зонах впливу гірничих робіт, а на 50% площі осідання денної поверхні склало в середньому $1,5 \div 2,0 \text{ м}$ з одночасним збільшенням проникності порід та посиленням взаємодії поверхневих і підземних вод [4].

Закриття вугільних шахт призводить до зміни співвідношення впливу зазначених факторів на стан екосистеми. Це пов'язано зі скороченням викидів в атмосферу пило- та газоподібних продуктів, підвищенням рівня підземних вод та їх впливом на стійкість порід у зонах погашених виробок, а також підтопленням прилеглих територій. Достовірне прогнозування можливих екологічних наслідків закриття шахт неможливе без встановлення вихідного стану екосистеми, що сформувалася внаслідок виробничої діяльності.

Мета статті. На меті ставиться дослідження впливу експлуатації вугледобувних підприємств та відходів вугільної промисловості на міське середовище. Проаналізувати вплив експлуатації вугледобувних підприємств, що розташовані у межах міста. Проаналізувати вплив відвалів та териконів вугільних шахт на міське середовище.

Виклад основного матеріалу. Зі стану питання випливає, що основними факторами, що визначають екологічну обстановку в результаті виробничої діяльності вугледобувних підприємств, є забруднення атмосфери пило- та газоподібними продуктами, зміна водного балансу в результаті змішування поверхневих і підземних вод, деформації земної поверхні з утворенням мульд зрушення.

До елементів біосфери, які не володіють здатністю до відтворення, відносяться ландшафт і надра [5]. Зміна ландшафту земної поверхні викликана вилученням вугільних пластів різної потужності та на різних глибинах. Зрушення земної поверхні під час очисних робіт викликає деформацію розташованих на вугленосних територіях різних споруд та об'єктів. При веденні гірничих робіт під обводненими породами, водоймами та водотоками деформування гірських порід призводить до утворення водопровідних (наскрізних) тріщин у гірському масиві, проривів води в гірничі виробки та їх затоплення. Осідання земної поверхні під впливом підземних гірничих розробок може спричинити затоплення осілих ділянок земної поверхні ґрунтовими, атмосферними та паводковими водами.

Гідрогеологічний прогноз – це наукове обґрунтування передбачення гідрогеологічних процесів, явищ та їх змін, що відбуваються під впливом природних і штучних факторів [5]. Можливі довгострокові та короткострокові гідрогеологічні прогнози. Для оцінки ступеня зміни природного режиму підземних вод у межах родовища чи басейну важливі

довгострокові гідрогеологічні прогнози, оскільки у природі зміни протікають тривалий час.

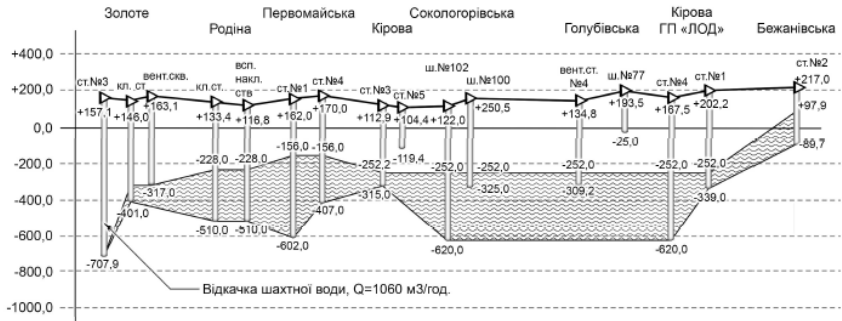
Активність водообміну підземних вод становить близько 330 років, а всієї гідросфери – близько 2800 років. У водоймищах водообмін відбувається через 7 років, ґрунтової вологи – 1 рік. Найбільш швидко водообмін відбувається у річках (близько 11 діб) та парах атмосфери – до 10 діб [6].

Для оцінки зміни режиму водообміну в межах гірничого відводу при експлуатації шахти важливе значення мають короткострокові прогнози, оскільки зміни відбуваються за рухом фронту гірничих робіт [5].

В умовах освоєння вугільного родовища Донбасу протягом понад двохсот років утворилися штучні локально-регіональні депресійні поверхні підземних вод. Фактичне їхнє регіональне розташування можна оцінити за рівнем води у виробках окремих шахт, гідравлічно пов'язаних між собою. Для даного випадку тривалість ведення гірничих робіт у Донбасі (більше 200 років) можна порівняти з тривалістю природного водообміну підземних вод (330 років). Це є однією з причин, через яку процес відновлення рівня підземних вод у регіонах неможливо віднести до короткострокових. Крім цього, необхідно враховувати розташування депресійних поверхонь, що відносяться до шахтних полів як експлуатованих, так і шахт, що затоплюються. Робота водовідливних установок експлуатованих шахт або шахт, які перебувають на сухій консервації, перешкоджає підняттю рівня підземних вод у межах сусідніх полів шахт, що закриваються. При цьому значно збільшується навантаження на водовідливи, що розташовані на глибших горизонтах (рис. 1).

Водовідливний комплекс шахти «Золоте» є єдиним у регіоні першотравневої групи шахт. За його допомогою відводиться води близько 1500 м³ на годину, що забезпечує практично горизонтальне розташування рівня води в стовбурах інших шахт, що закриваються. Виняток становлять гірничі виробки найвіддаленішої шахти «Бежанівська». Де, очевидно, у стовбурі № 2 вже досягнуто природного рівня підземних вод, який знаходиться на глибині близько 109 м. При повному затопленні решти шахт регіону положення верхнього рівня підземних вод для них буде розташовуватися приблизно на такій самій глибині – близько 109 м.

Деякий інший характер рівня підземних вод спостерігається при затопленні шахт північного та південного крил Центрального району Донбасу, де відпрацьовувалися крутопадаючі вугільні пласти (рис. 2 та 3).



Умовні позначення

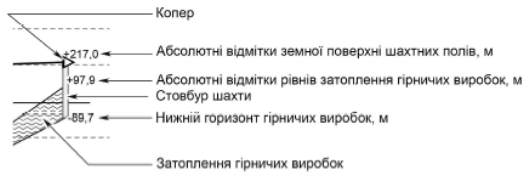
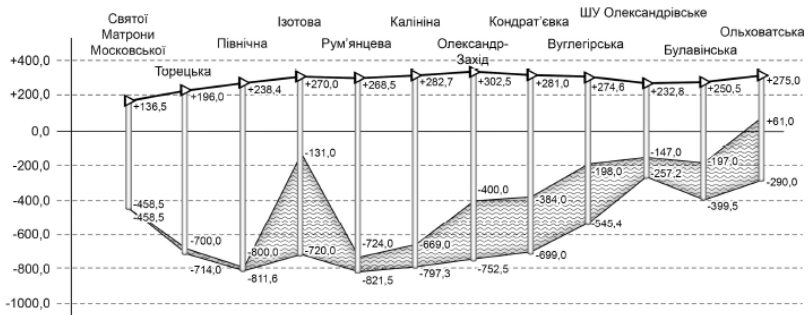


Рис. 1 – Рівень затоплення першотравневої групи вугільних шахт Луганської області станом на 1 листопада 2017 року [7].



Умовні позначення

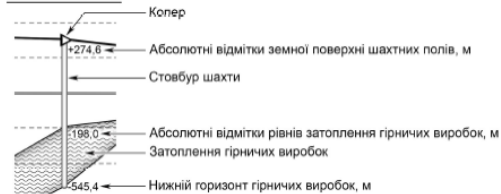


Рис. 2 – Рівень затоплення шахт північного крила Центрального району Донбасу станом на 1 листопада 2017 року [7].

Форма депресійної поверхні навколо пунктів відкачування води змінюється від кола (в однорідних за фільтраційними властивостями породах) до сильно витягнутого овалу (у геологічних порушеннях та неоднорідних за фільтраційними властивостями породах). Лінія перетину депресійної поверхні з вертикальною площиною називається депресійною кривою, яка в однорідних породах має плавні контури [6]. Такий характер депресійної кривої характерний для першотравневої групи шахт (рис. 1).

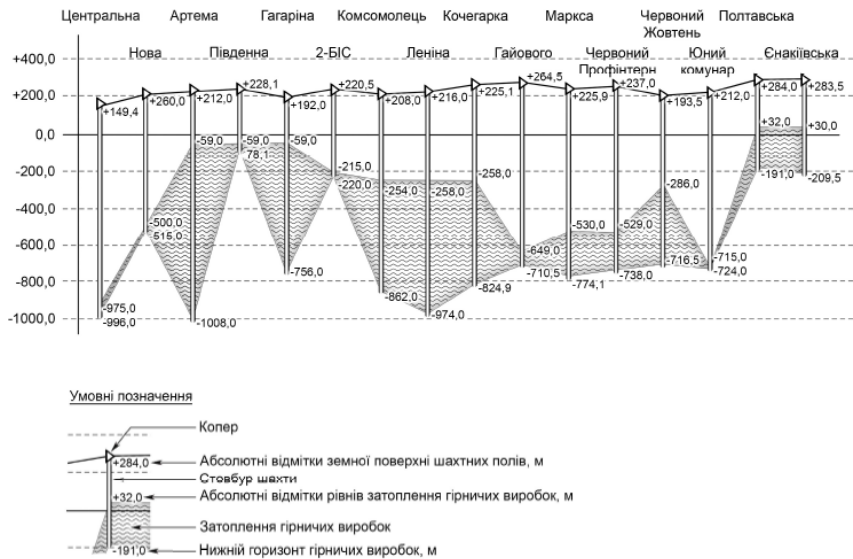


Рис. 3 – Рівень затоплення шахт південного крила Центрального району Донбасу станом на 1 листопада 2017 року [7]

До основних видів зрушень і деформацій, які небезпечні для підроблених споруд і природних об'єктів, слід віднести: осідання (вертикальні переміщення земної поверхні), нахили (різниця вертикальних переміщень сусідніх точок, віднесені до відстані між ними), кривизна (ставлення різниці нахилів сусідніх ділянок до відстані між ними), горизонтальні зрушення (переміщення земної поверхні в горизонтальній площині), горизонтальні деформації (відношення різниці горизонтальних зрушень сусідніх точок до відстані між ними). Нахили земної поверхні викликають нестійкість високих об'єктів і призводять до неприпустимої зміни профілю залізничних колій тощо. Кривизна та горизонтальні деформації земної поверхні можуть спричинити пошкодження будівель, споруд, промислових комплексів, трубопроводів, гірничих виробок та

інших об'єктів. Для вертикальних шахтних стволів та гірничих виробок небезпечні стискання або розтягування порід по вертикалі.

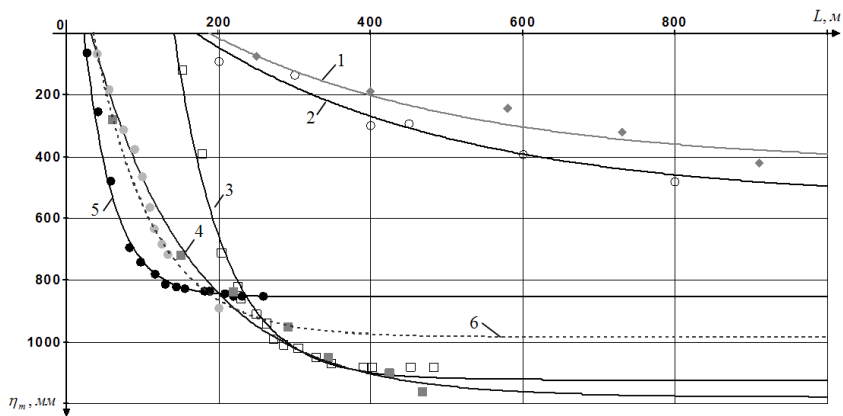
При сучасному розвитку науки і техніки практично неможливо за допомогою приладів зафіксувати початок зсуву земної поверхні під час її підробки вугільними пластами. З цієї причини це питання досі залишається практично невивченим. Найбільш перспективним напрямом прогнозу параметрів зсуву земної поверхні є математичне моделювання. Згідно з відомими математичними моделями [8], що описують процеси тільки над очисним вибоєм, що рухається, не представляється можливим встановити початок зрушення земної поверхні при розвитку очисних робіт для конкретних гірничотехнічних і гірничо-геологічних умов. Актуальність питання пов'язана з розробкою рекомендацій з ліквідації або зведення до мінімуму негативного впливу на земну поверхню відпрацювання вугільних пластів.

Встановлено [9], що в одних гірничо-геологічних умовах максимальне осідання земної поверхні η_m практично функціонально залежить від ступеня розвитку очисних робіт. Це свідчить про те, що в гірничо-геологічних умовах однієї шахти головним фактором, що впливає на параметри зсуву земної поверхні, є розміри очисної виробки (виробленого простору). Інші фактори: потужність розроблюваного пласта (m), глибина ведення гірничих робіт (H) і міцнісні властивості підроблених порід (f) – залишаються постійними або змінюються незначно. Підтвердженням викладеного є графіки залежності $\eta_m = \varphi(L)$ (рис. 4).

Ці залежності для шахт, що розглядаються, добре описуються експоненціальними рівняннями. Кореляційні відносини перебували у діапазоні 0,940÷0,998. Точки перетину графіків рівнянь із віссю абсцис ($\eta_m = 0$) відповідають початку зсуву земної поверхні. Для кожної з шахт визначили лінійний розмір очисної виробки (L_n), який відповідає початку зсуву земної поверхні.

Знання процесів утворення мульди зсуву земної поверхні та пов'язаного з ними ущільнення підроблених порід після виїмання вугільних пластів необхідне для вирішення завдань захисту об'єктів на земній поверхні, а також визначення ступеня відновлення вихідного природного стану підробленого масиву. Дослідження у цій галузі [13, 15] були проведені в період часу, що безпосередньо був пов'язаний із веденням гірничих робіт. Відповідно до чинних нормативних документів тривалість процесів зсуву порід визначається з урахуванням глибини ведення гірничих робіт та швидкості просування очисного вибою. Спостереження припинялися, коли сумарні осідання земної поверхні протягом шести місяців не перевищували 10% максимальних, але не більше ніж 30 мм. З іншого боку, відомо, що тривалість зсуву порід над зупиненим очисним вибоєм може у кілька разів перевищувати період

їхнього зсуву над рухомим. Процеси ущільнення порід під плоским дном мульди зрушення земної поверхні раніше практично не вивчалися. Враховуючи викладене, розгляд теоретичних основ утворення плоского дна мульди зрушення земної поверхні та експериментальна їх перевірка є актуальними не лише для вугільної промисловості, а й для інших галузей господарської діяльності.



◆, ○, □, ■, ●, ● – експериментальні дані максимальних осідань земної поверхні відповідно в умовах шахт ім. М.В.Фрунзе (пласт h_8) [10] ім. П.Л. Войкова (пласт k_5^1) [11], однією з польських шахт [12] ім. Г.Г. Капустина (пласт m_3^H) [13], «Степова» (пласт C_8) [14], «Ювілейна», пласт C'_6 [20]; 1, 2, 3, 4, 5, 6 – емпіричні залежності максимальних осідань земної поверхні.

Рис. 4 – Графік залежності максимального осідання земної поверхні (η_m) при зміні одного з геометричних розмірів виробленого простору (L) для різних гірничо-геологічних та гірничотехнічних умов.

Експериментальні дані свідчать про те, що в багатьох випадках процеси зсуву порід та земної поверхні після припинення очисних робіт далекі від свого завершення і не відповідають припущенням, прийнятим у нормативному документі [16]. Найбільш близьким співвідношення η_m/m до одиниці (0,95) спостерігалось при виїмці пласта низького ступеня метаморфізму (марка Г) та незначної глибини ведення гірничих робіт (110 м). Таке значення η_m/m , в умовах шахти «Степова» [14], вказує на високий ступінь ущільнення порід, але не свідчить про відновлення земної поверхні, так як в аналогічних умовах утворюються тріщини шириною до 0,8 м та глибиною понад 4,0 м [17].

До головних факторів, що впливають на закінчення процесів зсуву порід та їх ущільнення після припинення очисних робіт, імовірно можна віднести глибину ведення гірничих робіт, властивості міцності порід і потужність пласта, що розробляється.

Протягом останніх кількох десятиків років на Донбасі вугільні пласти, як правило, відпрацьовували у низхідному порядку, тому у багатьох випадках земна поверхня до ведення очисних робіт на глибших горизонтах неодноразово підроблялася. На вищерозташованих горизонтах вугілля видобували 50 - 80 років тому.

Вплив наступних підробок через тривалий період на зміни параметрів мульд зрушення земної поверхні не вивчався. Досі відсутні експериментальні та теоретичні дослідження, на підставі яких можна було б оцінити спільну дію відпрацювання кількох пластів у різний час на стан земної поверхні. Знання розглянутих питань необхідне для розробки заходів із захисту об'єктів на земній поверхні й у гірничих виробках, а також вирішення інших завдань, що пов'язані з проявом гірського тиску і зрушенням підроблених порід.

Вплив наслідків відпрацювання вугільних пластів на земну поверхню оцінюється нині лише з позицій охорони споруд та об'єктів від руйнування чи забезпечення їх функціонування у нормальному режимі [16]. Можливість відновлення природного стану земної поверхні (повного чи часткового) нормативними документами не розглядається. Знання цього питання необхідне для вирішення екологічних проблем. Наприклад, відновлення водного балансу поблизу земної поверхні та пов'язаного з ним рослинного світу.

В експертному середовищі існує положення, що термін функціонування пересічної шахти становить 100 років. За цей час формуються зміни ландшафту, зокрема й терикони, змінюється гірничо-геологічна структура. Капітальні будівлі, об'єкти інфраструктури, планувальний каркас міст існує більш тривалий час. Після видобутку вугілля змінюються проблеми та завдання експлуатації та розвитку територій, порушених виробничою діяльністю гірничо-видобувних підприємств. Схильність залишати вирішення проблем «на потім», умовним нащадкам, є цілком природною для будь-яких соціально-економічних умов. Це доводить до висновку, що заходи з адаптації та рекультивациі порушених територій мають плануватись у стислий термін, на етапі процесу закриття підприємства.

Висновки. Встановлено, що фактична тривалість процесів зрушення порід, що підробляються, і земної поверхні значно перевищує рекомендовану нормативним документом. При відпрацюванні антрацитового пласта вона становила понад десять років. Максимальне осідання земної поверхні відбувається над серединою виробленого простору раніше відпрацьованих лав, що свідчить про активізацію зсуву

порід через 40-50 років після їхньої первинної підробки. Після повторної підробки максимальне осідання земної поверхні переважно залежить від розмірів виробленого простору раніше відпрацьованих пластів. Процеси, що визначають екологічні наслідки при експлуатації вугільних шахт та після їх закриття, суттєво відрізняються між собою. При експлуатації вугільних шахт цей вплив визначається відкачуванням води з гірничих виробок і її дренаванням з порід, які підробляються, що призводить до зниження рівня підземних вод. Ліквідація шахт викликає відновлення цього рівня у змінених умовах стану підроблених порід та рельєфу земної поверхні.

Закриття та ліквідація шахт викликали порушення стану екосистеми у регіонах. Після закриття сусідніх шахт, які ще експлуатуються в даний час, екологічні наслідки непередбачувані. Для достовірного прогнозу екологічних наслідків необхідно встановити остаточні параметри зсуву земної поверхні після припинення всіх гірничих робіт у регіоні.

Порушені території становлять проблему у майбутньому. Виникає системна проблема у координатах час/територія. Програма рекультивациі території працюватиме на визначений період. Масштаб фінансування, планові показники витрат можуть бути визначені кваліметричною оцінкою рівня деградації (порушення) територій, обсягом заходів, що їх буде визначено для відтворення якостей території. Вважаємо за доцільне враховувати майбутній характер використання порушених територій вуглевидобувних підприємств у містобудівному форматі. Відновити повноту первинного ресурсного потенціалу ділянок територій, а тим більше – природно-геологічного масиву ділянки неможливо та й недоцільно. Бажано визначити характер використання територій, головні показники та параметри, що висуваються у якості базових вимог, та здійснювати адаптаційно-рекультивацийні заходи з урахуванням потенційного зонування. На етапі зонування територій, визначення оцінок впливу на навколишнє середовище подібний аналіз є актуальним. Визначити доцільно базові функції. Санітарно - екологічні розриви, зони, охоронні зони, ділянки виключно промислового використання. Підлягають додатковій оцінці можливості використання подібних ділянок для цілей оборони та захисту.

References

1. Kanin V.A. Kompleksnoe reshenie jekologicheskikh problem v krupnyh promyshlennyh regionah / V.A Kanin, M.G. Tirkel', I.N. Kiselev // Ugol' Ukrainy. – 2004. - № 9. – s. 44-46
2. Majdukov G.L. Ugol'noe proizvodstvo kak istochnik tehnogenного vozdejstvija na zemnuju atmosferu / G.L. Majdukov // Ugol' Ukrainy. – 2008. - №2. – s. 27-34.

3. Zubov A.R. Vlijanie jerozionnyh processov na poverhnosti terrikonov na okružhajushhuju sredu / A.R. Zubov, L.G. Zubova, S.G. Vorob'ev i [dr.] // Ugol' Ukrainy. – 2009. – №7. – s. 28-30.

4. Sljadnev V.A., Jakovlev E.A., Jurkova N.A. Shahtnye vody kak faktor tehnogennoho riska izmenenija sostojanija geologicheskoy sredy // Ugol' Ukrainy. – 2007. – №3. – S. 43-46.

5. Gornaja jenciklopedija. Tom 2. Geosfera-Kenaj. M.: Izd-vo «Sovetskaja jenciklopedija» - 1986. – 575s.

6. Gornaja jenciklopedija. Tom 1. Aa – Lava – Geosistema. Moskva : Izd-vo «Sovetskaja jenciklopedija». 1984. 560s.

7. Shherbak V.V., Arsenjuk S.Ju. Analiz zagroz i ekologichnih rizikov, shho vinikajut' vnaslidok urazhennja girnichodobuvnih pidpriemstv v zoni lokal'nogo vijs'kovogo konfliktu na Shodi Ukraïni. Zbirnik naukovih prac' Donbas'kogo derzhavnogo tehničnogo universitetu. 2018. Vip. 1 (47). S.40-46.

8. Kulibaba S. B., Rozhko M. D., Hohlov B. V. Harakter razvitija processa sdvizhenija zemnoj poverhnosti vo vremeni nad dvizhushhimsja ochistnym zaboem. Naukovi prac'i UkrNDMI NAN Ukraïni. 2010. № 7. S. 40–54.

9. Filat'ev M.V. Vlijanie stepeni razvitija ochistnyh rabot na maksimal'noe osedanie zemnoj poverhnosti. Ugol' Ukrainy. 2011. № 4. S.12-16.

10. Averin G.A., Kir'jazev N.N., Docenko O.G. Vlijanie sloistosti na osedanie zemnoj poverhnosti. Ugol' Ukrainy. 2010. № 10. S. 34-35.

11. Borzyh A.F., Gorovoj E.P. Vlijanie shiriny vyrabotannogo prostranstva na aktivizaciju sdvizhenija uglenosnogo massiva. Ugol' Ukrainy. 1999. № 9. S. 26-30.

12. Babenko E. V. Nastrojka modeli dlja modelirovanija sejsmicheskikh sobytij tehnogennoj prirody. Problemi girs'kogo tisku, DonNTU. 2009. № 17. S. 67–93.

13. Iofis M. A., Shmeljov A. I. Inzhenernaja geomehanika pri podzemnyh razrabotkah. Moskva : Nedra, 1985. 248 s.

14. Larchenko V. G. Vlijanie podzemnoj razrabotki ugol'nyh plastov na sostojanie zemnoj poverhnosti. Vestnik MANJeB. 1998. № 4 (12). S. 39–41.

15. Sdvizhenie gornyh porod pri podzemnoj razrabotke ugol'nyh i slancevyh mestorozhdenij / A. G. Akimov i dr. Moskva : Nedra, 1970. 224 s.

16. GSTU 101.001592226.001 – 2003. Pravila pidrobki budivel', sporud i prirodnih ob'ektiv pri vidobuvanni vugillja pidzemnim sposobom. Vid. Ofic. Kiïv, 2004. 128 s.

17. Larchenko V. G. Fakty, podtverzhdashhie teoriju mehanizma sdvizhenija tolshhi gornyh porod. Vestnik MANJeB. 2002. T. 7, № 7 (55). S. 70–73.

Список використаної літератури

1. Канин В.А. Комплексное решение экологических проблем в крупных промышленных регионах / В.А Канин, М.Г. Тиркель, И.Н. Киселев // Уголь Украины. – 2004. - № 9. – с. 44-46
2. Майдуков Г.Л. Угольное производство как источник техногенного воздействия на земную атмосферу / Г.Л. Майдуков // Уголь Украины. 2008. №2. С. 27-34.
3. Зубов А.Р. Влияние эрозионных процессов на поверхности терриконов на окружающую среду / А.Р. Зубов, Л.Г. Зубова, С.Г. Воробьев и [др.] // Уголь Украины. 2009. №7. С. 28-30.
4. Сляднев В.А., Яковлев Е.А., Юркова Н.А. Шахтные воды как фактор техногенного риска изменения состояния геологической среды // Уголь Украины. 2007. №3. С. 43-46.
5. Горная энциклопедия. Том 2. Геосфера-Кенай. М.: Изд-во «Советская энциклопедия», 1986. 575с.
6. Горная энциклопедия. Том 1. Аа – Лава. Геосистема. Москва : Изд-во «Советская энциклопедия». 1984. 560с.
7. Щербак В.В., Арсенюк С.Ю. Аналіз загроз і екологічних ризиків, що виникають внаслідок ураження гірничодобувних підприємств в зоні локального військового конфлікту на Сході України. Збірник наукових праць Донбаського державного технічного університету. 2018. Вип. 1 (47). С. 40-46.
8. Кулибаба С. Б., Рожко М. Д., Хохлов Б. В. Характер развития процесса сдвижения земной поверхности во времени над движущимся очистным забоем. Наукові праці УкрНДМІ НАН України. 2010. № 7. С. 40–54.
9. Филатьев М.В. Влияние степени развития очистных работ на максимальное оседание земной поверхности. Уголь Украины. 2011. № 4. С.12-16.
10. Аверин Г.А., Кирьязов Н.Н., Доценко О.Г. Влияние слоистости на оседание земной поверхности. Уголь Украины. 2010. № 10. С. 34-35.
11. Борзых А.Ф., Горовой Е.П. Влияние ширины выработанного пространства на активизацию сдвижения угленосного массива. Уголь Украины, 1999. № 9. С. 26-30.
12. Бабенко Е. В. Настройка модели для моделирования сейсмических событий техногенной природы. Проблеми гірського тиску, ДонНТУ. 2009. № 17. С. 67–93.
13. Иофис М. А., Шмелёв А. И. Инженерная геомеханика при подземных разработках. Москва : Недра, 1985. 248 с.
14. Ларченко В. Г. Влияние подземной разработки угольных пластов на состояние земной поверхности. Вестник МАНЭБ. 1998. № 4 (12). С. 39–41.
15. Сдвижение горных пород при подземной разработке угольных и сланцевых месторождений / А. Г. Акимов и др. Москва : Недра, 1970. 224 с.
16. ГСТУ 101.001592226.001 – 2003. Правила підробки будівель, споруд і природних об'єктів при видобуванні вугілля підземним способом. Вид. офіц. Київ, 2004. 128 с.
17. Ларченко В. Г. Факты, подтверждающие теорию механизма сдвижения толщ горных пород. Вестник МАНЭБ. 2002. Т. 7, № 7 (55). С. 70–73.

**ВПЛИВ ЗНАКОЗМІННИХ НАВАНТАЖЕНЬ НА АДГЕЗИЮ
МОДИФІКОВАНОГО ГІПСОЦЕМЕНТНОГО БЕТОНУ ДО
БУДІВЕЛЬНИХ КОНСТРУКЦІЙ**

**INFLUENCE OF LOADS THAT CHANGE THE SIGN ON THE
ADHESION OF MODIFIED GYPSUM CEMENT CONCRETE TO
BUILDING STRUCTURES**

**Шишкін О.О., доктор технічних наук, професор, Криворізький
технічний університет, Кривий Ріг, Україна**

**Shyshkin O.O. Doctor of Tech. Sciences, Prof. National University of
Kryvyi Rih, Ukraine**

Наведено результати дослідження міцності зчеплення гіпсоцементного бетону, модифікованого сполуками заліза, в умовах дії знакозмінних навантажень та знакозмінних температур. Встановлено, що зменшення впливу знакозмінних навантажень і температури навколишнього середовища на властивості системи «ремонтний бетон – ремонтвана конструкція» можливе введенням у ремонтний бетон комплексної добавки, що є дисперсною системою «мінеральний комплекс на основі заліза – поліспирт», що сприяє покращенню якості ремонтних робіт за рахунок підвищення міцності контакту між елементами системи.

The results of the study of the adhesion strength of gypsum-cement concrete modified with iron compounds under the conditions of alternating loads and alternating temperatures are presented. Prolonged operation of buildings and structures of most Ukrainian enterprises necessitates the restoration of their operational properties. Particularly difficult is the question of restoring the performance properties of concrete structures exposed to water or other liquids. Another important factor influencing the final properties of the protective coating, especially the strength of its adhesion to the concrete of the structure being repaired, is the alternating loads arising in this coating due to technological equipment or explosive work in adjacent quarries observed in conditions of the Kryvyi Rih iron ore basin. The analysis of literature data showed that in the conditions of alternating mechanical influences it is most rational to use systems based on gypsum-cement binder, modified with a complex additive, which is a system "mineral complex based on iron - polyalcohol". the adhesion strength of gypsum cement stone and, consequently, concrete with the base, increasing the time of exposure to negative temperatures and the application of alternating load leads to a decrease in adhesion strength of repair concrete to the surface of the building under repair, reducing the impact of alternating loads and ambient temperature on system properties "Repair concrete - repaired structure" is possible by introducing into the repair concrete complex additives, which is a dispersed system "mineral complex based on iron - polyalcohol", which improves the quality of repair work by increasing the strength of contact between system, with the optimal ratio between the components of the complex additive mineral complex based on iron: "polyalcohol" is 10: 0.5 with its total content of 20% by weight

of the system Keywords: gypsum cement concrete, strength, iron compounds, polyalcohol.

Ключові слова: гіпсоцементний бетон, міцність, сполуки заліза, поліспирт

Key words: gypsum cement concrete, strength, iron compounds, polyalcohol

Вступ. Тривала експлуатація будівель і споруд більшості підприємств України зумовлює необхідність виконання робіт з відновлення їх експлуатаційних властивостей. Особливо складним є питання відновлення експлуатаційних властивостей бетонів конструкцій, що піддаються дії води чи інших рідин.

При цьому важливе значення має напрямок руху цих рідин через тіло конструкції. Так, є значна кількість бетонних і залізобетонних конструкцій, які виконують захисну або огорожувальну роль, наприклад, конструкції підземних споруд (тунелів, гірничих виробок, метрополітенів та інших, подібних до них).

Через тіло цих конструкцій, при втраті щільності бетоном в процесі експлуатації, починає просочуватися волога усередину споруди. Ліквідація даного явища питання досить складне і досі не вирішене остаточно.

Складність ремонту таких конструкцій полягає в тому, що застосовуване технічне рішення – омонолічування або покриття водонепроникними складами поверхні конструкцій, які влаштовуються з боку руху рідини в даному випадку виконати практично неможливо. Оскільки це пов'язано з необхідністю забезпечення доступу до зовнішньої поверхні конструкції, а, отже, до розтину її. При неглибокому закладанні зазначених конструкцій це ще можна виконати, хоча призводить до значних витрат праці, але при глибокому закладанні (гірські вироблення, метрополітени, тунелі під будівлями) це виконати неможливо. Створення захисного шару на внутрішній поверхні таких конструкцій ускладнюється необхідністю обмеження його товщини через обмеження можливості зменшення робочого простору споруди. Тому захисні покриття для таких конструкцій повинні мати досить високу водонепроникність, для можливості мінімізації їх товщини, та високу міцність зчеплення з бетоном конструкцій.

Ще одним важливим фактором, що впливає на остаточні властивості захисного покриття, особливо на міцність його зчеплення з бетоном конструкції, яку ремонтують, є знакозміні навантаження, що виникають у цьому покритті внаслідок роботи технологічного обладнання або вибухових робіт у прилеглих кар'єрах, що спостерігається в умовах Криворізького залізорудного басейну.

Однак вплив знакозмінних механічних впливів при формуванні властивостей зазначених захисних покриттів на їх кінцеві властивості, зокрема, на міцність зчеплення із бетоном конструкцій, що ремонтуються,

одного з найважливіших показників якості ремонтних складів, в даний час практично не вивчений.

У зв'язку з цим проблема управління властивостями водозахисних покриттів бетону в умовах формування цих властивостей за дії знакозмінних механічних впливів, у тому числі сейсмічних, є в даний час актуальною.

Аналіз останніх досліджень. Бетон являє собою дисперсну систему «цемент – комплексна добавка – заповнювач – вода», яка, згідно з визначенням [1], являє собою систему «матриця – поверхня розділу – заповнювач», в якій матрицею є дисперсна система «цемент – комплексна добавка – вода».

У процесі твердіння системи утворюється композиційний матеріал, пружні деформації якого, за дії зовнішнього навантаження, переважають над пластичними. Основною властивістю цього композиційного матеріалу, згідно з [1-4] і з урахуванням мети досліджень даної роботи, є міцність зчеплення з основою, з якою цей конгломерат контактував при твердінні.

Властивості бетону починають формуватися безпосередньо з змішування його компонентів. Тому адгезія цементного тіста до основи, на яку воно наноситься, є одним із факторів, що визначають кінцеву якість ремонтних бетонів та розчинів.

Відомі дослідження міцності зчеплення цементного тіста та інших захисних покриттів із бетонною поверхнею [4-7] виконувались в умовах відсутності дії тиску рідини з тіла бетону. Дані про вплив на міцність зчеплення цементного тіста та інших захисних покриттів з бетонною поверхнею знакозмінних механічних впливів практично відсутні, що й зумовило необхідність виконання таких досліджень.

Аналіз літературних даних [4, 8, 9] показав, що в умовах дії знакозмінних механічних впливів найраціональніше використовувати системи на основі гіпсоцементного в'язучого, модифіковані комплексною добавкою, що являє собою систему «мінеральний комплекс на основі заліза – поліспирт» з додатковим введенням в систему коригувальних добавок. Це дозволить забезпечити високу адгезію даної системи до матеріалів будівельних конструкцій за рахунок переведення значної кількості води в бетоні у зв'язаний стан та створення значної кількості контактів між компонентами цього бетону та матеріалом будівельної конструкції, а також утворенням продуктів взаємодії між іонами заліза та поліспирту, що підвищують щільність бетону.

Методика досліджень. У цій групі експериментів досліджувалась міцність зчеплення модифікованого гіпсоцементного тіста з бетонною поверхнею залежно від часу застосування та тривалості знакозмінних навантажень.

Параметрами варіювання даної системи були: вміст в гіпсоцементному тісті поліспирту, залізовмісних речовин, час початку

застосування і тривалість дії знакозмінних механічних впливів. Вихідним параметром – міцність зчеплення гіпсоцементного тіста з бетонною основою.

Цементне тісто готувалося на Криворізькому портландцементі, в який вводили гіпс і комплексну добавку, що є системою «мінеральний комплекс на основі заліза – поліспирт - коригувальна добавка» - добавка «ЖПС». Вміст мінерального комплексу на основі заліза в гіпсоцементному тісті, згідно з даними [4], завжди було прийнято 19% від маси системи. Приготовлене гіпсоцементне тісто наносили на поверхню спеціально підготовлених бетонних зразків-основи, отриману систему піддавали дії знакозмінних температурних та механічних впливів.

Температуру гіпсоцементного тіста змінювали від $(18 \pm 2)^\circ\text{C}$ до $(-10 \pm 2)^\circ\text{C}$ шляхом переміщення системи «гіпсоцементне тісто – основа» в морозильну камеру. Знакозмінні механічні навантаження створювали додаванням вібраційних навантажень частотою 3000 кол/хв. амплітудою 0,5 мм.

Результати досліджень. В умовах експерименту введення в гіпсоцементне тісто поліспирту (ПС) призводить до збільшення його адгезії (табл.1) при мінусовій температурі системи.

Таблиця 1

Адгезія цементного тіста до бетону при температурі системи $(-10 \pm 2)^\circ\text{C}$

Вміст ПС у цементі, %	Величина адгезії, кПа, при вмісті коригуючої добавки в цементі, %			
	0	0,2	0,4	0,6
0	0,20	0,28	0,34	0,36
0,1	1,69	1,92	2,15	1,85
0,15	2,38	2,45	2,49	2,35
0,20	1,61	2,12	2,12	1,86

Введення в гіпсоцементне тісто комплексної добавки «ЖПС» в умовах експерименту призводить до зниження впливу знакозмінних механічних впливів на міцність його зчеплення з бетонною основою (табл. 2).

В умовах заморожування гіпсоцементного тіста, після його нанесення на поверхню конструкції, збільшення часу до початку застосування знакозмінного навантаження до деякої величини призводить до збільшення міцності зчеплення гіпсоцементного тесту з основою (табл. 3).

Таблиця 2

Міцність зчеплення цементного тіста з основою

Наявність добавки	Міцність зчеплення, кПа, час до початку застосування знакозмінного навантаження, мін						
	0	10	30	50	70	100	150
без добавки	1,1	1,22	1,26	1,3	1,22	1,18	0,5
хлористий кальцій 1%	1,32	1,35	1,37	1,34	1,20	1,10	0,6
Силікат натрію 1%	1,36	1,38	1,35	1,31	1,20	1,00	0,5
ЖПС 20%	1,85	1,98	2,17	2,43	2,36	2,35	2,2 6

Примітка. Температура середовища твердіння (18 ± 2)°C.

Таблиця 3

Міцність зчеплення гіпсоцементного тіста з основою при заморожуванні системи

Умови заморожування	Міцність зчеплення, кПа, час до початку застосування знакозмінного навантаження, хв.							
	0	10	30	50	70	100	150	200
без заморожування	1,85	1,98	2,17	2,43	2,36	2,35	2,26	2,1
Заморожування 20 хв.	-	-	1,78	1,91	2,6	2,2	1,93	1,85
Те саме 40 хв.	-	-	-	1,62	1,86	1,94	1,9	1,73
Те саме 60 хв.	-	-	-	-	1,76	1,93	2,4	1,87

Примітка. Заморожування до температури (-10 ± 2)°C.

При цьому міцність зчеплення гіпсоцементного тіста з основою збільшується за дії знакозмінного навантаження, якщо початок її застосування не перевищує часу початку тужавіння гіпсоцементного в'язучого (табл. 4).

Збільшення часу дії знакозмінних навантажень у всіх випадках знижує міцність зчеплення гіпсоцементного тіста з основою (табл. 5), якщо час початку їх застосування перевищує час початку тужавіння гіпсоцементного в'язучого. І збільшує, якщо воно не перевищує часу початку тужавіння гіпсоцементного в'язучого.

Якщо знакозмінні навантаження впливають на систему «ремонтний бетон – конструкція, що ремонтується» після придбання ремонтним

бетоном певної міцності зчеплення з основою, їх вплив на властивості системи значно знижуються (табл.6).

Таблиця 4
Оптимальний час застосування знакозмінного навантаження

Умови твердіння	Час початку схоплювання гіпсоцементного в'язучого мін	Оптимальний час застосування знакозмінного навантаження, хв.
Температура (18±2)°С	30	22
Заморожування 20 хв.	50	42
Заморожування 40 хв.	100	95
Заморожування 60 хв.	120	110

Таблиця 5

Вплив часу застосування знакозмінного навантаження на міцність зчеплення гіпсоцементного тіста з основою

Час початку додатка знакозмінного навантаження, хв.	Міцність зчеплення, кПа, при додаванні знакозмінного навантаження, хв.				
	0	20	40	60	120
0	1,85	1,98	2,24	2,3	2,27
20	1,85	1,92	1,98	2,10	2,12
70	1,45	1,43	1,40	1,36	1,33
120	1,30	1,34	1,30	1,24	1,22

Примітка. Початок тужавіння гіпсоцементного в'язучого – 30 хв.

При цьому, чим вища міцність зчеплення бетону з основою в момент застосування знакозмінних навантажень, тим менший їх вплив.

Таким чином, вплив знакозмінних навантажень і температури навколишнього середовища на систему «ремонтний бетон – конструкція, що ремонтується» викликає зниження міцності зчеплення гіпсоцементного тіста ремонтного бетону з поверхнею будівельних конструкцій. При цьому

значну роль відіграє час початку застосування і тривалість цих впливів на цю систему.

Таблиця 6

Вплив початкової міцності гіпсоцементного каменю та часу застосування знакозмінного навантаження на міцність його зчеплення з бетонною поверхнею будівельної конструкції

Міцність цементного каменю, МПа	Міцність зчеплення, МПа, при тривалості дії знакозмінного навантаження, с.				
	0	20	40	60	120
0,5	2,1	1,9	1,86	1,82	1,75
1,2	2,4	2,3	2,26	2,23	2,21
1,8	2,5	2,45	2,42	2,40	2,38

Примітка. Температура твердіння $(-5 \pm 2) ^\circ\text{C}$

Висновки

Проведені дослідження дозволяють зробити висновок про те, що:

1. Знакозмінні температури та навантаження мають значний вплив на міцність зчеплення гіпсоцементного каменю, а, отже, і бетону з основою.

2. Збільшення часу впливу мінусових температур і застосування знакозмінного навантаження призводить до зменшення міцності зчеплення ремонтного бетону з поверхнею будівельної конструкції, що ремонтується.

3. Зменшення впливу знакозмінних навантажень та температури навколишнього середовища на властивості системи «ремонтний бетон – ремонтвана конструкція» можливе введенням у ремонтний бетон комплексної добавки, що є дисперсною системою «мінеральний комплекс на основі заліза – поліспирт», що сприяє покращенню якості ремонтних робіт за рахунок підвищення міцності контакту між елементами системи.

4. При цьому оптимальне співвідношення між компонентами комплексної добавки мінеральний комплекс на основі заліза: «поліспирт» становить 10:0,5 при її загальному вмісті в кількості 20% від маси системи.

References

1. Kompozytsiini budivelni materialy ta konstruksii znyzhenoi materialomistkosti / V.I. Solomatov, V.M. Vyrovyi, V.S. Dorofieiev, A.V. Sirenko. - K.: Budivelnyk, 1991. - 144 s.
2. Kuznietsova T.V., Kudriashov I.V., Tymashev V.V. Fizychna khimiia viazhuchykh materialiv. M: Vyshch.shk., 1989. -384 s.
3. Bazhenov Yu.M. Tekhnolohiia betonu. M.: Vyshch.shk., 1978.-449 s.
4. Shyshkin A.A. Spetsialni betony dlia posyleniia budivelnykh konstruksii, sheho ekspluatuiutsia za umov dii ahresyvnykh seredovyshch. Dys..... dokt. tekhn. nauk. Kryvyi Rih, 2003.-356 s.
5. Rudenko N.M. Tiazhki betony z vysokymy ekspluatatsiinymy vlastyvoistamy. - Dnipropetrovsk: Art-Pres, 1999. - 260 s.
6. Pshinko O.M. Pidvodne betonuvannia ta remont shtuchnykh sporud: Monohrafiia. - Dnipropetrovsk: Porohy, 2000. - 411 s.
7. Dyspersno-armovani pokryttia budivelnykh konstruksii ta tekhnolohichnoho obladnannia / V.I. Bolshakov, V.M. Derevianko - Dnipropetrovsk: Gaudeamus,2001. - 231 s.
8. Myronov S.A. Teoriia ta metody zymovoho betonuvannia. - M.: Budvydav, 1975. - 700 s.
9. Sizov V.M. Budivelni roboty u zymovykh umovakh. - M.: Hostsroiizdat, 1951. - 512 s.

Список використаних джерел

1. Композиційні будівельні матеріали та конструкції зниженої матеріаломісткості / В.І. Соломатов, В.М. Вировий, В.С. Дорофеев, А.В. Сіренко. - К.: Будівельник, 1991. - 144 с.
2. Кузнецова Т.В., Кудряшов І.В., Тимашев В.В. Фізична хімія в'язучих матеріалів. М: Виц.шк., 1989. -384 с.
3. Баженов Ю.М. Технологія бетону. М.: Виц.шк., 1978.-449 с.
4. Шишкін А.А. Спеціальні бетони для посилення будівельних конструкцій, що експлуатуються за умов дії агресивних середовищ. Дис..... докт. техн. наук. Кривий Ріг, 2003.-356 с.
5. Руденко Н.М. Тяжкі бетони з високими експлуатаційними властивостями. - Дніпропетровськ: Арт-Прес, 1999. - 260 с.
6. Пішнінко О.М. Підводне бетонування та ремонт штучних споруд: Монографія. - Дніпропетровськ: Пороги, 2000. - 411 с.
7. Дисперсно-армовані покриття будівельних конструкцій та технологічного обладнання / В.І. Большаков, В.М. Дерев'яно - Дніпропетровськ: Gaudeamus,2001. - 231 с.
8. Миронов С.А. Теорія та методи зимового бетонування. - М.: Будвидав, 1975. - 700 с.
9. Сізов В.М. Будівельні роботи у зимових умовах. - М.: Гостройиздат, 1951. - 512 с.

**ВПЛИВ ВИДУ ЦЕМЕНТУ НА ВЛАСТИВОСТІ ПІНОБЕТОНУ,
МОДИФІКОВАНОГО КОМПЛЕКСНОЮ ДОБАВКОЮ**

**INFLUENCE OF TYPE OF CEMENT ON PROPERTIES OF FOAM
CONCRETE MODIFIED WITH A COMPLEX ADDITIVE**

**Шишкіна О. О., канд. техн. наук, доц., Криворізький
національний університет, Україна**

**Shishkina OO, candidate tech. Sciences, Associate Professor Kryvyi Rih
National University, Ukraine**

На даний час відомо, що одним з ефективних матеріалів для підтримання необхідного теплового режиму будівель і споруд є пористі бетони, зокрема пінобетон. Встановлено, що модифікація пінобетону комплексною мінерально-органічною добавкою, яка складається з поліспирту та залізовміщуючого компоненту, дозволить отримати пінобетони з підвищеною міцністю та зниженою усадкою. Проведені дослідження дозволяють зробити висновок про те, що вид (мінералогічний склад) цементу впливає на властивості пінобетонної суміші. Компоненти комплексної добавки (поліспирт та залізовміщуючий компонент) призводять до додаткової активізації доменного гранульованого шлаку, який входить до складу цементу.

It is currently known that one of the effective materials for maintaining the required thermal regime of buildings and structures is porous concrete, in particular foam concrete. It is established that the modification of foam concrete with a complex mineral-organic additive, which consists of polyalcohol and a component containing iron, will allow to obtain foam concrete with increased strength and reduced shrinkage. It is determined that the properties of foam concrete are influenced by the mineralogical composition of cement. At present, most cement companies produce cements that contain various additives. First of all, the most common additive is blast furnace granulated slag. Therefore, the influence of this - the main additive on the properties of foam concrete mixture and foam concrete when using a complex mineral-organic additive was first determined. The aim of the experiments was to study the effect of cement on the properties of foam concrete modified with a complex additive, in particular on density. The results of experiments showed that the content of blast furnace granulated slag in cement significantly affects the density of the obtained cellular cement stone. Increasing the content of blast furnace granulated slag in the cement leads to a decrease in the density of the system with the same content of complex additives and the composition of the cement paste. When using Portland cement PC II / B-Sh-400, which contains blast furnace granulated slag, increasing the content of polyalcohol to a certain limit, regardless of the content of aggregate leads to an increase in the density of concrete. Further increase in the amount of polyalcohol leads to a decrease in the density of

concrete. What can be explained by the fact that polyalcohol physically binds a significant amount of water that does not evaporate when drying concrete.

The conducted researches allow to draw a conclusion that the type (mineralogical composition) of cement influences properties of foam concrete mix. The components of the complex additive (polyalcohol and iron-containing component) lead to additional activation of the blast furnace granular slag, which is part of the cement.

Ключові слова: пінобетон, густина, доменний гранульований шлак, поліспирт

Key words: foam concrete, density, blast furnace granulated slag, polyalcohol

Вступ

Витрати теплової енергії на збереження комфортного середовища для роботи та відпочинку людей залежать у першу чергу від термоізоляції зовнішніх огорожуючих конструкцій.

На даний час відомо, що одним з ефективних матеріалів для підтримання необхідного теплового режиму будівель та споруд є пористі бетони, зокрема пінобетон.

Аналіз останніх досліджень

За результатами аналізу літературних даних [1-5], було встановлено, що модифікація пінобетону комплексною мінерально-органічною добавкою, яка складається з поліспирту та залізовміщуючого компоненту, дозволить отримати пінобетони з підвищеною міцністю та зниженою усадкою.

Також було встановлено [6], що введення до складу пінобетону комплексної мінерально-органічної добавки призводить до незначного збільшення густини пінобетону, внаслідок взаємодії компонентів комплексної добавки з продуктами гідратації цементу.

Відомо [7,8], що на властивості пінобетону впливає мінералогічний склад цементу. На даний час цементні підприємства здебільшого випускають цементи, які містять різноманітні добавки. У першу чергу найбільш поширеною добавкою є доменний гранульований шлак. Тому спершу був визначений вплив цієї основної добавки на властивості пінобетонної суміші та пінобетону при застосуванні комплексної мінерально-органічної добавки.

Метою проведених експериментів було дослідження впливу виду цементу на властивості пінобетону, модифікованого комплексною добавкою, зокрема на густину.

Методика досліджень

Як основні матеріали, в дослідженнях були використані портландцементи, що виробляються заводами України, відрізняються

вмістом добавки та властивостями (табл. 1) і відповідають вимогам нормативних документів [9].

Таблиця 1

Основні характеристики цементів

Вид цементу	Марка цементу	Кількість доменного гранульованого шлаку в складі цементу	Підприємство – виробник
ПЦ I-500	500	0	ПАТ «Донцемент»
ПЦ II/A-III-400	400	19	ПрАТ Кривий Ріг цемент
ПЦ II/Б-III-400	400	34	ПрАТ Кривий Ріг цемент
ШПЦ III/A/400	400	64	ПАТ Дніпроцемент

Як наповнювачі для бетону застосовували: дніпровський річковий пісок і гірські породи Криворізького залізорудного родовища та відходи збагачення залізних руд Криворізьких гірничо-збагачувальних комбінатів. У якості залізозмішуючого компоненту комплексної добавки використовували сполуки заліза – FeO, Fe₂O₃, відходи збагачення залізних руд і гірські породи Криворізького залізорудного родовища. Як компонент комплексної добавки прийняті поліспирти: пропандіол 1,2; пропандіол 1,3; бутандіол 1,3; пропанол-1,2,3; 2,3 диметилбутандіол-2,3; етандіол 1,2; триметилпропан. Для утворення піни застосовували піноутворювач ПО-2.

В першій групі експериментів визначався вплив складу цементу на властивості (густину) пінобетону. При проведенні дослідів застосовували цементи, основні відмінні характеристики яких наведено в табл. 1. При виготовленні пінобетону заповнювачі не застосовували, щоб виключити їхній вплив на результати експерименту.

Результати досліджень

Результати дослідів (табл. 2) показали, що вміст доменного гранульованого шлаку в цементі значно впливає на густину отриманого ніздрюватого цементного каменю.

Збільшення вмісту доменного гранульованого шлаку в цементі призводить до зменшення густини системи при однаковому вмісті комплексної добавки та складу цементного тіста.

Таблиця 2

Щільність нiздрюватого цементного каменю

Вид цементу	Густина цементного каменю, кг/м ³
ПЦ II/A-III-400	612
ПЦ II/B-III-400	590
ШПЦ III/A/400	562

Порівняння впливу виду цементу на кратність бетонної суміші показало (рис. 1), що вид цементу впливає на величину кратності бетонної суміші. Але не однозначно.

Найбільшу кратність в межах незначного вмісту поліспирту має бетонна суміш, яка виготовлена з цементу без добавок (ПЦ I-500).

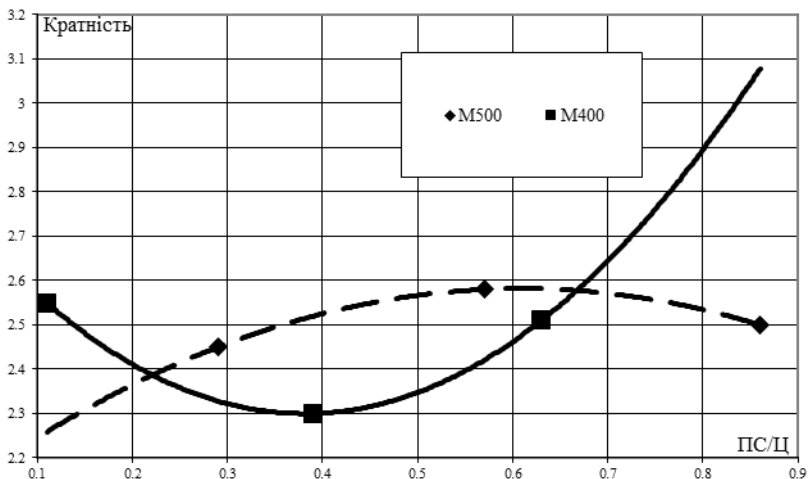


Рис. 1. Вплив виду цементу на кратність бетонної суміші (Заповнювач/Цемент=0,71; ПС – поліспирт; М500 - ПЦ I-500; М400 - ПЦ II/B-III-400)

При збільшеному вмісті поліспирту кратність бетонної суміші більша при використанні портландцементу з добавкою доменного шлаку (ПЦ II/B-III-400).

Визначене явище можна пояснити тим, що частинки доменного гранульованого шлаку в цьому випадку здійснюють вплив на кратність бетонної суміші, аналогічний частинкам заповнювача. Тобто, сумарний

вміст заповнювача і активної мінеральної добавки в цементі повинен відповідати певній оптимальній величині.

В наступній групі експериментів досліджувався вплив виду цементу на щільність бетону.

При застосуванні портландцементу ПЦ II/Б-Ш-400, який має у своєму складі доменний гранульований шлак, збільшення вмісту поліспирту до певної межі, незалежно від вмісту заповнювача, приводить до збільшення щільності бетону. Подальше збільшення кількості поліспирту призводить до зменшення густини бетону (рис. 2). Це можна пояснити тим, що поліспирт фізично зв'язує значну кількість води, яка не випаровується при сушінні бетону.

Застосування портландцементу без добавок (ПЦ I-500) змінює взаємозв'язок між вмістом поліспирту та густиною бетону (рис. 3).

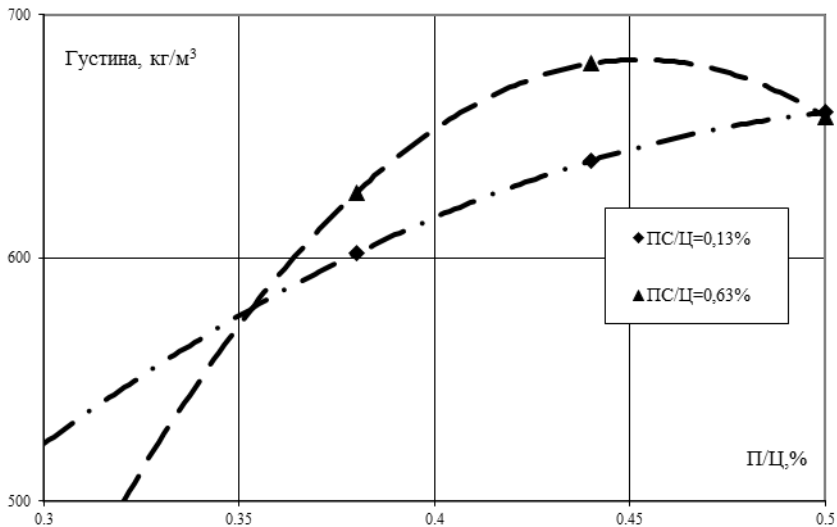


Рис. 2. Залежність щільності пінобетону від вмісту заповнювача (цемент ПЦ II/Б-Ш-400; В/Ц=0,6; ПС – поліспирт; П – заповнювач)

У цьому випадку існує оптимальний вміст поліспирту, при якому густина бетону найменша. Це показує, що доменний гранульований шлак, що міститься в портландцементі, здійснює негативний вплив на величину густини бетону.

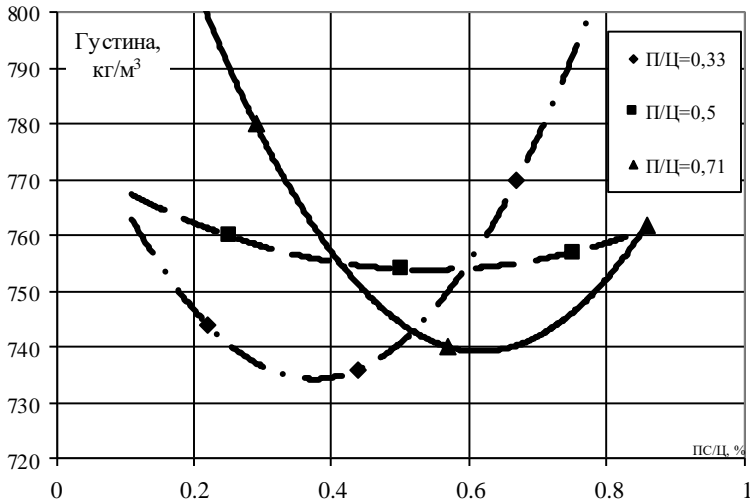


Рис. 3. Вплив поліспирту на густину бетону (цемент ПЦ І-500; В/Ц=0,6; ПС – поліспирт; П – заповнювач)

Висновки

Проведені дослідження дозволяють зробити висновок про те, що вид (мінералогічний склад) цементу впливає на властивості пінобетонної суміші. Компоненти комплексної добавки (поліспирт та залізовміщуючий компонент) призводять до додаткової активізації доменного гранульованого шлаку, який входить до складу цементу. Окрім цього, доменний гранульований шлак виконує роль наповнювача системи, що також сприяє отриманню відповідних результатів.

References

1. Merkyn A. P. Nepochnoe chudo / A. P. Merkyn, P. R. Traube. – М.: Khymyia, 1983. – 224 s.
2. Merkyn A. P. Osobennosti struktury y osnovy tekhnolohyy polucheniya effektivnykh penobetonnykh materialov / A. P. Merkyn, T. E. Kobyzde // Stroytelnye materialy. – 1988. – № 3. – S. 16–18.
3. Rebynder P. A. O mekhanicheskoi prochnosti porystykh dispersnykh tel / P. A. Rebynder, E.D. Shchukyn, L.Ia. Marholys // Dokl. AN SSSR. – 1964. – T.154, № 3. – S. 695-698.
4. Rozenfeld L. M. Yssledovanye penokarbonata / Rozenfeld L. M. – М.: Hos. yzdatelstvo lyteratury po stroytelstvu y arkhitekture, 1955. – 55 s. – (TsNYPS, Nauchnoe soobshchentye; vyp. 23).

5. Yudovych B. E. Penobeton: novoe v osnovakh tekhnolohyy / B. E. Yudovych, S. A. Zubekhyh // Tekhnyka y tekhnolohiya sylykatov. – 2007. – Т. I. – С. 14–24.
6. Shyshkina O.O Vlastyvosti i tekhnolohiia pinobetonu, modyfikovanoho oksydami zaliza: dys...kand. tekhn. nauk: 05.23.05 / Shyshkina Olexsandra Olexsandrivna. – Kryvyi Rih, 2010. – 180 s.
7. Pashchenko A. A. Viazhushchye materyaly / A. A. Pashchenko, V. P. Serbyn, E. A. Starchevskaia – Kyev: Yzdatelskoe obedynenye «Vyshcha shkola», 1975. – 444 s.
8. Shyshkyn A.A. Spetsyalnye betony dlia usyleniya stroytelnykh konstruksyi ekspluatyruuiushchyhsia v uslovyiakh deistviya ahressyvnykh sred: dys. dokt. tekhn. nauk: 05.23.05 / Shyshkyn Aleksandr Alekseevych. – Kryvoi Roh, 2003. – 336 s.
9. Tsementy zahalnobudivelnoho pryznachennia. Tekhnichni umovy: DSTU B V.2.7-46-96. – [Chynnyi vid 1997-01-01]. – K.: Derzhkommistobuduvannia Ukrainy, 1996. – 16 s.

Список використаних джерел

1. Меркин А. П. Непрочное чудо / А. П. Меркин, П. Р. Траубе. – М.: Химия, 1983. – 224 с.
2. Меркин А. П. Особенности структуры и основы технологии получения эффективных пенобетонных материалов / А. П. Меркин, Т. Е. Кобидзе // Строительные материалы. – 1988. – № 3. – С. 16–18.
3. Ребиндер П. А. О механической прочности пористых дисперсных тел / П. А. Ребиндер, Е.Д. Щукин, Л.Я. Марголис // Докл. АН СССР. – 1964. – Т.154, № 3. – С. 695-698.
4. Розенфельд Л. М. Исследование пенокарбоната / Розенфельд Л. М. – М.: Гос. издательство литературы по строительству и архитектуре, 1955. – 55 с. – (ЦНИПС, Научное сообщение; вып. 23).
5. Юдович Б. Э. Пенобетон: новое в основах технологии / Б. Э. Юдович, С. А. Зубехин // Техника и технология силикатов. – 2007. – Т. I. – С. 14–24.
6. Шишкіна О.О Властивості і технологія пінобетону, модифікованого оксидами заліза: дис...канд. техн. наук: 05.23.05 / Шишкіна Олександра Олександрівна. – Кривий Ріг, 2010. – 180 с.
7. Пашенко А. А. Вяжущие материалы / А. А. Пашенко, В. П. Сербин, Е. А. Старчевская – Киев: Издательское объединение «Вища школа», 1975. – 444 с.
8. Шишкин А.А. Специальные бетоны для усиления строительных конструкций, эксплуатирующихся в условиях действия агрессивных сред: дис. докт. техн. наук: 05.23.05 / Шишкин Александр Алексеевич. – Кривой Рог, 2003. – 336 с.
9. Цементи загальнобудівельного призначення. Технічні умови: DSTU B V.2.7-46-96. – [Чинний від 1997-01-01]. – К.: Держкоммістобудування України, 1996. – 16 с.

З М І С Т

Биків Н.З. Ясній В.П.	Застосування сплавів із пам'яттю форми у будівельних конструкціях.....	3
Гомон Св.Св., Гомон Св. Ст., Матвіюк О.В., Верешко О.В., Чорномаз Н.Ю.	Застосування деревини в умовах агресивних середовищ.....	15
Гомон П.С., Поліщук М.В.	Напружено-деформований стан балок із деревини з комбінованим армуванням на різних рівнях завантажень.....	23
Добровольська О.Г.	Оцінка ефективності використання пластмасових трубопроводів для реконструкції міських водопровідних мереж.....	31
Drapalyuk M.	Cechy ochrony konkretnej komunikacji, które eksploatowane w trudnych warunkach hydrogeologicznych.....	40
Заякін Д.К., Мікуліч О.А.	Побудова моделей для прогнозування міцності пінобетонів.....	46
Карюк А.М.	Районування характеристик температури повітря для оцінювання теплової надійності огорджувальних конструкцій.....	53
Кислюк Д.Я., Чапюк О.С., Самчук В.П., Залета А.О., Савенко В.І.	Дослідження роботи двотаврових дерев'яних балок із OSB стінкою.....	61
Коломійчук Г.П., Майстренко О.Ф., Коломійчук В.Г.	Аналіз досліджень із підвищення стійкості до вибухів залізобетонних плит.....	68

Мельник Ю.А., Верешко О.В., Войтюк А.І., Мельник О.В., Гомон С.С.	Терапевтичні ландшафти в системі публічного простору закладів вищої освіти як засіб розкриття творчого потенціалу здобувачів..... 78
Мудрий І.Б.	До питання зачистки дна буронабивних паль..... 84
Парфентьева І.О., Мартинюк Ю.М.	Реставрація зовнішнього вигляду піярського костелу святого Іоанна Євангеліста в смт. Любешів Волинської області за іконографічними джерелами 1916 та 1969 років... 91
Пасічник Р.В., Ротко С.В., Герасим Д.В.	Розрахунок існуючої конструкції залізобетонного каркасу спортивної зали Волинської обласної організації ФСТ «Динамо» з метою перевірки можливості влаштування вишки базової станції мобільного зв'язку..... 97
Пахолук О.А., Самчук В.П., Чапюк О.С.	Вплив нехарактерних навантажень на конструкції будівель..... 103
Пиріг Я.І., Галкін А.В., Оксак С.В., Бугаєвський С.О.	Модифікація бітуму вторинним полімером..... 111
Ротко С.В., Ужегова О.А., Пасічник Р.В., Гонтар В.О.	Технічне обстеження конструкцій техпідпілля адмінбудівлі у м. Луцьку..... 120
Ротко С.В., Шваб'юк В.В., Ужегова О.А.	Уточнений розрахунок на вимушені коливання круглої трансверсально ізотропної плити..... 131
Синій С.В., Крантовська О.М., Ксьоншкевич Л.М., Орешкович Магіа, Сунак П.О.	Обґрунтування споруд огороження території Луцького зоопарку з урахуванням аналізу історії урбанізації ландшафту..... 138

Соколенко К.В., Соколенко В.М.	Фактори впливу на характер змін регіональної типології східних областей України.....146
Філатьєва Е.М., Філатьєв М.В., Соколенко В.М., Соколенко К.В.	Аналіз можливостей використання порушених територій гірничодобувних підприємств.....155
Шишкін О.О.	Вплив знакозмінних навантажень на адгезію модифікованого гіпсоцементного бетону до будівельних конструкцій..... 167
Шишкіна О.О.	Вплив виду цементу на властивості пінобетону, модифікованого комплексною добавкою.....175

Наукове видання

Сучасні технології та методи розрахунків у будівництві

Збірник наукових праць

Випуск 17

Верстка С.В. Ротко

Редактор В.І. Шваб'юк

Підписано до друку 26 травня 2022 р. Формат 60 × 84 1/16.
Папір офсетний

Гарнітура Times New Roman. Друк трафаретний.
Умовн.друк.арк. 11,6. Тираж 100 пр. Зам. №___

Відділ іміджу та промоції Луцького національного технічного
університету, 43018, м. Луцьк, вул. Львівська, 75

Друк – відділ іміджу та промоції Луцького НТУ