

УДК 666.972.1

DOI: 10.30838/J.BPSACEA.2312.280223.44.917

## ЛЕГКІ БЕТОНИ НА ОСНОВІ ВІДХОДІВ ВИРОБНИЦТВА ПОЛІПРОПІЛЕНОВОЇ ТАРИ

КОТОВ М. А.<sup>1\*</sup>, канд. техн. наук, доц.,  
КОНОПЛЯНИК О. Ю.<sup>2</sup>, канд. техн. наук, доц.,  
ВОЛЧУК В. М.<sup>3</sup>, докт. техн. наук, проф.,  
ІЛЬЄВ І. М.<sup>4</sup>, канд. техн. наук, доц.

<sup>1\*</sup> Кафедра залізобетонних та кам'яних конструкцій, Придніпровська державна академія будівництва та архітектури, вул. Архітектора Олега Петрова, 24-а, 49005, Дніпро, Україна, e-mail: [38kotokoto38@gmail.com](mailto:38kotokoto38@gmail.com), ORCID ID: 0000-0003-0233-0663;

<sup>2</sup> Кафедра залізобетонних і кам'яних конструкцій, Придніпровська державна академія будівництва та архітектури, вул. Архітектора Олега Петрова, 24-а, 49005, Дніпро, Україна, тел. + 38 (067) 76-22-455, e-mail: [konoplianiik.alexander@gmail.com](mailto:konoplianiik.alexander@gmail.com), ORCID ID: 0000-0003-4664-8809

<sup>3</sup> Кафедра матеріалознавства та обробки матеріалів, Придніпровська державна академія будівництва та архітектури, вул. Архітектора Олега Петрова, 24-а, 49005, Дніпро, Україна, тел. +38 (0562) 47-39-56, e-mail: [volchuky@gmail.com](mailto:volchuky@gmail.com), ORCID ID: 0000-0001-7199-192X

<sup>4</sup> Кафедра прикладної математики та інформаційних технологій, Придніпровська державна академія будівництва та архітектури, вул. Архітектора Олега Петрова, 24-а, 49005, Дніпро, Україна, тел. + 38 (096) 76-96-99, e-mail: [ilyev.ilya@gmail.com](mailto:ilyev.ilya@gmail.com), ORCID ID: 0000-0002-9515-7734

**Анотація.** *Постановка проблеми.* Наразі в будівельній галузі актуальним стало використання вторинних відходів, які утворюються в результаті життєдіяльності людини. Один із напрямів реалізації цієї тематики – отримання легких конструктивно-теплоізоляційних бетонів шляхом використання легких заповнювачів – відходів виробництв. *Аналіз сучасного стану* розроблення і дослідження легких бетонів показав, що на основі відходів виробництв можуть бути отримані конструктивно-теплоізоляційні вироби з легкого бетону, які будуть значно знижувати навантаження на будівельні конструкції та підвищувати їх тепло- та звукоізоляційну здатність. Окрім цього, застосування як заповнювача відходів виробництв знизить собівартість будівельних виробів. *Аналіз публікацій* показав, що легкі конструктивно-теплоізоляційні бетони можуть бути отримані на легких заповнювачах, таких як гранульований шлак, склобій, відхід переробки гумових покришок та ін. Відоме використання граншлаку об'ємною вагою 880 кг/м<sup>3</sup> для отримання легких конструкційно-теплоізоляційних бетонів об'ємною вагою 1 720–1 780 кг/м<sup>3</sup> та межею міцності на стиск 7,3–8,2 МПа [1]. Однак наразі у зв'язку зі скороченням металургійного виробництва, обсяги отримання таких шлаків значно зменшились. В літературних джерелах є відомості про використання склобою об'ємною вагою 700 кг/м<sup>3</sup> для виробництва легких бетонів [2]. Однак широке застосування склобою стримується через економічну складову, а саме вторинна переробка склобою більш ефективна для виготовлення нових виробів на основі скла. Гумову крихту об'ємною вагою 300 кг/м<sup>3</sup> фракцією 1–6 мм, яка утворюється в результаті переробки гумових автомобільних покришок, використовують у будівництві [3]. Введення у склад бетонної суміші гумової крихти знижує масу конструкції та поліпшує її деформативні, тепло- та звукоізоляційні характеристики. Аналіз технології виробництва поліпропіленової тари [4] показав, що в процесі її виробництва утворюються заповнювач та фібра. Заповнювач являє собою гранули блакитного кольору або прозорі, більшість із яких трикутної та прямокутної форми. Водопоглинання поліпропіленового заповнювача становить 8,6 %, а його щільність 1,06 г/см<sup>3</sup>. Вказане джерело інформації дає відомості щодо застосування тільки поліпропіленової фібри, а відомості про застосування заповнювача відсутні. *Мета роботи* – визначення можливості використання легкого заповнювача – відходу виробництва поліпропіленової тари для отримання складів легких конструктивно-теплоізоляційних бетонів; дослідження міцнісних характеристик цих бетонів залежно від кількості заповнювача в суміші. *Висновки.* Розглянуто можливість використання в складах легких конструктивно-теплоізоляційних бетонів як заповнювача відходів виробництва поліпропіленової тари. Дослідження міцності на стиск та об'ємної ваги бетонів показали можливість отримання легких бетонів об'ємною вагою від 1 395 до 1 805 кг/м<sup>3</sup> при досягненні марки бетону по міцності на стиск від М25 до М250. На нашу думку, за конструктивно-теплоізоляційними характеристиками найбільш прийнятним для зведення будівель і споруд буде використання легких бетонів об'ємною вагою від 1 625 до 1 805 кг/м<sup>3</sup> і маркою за міцністю на стиск, яка дорівнює М100–М250. В подальшому треба провести випробування деформативних характеристик цих бетонів з установленням їх пружних характеристик та класів бетонів за міцністю.

**Ключові слова:** відходи виробництва; легкий бетон; міцність; об'ємна вага

## LIGHT CONCRETE BASED ON PRODUCTION WASTE POLYPROPYLENE CONTAINER

KOTOV M.A.<sup>1\*</sup>, *Cand. Sc. (Tech.), Assoc. Prof.*,  
KONOPLIANYK O.YU.<sup>2</sup>, *Cand. Sc. (Tech.), Assoc. Prof.*,  
VOLCHUK V.M.<sup>3</sup>, *Dr. Sc. (Tech.), Prof.*,  
ILIEV I.M.<sup>4</sup>, *Dr. Sc. (Tech.), Cand. Sc. (Tech.), Assoc. Prof.*

<sup>1\*</sup> Department of Reinforced Concrete and Masonry Structures, Prydniprovsk State Academy of Civil Engineering and Architecture, 24-a, Architect Oleh Petrov St., Dnipro, 49005, Ukraine, e-mail: [38kotokoto38@gmail.com](mailto:38kotokoto38@gmail.com), ORCID ID: 0000-0003-0233-0663

<sup>2</sup> Department of Reinforced Concrete and Masonry Structures, Prydniprovsk State Academy of Civil Engineering and Architecture, 24-a, Architect Oleh Petrov St., Dnipro, 49005, Ukraine, tel. +38 (067) 76-22-455, e-mail: [konoplianyk.alexander@gmail.com](mailto:konoplianyk.alexander@gmail.com), ORCID ID: 0000-0003-4664-8809

<sup>3</sup> Department of Materials Science, Prydniprovsk State Academy of Civil Engineering and Architecture, 24-a, Architect Oleh Petrov St., Dnipro, 49005, Ukraine, tel. +38 (0562) 47-39-56, e-mail: [volchuky@gmail.com](mailto:volchuky@gmail.com), ORCID ID: 0000-0001-7199-192X

<sup>4</sup> Department of Computer Sciences, Information Technologies and Applied Mathematics, Prydniprovsk State Academy of Civil Engineering and Architecture, 24-a, Architect Oleh Petrov St., Dnipro, 49005, Ukraine, tel. +38 (096) 76-96-99, e-mail: [ilyev.ilya@gmail.com](mailto:ilyev.ilya@gmail.com), ORCID ID: 0000-0002-9515-7734

**Abstract. Problem statement.** These days, the use of secondary waste generated as a result of human activity is a relevant issue in the construction industry. One of the directions of realization of this task is the production of light structural and heat-insulating concrete by using light aggregates – industrial waste. The analysis of the current state of light concrete development and research showed that on the basis of production waste, structurally heat-insulating products made of light concrete can be obtained, which, unlike products made of heavy concrete, will significantly reduce the load on building structures and increase their heat-insulating and sound-insulating ability. In addition, the use of industrial waste as filler will lead to a decrease in the cost of construction products. The analysis of the publications showed that light structural and heat-insulating concrete can be obtained on light aggregates, such as granulated slag, cullet, waste from the processing of rubber tires, etc. It is known to use granulated slag with a bulk weight of 880 kg/m<sup>3</sup> to obtain light structural and heat-insulating concrete with a bulk weight of 1 720–1 780 kg/m<sup>3</sup> and a compressive strength limit of 7,3–8,2 MPa [1]. However, nowadays, in connection with the reduction of metallurgical production, the volume of such slags production has significantly decreased. In literary sources there is information about the use of cullet with a volume weight of 700 kg/m<sup>3</sup> for the production of light concrete [2]. However, the widespread use of cullet is restrained due to the economic component, namely, that secondary processing of cullet is more effective for the manufacture of new glass-based products. It is known to use rubber crumb with a bulk weight of 300 kg/m<sup>3</sup> with a fraction of 1–6 mm, which is formed as a result of processing rubber automobile tires, in construction [3]. The introduction of rubber crumb into the composition of the concrete mixture leads to a decrease in the mass of structures and an improvement of its deformable, heat-insulating and sound-insulating characteristics. Analysis of the production technology of polypropylene containers [4] showed that during the production of such containers aggregate and fiber are formed. The aggregate is blue or transparent granules, most of which are triangular and rectangular in shape. The water absorption of polypropylene aggregate is 8,6 %, and its density is 1,06 g/cm<sup>3</sup>. The specified information source provides data on the use of polypropylene fiber only, and there is no information on the use of aggregate. **The purpose of the article** was to determine the possibilities of using light aggregate – a production waste polypropylene containers, to obtain compositions of light constructive and heat-insulating concrete. At the same time, the goal of researching the strength characteristics of these concretes depending on the amount of aggregate in the mixture was also set. **Conclusions.** The possibility of using light structural and heat-insulating concrete in warehouses as a filler for polypropylene container production waste is considered. Studies of the compressive strength and volumetric weight of concrete showed the possibility of obtaining light concrete with a volumetric weight of 1,395 to 1,805 kg/m<sup>3</sup> when achieving a concrete grade of compressive strength of M25 to M250. In our opinion, the use of light concrete with a volume weight of 1 625 to 1 805 kg/m<sup>3</sup> and a compressive strength grade equal to M100–M250 will be the most acceptable for the construction of buildings and structures in terms of structural and thermal insulation characteristics. In the future, it is necessary to conduct tests of these concretes deformable characteristics with the establishment of their elastic characteristics and concrete classes in terms of strength.

**Keywords:** *production waste; light concrete; strength; volumetric weight*

**Постановка проблеми.** Наразі в будівельній галузі актуальним постає використання вторинних відходів, які утворюються в результаті життєдіяльності людини. Один із напрямів реалізації цієї тематики – отримання легких конструктивно-теплоізоляційних бетонів.

шляхом використання легких заповнювачів – відходів виробництв.

**Аналіз сучасного стану** розроблення і дослідження легких бетонів показав, що на основі відходів виробництв можна отримати конструктивно-теплоізоляційні вироби з легкого бетону, які, на відміну від виробів із важкого бетону, будуть значно знижувати навантаження на будівельні конструкції та підвищувати їх тепло- та звукоізолюючу здатність. Окрім цього, застосування як заповнювача відходів виробництв знизить собівартість будівельних виробів.

**Аналіз публікацій** показав, що легкі конструктивно-теплоізоляційні бетони можуть бути отримані на легких заповнювачах, таких як гранульований шлак, склобій, відходи переробки гумових покришок тощо. Відоме використання граншлаку об'ємною вагою  $880 \text{ кг/м}^3$  для отримання легких конструкційно-теплоізоляційних бетонів об'ємною вагою  $1\ 720\text{--}1\ 780 \text{ кг/м}^3$  та межею міцності на стиск  $7,3\text{--}8,2 \text{ МПа}$  [1]. Однак наразі у зв'язку зі скороченням металургійного виробництва обсяги отримання таких шлаків значно зменшились. У літературних джерелах є відомості про використання склобою об'ємною вагою  $700 \text{ кг/м}^3$  для виробництва легких бетонів [2]. Але широке застосування склобою стримується через економічну складову, а саме, вторинна переробка склобою більш ефективна для виготовлення нових виробів на основі скла.

Гумову крихту об'ємною вагою  $300 \text{ кг/м}^3$  фракцією  $1\text{--}6 \text{ мм}$ , яка утворюється в результаті переробки гумових автомобільних покришок, використовують у будівництві [3]. Введення у склад бетонної суміші гумової крихти знижує масу конструкцій та поліпшує їх деформативні, тепло- та звукоізоляційні характеристики.

Аналіз технології виготовлення поліпропіленової тари [4] показав, що у процесі виробництва такої тари утворюються заповнювач та фібра. Заповнювач являє собою гранули блакитного кольору або прозорі, більшість з яких трикутної та прямокутної форми. Водопоглинання поліпропіленового

заповнювача становить  $8,6 \%$ , а його щільність  $1,06 \text{ г/см}^3$ . Вказане джерело інформації дає відомості щодо застосування тільки поліпропіленової фібри, а дані про використання заповнювача відсутні.

**Мета роботи** – визначення можливості використання легкого заповнювача – відходу виробництва поліпропіленової тари для отримання складів легких конструктивно-теплоізоляційних бетонів, а також дослідження міцнісних характеристик цих бетонів залежно від кількості заповнювача в суміші.

**Виклад матеріалу.** Для виготовлення легких сумішей застосовували такі компоненти: заповнювач – відходи виробництва поліпропіленової тари, пісок річковий, цемент М500 та вода. Дослідження фізико-механічних характеристик матеріалів та бетонів на їх основі проводили в умовах дослідної лабораторії кафедри залізобетонних і кам'яних конструкцій.

Для якісного підбору складу бетонної суміші необхідно встановити характеристики кожного з компонентів суміші. Тому перед виготовленням сумішей визначали фракційний склад компонентів, їх об'ємні особливості та водневий показник рН кожного з компонентів, який характеризує кислотно-основні властивості суміші.

Фракційний склад компонентів визначали за методикою [5; 6] шляхом просіювання проби через стандартний набір металевих сит d300h100 ( $0,05\text{--}40 \text{ мм}$ ). Залишки на ситах зважували за допомогою електронних ваг SPX6201 ( $0\text{--}6,2 \text{ кг}$ ). Об'ємну насипну масу компонентів суміші визначали згідно з методикою для сипучих матеріалів [5; 6]. Водневий показник рН сипучих компонентів вимірювали згідно з нормативним документом [7] за допомогою портативного вимірювача STARTER 300, попередньо затворюючи компоненти дистильованою водою.

Фракційний склад компонентів суміші, їх об'ємна насипна маса та водневий показник рН кожного з компонентів наведені в таблиці 1.

Таблиця 1

**Фракційний склад компонентів суміші, їх об'ємна насипна маса та водневий показник рН**

Найменування компонентів	Об'ємна насипна маса, кг/м <sup>3</sup>	Водневий показник, рН	Повний залишок в % на ситі з розмірами вічок у світу, мм							
			10	5	2,5	1,25	0,63	0,315	0,16	менш 0,16
Заповнювач – відход виробництва поліпропіленової тари	615	9,52	–	73,5	23,6	2,3	0,3	0,2	0,1	–
Пісок	1 550	9,33	–	0,3	1,3	2,1	7,5	41,9	42,5	4,4
Цемент М500	1 010	12,91	–	–	–	–	–	0,7	7,7	91,6
Вода	–	7,34	–	–	–	–	–	–	–	–

Як видно з таблиці 1, заповнювач має фракцію 1,25–10 мм і належить до дрібнозернистих заповнювачів, пісок – фракцію 0,16–2,5 мм і згідно з модулем крупності  $M_{кр} = 1,64$  належить до дрібних, цемент – згідно з наявністю в складі 91,6 % фракції менше 0,16 мм належить до тонкомелених. Об'ємна насипна маса заповнювача складає 615 кг/м<sup>3</sup>, піску – 1 550 кг/м<sup>3</sup>, а цементу – 1 010 кг/м<sup>3</sup>. Згідно водневим показником заповнювача – 9,52, піску – 9,33 та цементу – 12,91 вони належать до лужних матеріалів, а показник рН води – 7,34 свідчить, що вона належить до нейтральних рідин.

Враховуючи фракційний склад компонентів суміші, а також їх об'ємну насипну масу, визначали витрати компонентів бетону в суміші, які становлять масову частку, %:

- заповнювач – 28,41–43,96;
- пісок – 25,26–32,80;
- цемент – 14,65–27,37;
- вода – 10,25–12,09.

Якщо зважати, що технічні рішення по складах бетонів є новими, авторські та майнові права інтелектуальної власності на цей склад належать авторам. Тому в цьому складі наведено не вміст кожного з

компонентів суміші, а загальні межі вмісту компонентів по складах.

Усі склади легких бетонів виготовляли в такому порядку. Спочатку ретельно перемішували протягом 2 хв. сипучі компоненти, потім додавали воду і всю суміш перемішували протягом 3 хв. до отримання однорідної маси.

Для дослідження міцності на стиск та об'ємної ваги бетонів виготовляли зразки-куби розмірами 70 × 70 × 70 мм. Зразки зберігали протягом 28 діб за температури повітря  $t = +18,4-19,20$  С°, за вологості  $W = 93-95$  %.

Міцність бетону на стиск в МПа визначали згідно з нормативним документом [8]. Зразки-куби розмірами 70 × 70 × 70 мм доводили до руйнування на пресі УММ-20. Швидкість підйому навантаження складала 4 кН/с.

Межу міцності на стиск визначали відношенням руйнівного навантаження до площі поперечного перерізу зразка.

Об'ємну вагу зразків у кг/м<sup>3</sup> визначали згідно з нормативним документом [9] шляхом їх контрольного зважування та відношенням цієї ваги до об'єму зразка. Об'єм зразка визначали шляхом його розмітки та вимірювання розмірів у характерних перерізах.

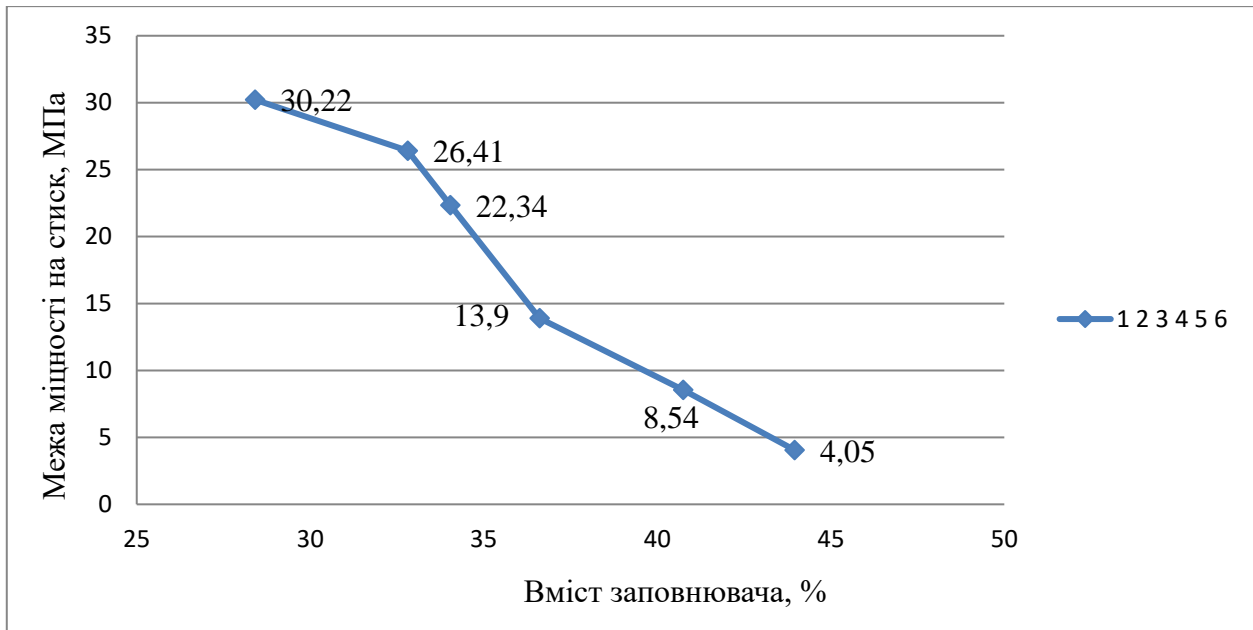


Рис. 1. Залежність міцності на стиск зразків-кубів легких конструктивно-теплоізоляційних бетонів від вмісту заповнювача

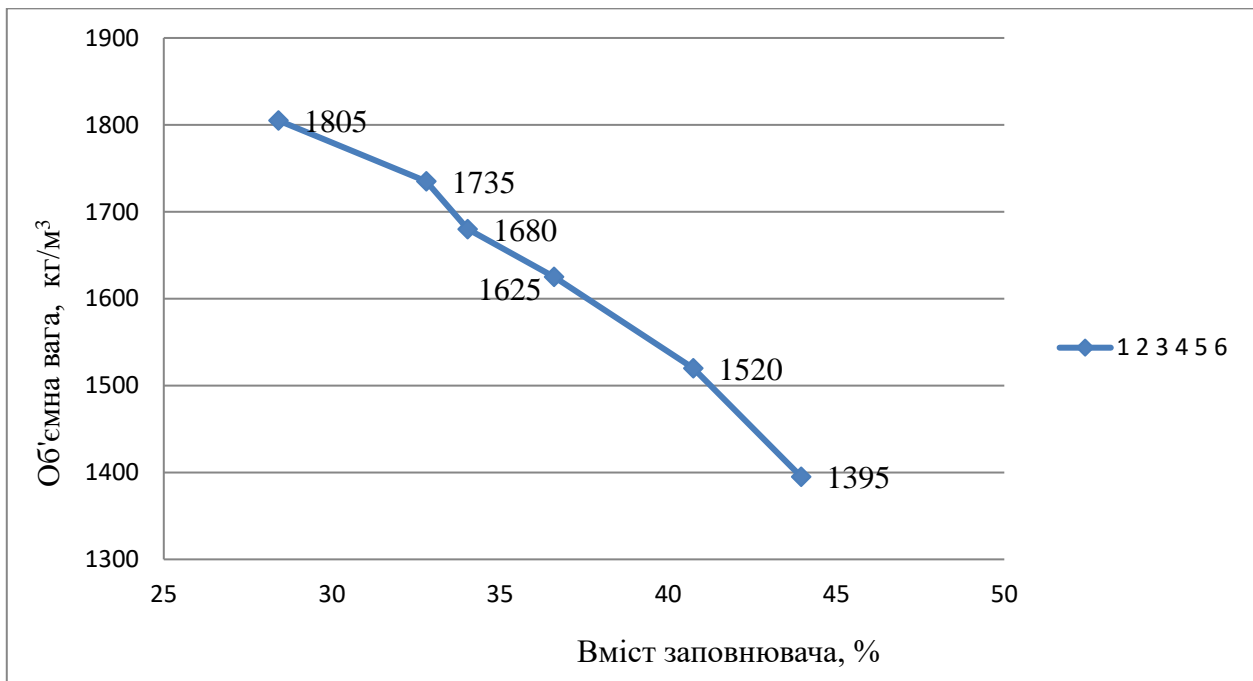


Рис. 2. Залежність об'ємної ваги зразків-кубів легких конструктивно-теплоізоляційних бетонів від вмісту заповнювача

На рисунках 1 та 2 наведено графіки залежності міцності на стиск та об'ємної ваги зразків залежно від умісту в суміші заповнювача з відходів виробництва поліпропіленової тари.

Як видно з рисунків 1 та 2, міцність на стиск та об'ємна вага зразків-кубів із легких конструктивно-теплоізоляційних бетонів зменшуються з підвищенням у складі суміші вмісту заповнювача. Найбільшу міцність

30,22 МПа мають зразки складу 6 при вмісті заповнювача в суміші 28,41 %, а найменшу міцність 4,05 МПа мають зразки складу 1 при вмісті заповнювача 43,96 %.

Найбільшу об'ємну вагу 1 805 кг/м<sup>3</sup> мають зразки складу 6 при вмісті заповнювача в суміші 28,41 %, а найменшу об'ємну вагу 1 395 кг/м<sup>3</sup> мають зразки складу 1 при вмісті заповнювача 43,96 %.

Після випробувань зразків-кубів на стиск аналізували характер руйнування зразків та структуру їх внутрішньої поверхні. Для вивчення структури бетону розколювали одну зовнішню грань зразка і оцінювали рівномірність розподілу заповнювача по внутрішній поверхні бетону

та стан в'язучої речовини. Характер руйнування і структура внутрішньої поверхні зразків складу 1 (з максимальним вмістом заповнювача) і складу 6 (з мінімальним вмістом заповнювача) наведені на рисунках 3 та 4.

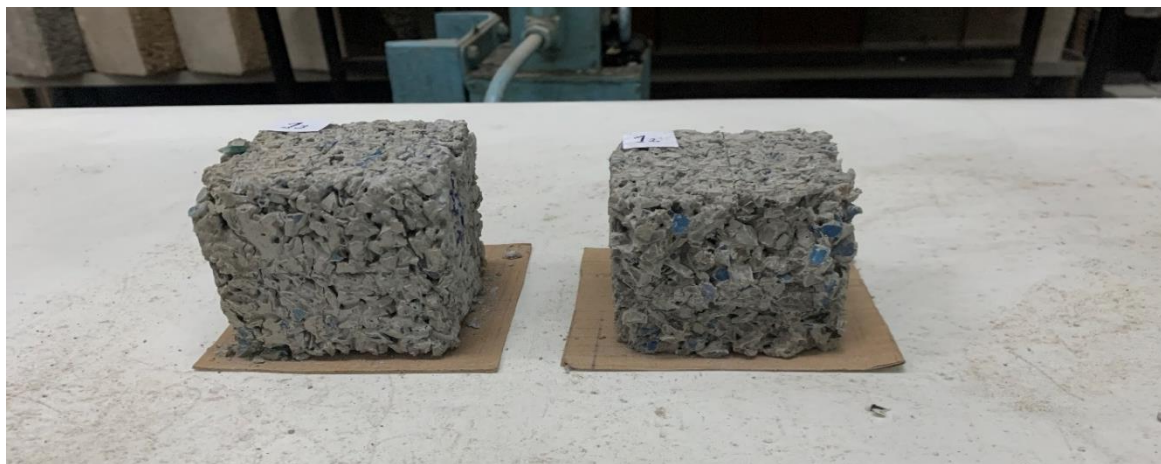


Рис. 3. Типовий характер руйнування і структура внутрішньої поверхні зразків складу 1

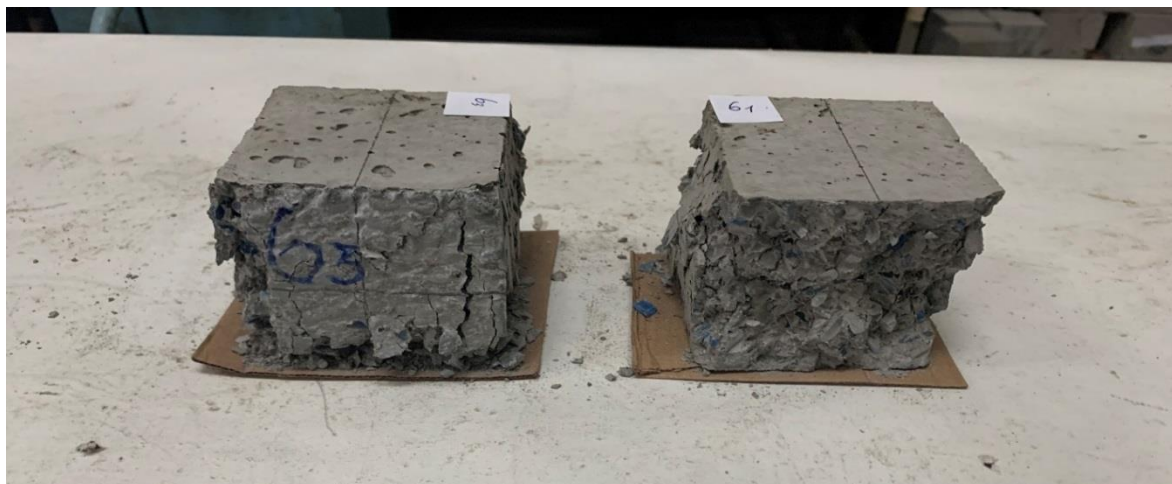


Рис. 4. Типовий характер руйнування і структура внутрішньої поверхні зразків складу 6

Аналіз результатів визначення міцності зразків-кубів на стиск показав, що усі вони мають нормальний характер руйнування. З рисунка 3 видно, що структура бетону складу 1 характеризується наявністю великої кількості зерен заповнювача і недостатньою кількістю зв'язки, яка розташована між зернами заповнювача. Спостерігається слабка адгезія зв'язки до зерен заповнювача. Структура бетону складу 6 (рис. 4) характеризується збільшенням кількості зв'язки і доброю її адгезією до зерен заповнювача. Відкрита пористість зв'язки мінімальна.

Для визначення міцності бетону показники отриманих результатів випробувань зразків-кубів із розмірами ребра 70 мм повинні бути приведені до міцності стандартних зразків-кубів із розміром ребра 150 мм. У цьому випадку отримані показники міцності зразків-кубів із розміром ребра 70 мм повинні бути помножені на масштабний коефіцієнт  $\alpha$ , який згідно з [1, табл. 5], дорівнює 0,85. Загальні результати визначення міцності на стиск і об'ємної ваги легких конструктивно-теплоізоляційних бетонів наведені в таблиці 2.

Таблиця 2

**Загальні результати визначення міцності на стиск і об'ємної ваги легких конструктивно-теплоізоляційних бетонів**

№ складу бетону	Середнє значення міцності зразків $\bar{R}_m$ ( $F_{c,cube}$ ), МПа	Міцність за стиску бетону, $\bar{R}_m$ ( $F_{c,cube}$ ) · 0,85 МПа	Об'ємна вага $\gamma$ , г/см <sup>3</sup>	Найближча марка бетону за міцністю на стиск, М
1	4,05	3,44	1 395	M25
2	8,54	7,26	1 520	M75
3	13,9	11,82	1 625	M100
4	22,34	18,99	1 680	M200
5	26,41	22,45	1 735	M200
6	30,22	25,69	1 805	M250

Як видно з таблиці 2, показники міцності легкого конструктивно-теплоізоляційного бетону за стиску підвищуються з 3,44 до 25,69 МПа зі збільшенням його об'ємної ваги з 1 395 до 1 805 кг/м<sup>3</sup>. Аналогічно підвищується марка міцності бетону на стиск з M25 до M250. За конструктивно-теплоізоляційними характеристиками найбільш прийнятним для зведення будівель і споруд буде використання легких бетонів складів 3–6. При цьому марка бетону по міцності на стиск дорівнює M100–M250.

Використання бетону складу 2 з маркою бетону на стиск M75 економічно та технологічно вигідне лише у будівництві індивідуальних жилих будинків висотою не більше двох поверхів, коли можливо знизити об'ємну вагу більшості конструктивних елементів будівлі.

Структура легких бетонів значним чином впливає на фізико-механічні характеристики [10–13] та подальшу довговічність матеріалу.

**Висновки.** Розглянуто можливість використання в складах легких конструктивно-теплоізоляційних бетонів як заповнювача відходів виробництва поліпропіленової тари. Дослідження міцності на стиск та об'ємної ваги бетонів показали можливість отримання легких бетонів об'ємною вагою від 1 395 до 1 805 кг/м<sup>3</sup> при досягненні марки бетону по міцності на стиск від M25 до M250.

На нашу думку, за конструктивно-теплоізоляційними характеристиками найбільш прийнятним для зведення будівель і споруд буде використання легких бетонів об'ємною вагою від 1 625 до 1 805 кг/м<sup>3</sup> і маркою по міцності на стиск, яка дорівнює M100–M250.

У подальшому треба провести випробування деформативних характеристик цих бетонів з установленням їхніх пружних характеристик та класів бетонів по міцності.

### СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Нетеса Н. И., Паланчук Д. В. Легкие бетоны на основе граншлака. *Вісник Придніпровської державної академії будівництва та архітектури*. 2016. № 2 (215). С. 62–68.
2. Jain Harshit, Kumar Baradiya Vijay. Determination of Mechanical Properties of Mortar by Using Fine Crushed Glass (FCG) and Waste Rubber (WR). (March 16, 2019). *Proceedings of Recent Advances in Interdisciplinary Trends in Engineering & Applications (RAITEA)*. 2019. URL: <http://dx.doi.org/10.2139/ssrn.3353639>.
3. Переробка покришок. URL: <http://mmgazeta.ru/06.07.2012/pererabotka-pokryshek.htm>. Дата доступу: 10.11.2022.
4. Zhao Chenggong, Wang Zhiyuan, Zeng Xianshuai, Zhu Zhenyu, Guo Qiuyu, Wu Xinrui and Zhao Renda. Study on the Flexural Properties and Fiber-Selection Method of Fiber-Reinforced Geopolymer Concrete. URL: <https://ssrn.com/abstract=3967516>
5. ГОСТ 8735-88. Межгосударственный стандарт. Песок для строительных работ. Методы испытаний. Москва : Госстрой СССР, 1989.
6. ДСТУ Б В.2.7-71-98 (ГОСТ 8269.0-97). Щебінь і гравій із щільних гірських порід і відходів промислового

виробництва для будівельних робіт. Методи фізико-механічних випробувань. Київ : Державний комітет будівництва, архітектури і житлової політики України, 1999. 47 с.

7. ГОСТ 33776-2016. Методы испытаний химической продукции, представляющей опасность для окружающей среды. Определение pH, кислотности и щелочности. Москва : Стандартинформ, 2016.

8. ДСТУ Б В.2.7-214:2009. Бетони. Методи визначення міцності за контрольними зразками. Київ : Мінрегіонбуд України, 2010. 43 с.

9. ДСТУ Б В.2.7-170:2008. Бетони. Методи визначення середньої щільності, вологості, водопоглинення, пористості та водонепроникнення. Київ : Мінрегіонбуд України, 2009. 38 с.

10. Konoplianyk Oleksandr, Nikolay Kotov, Illia Iliev. Specific Design Features of Prefabricated Fire-Resistant Floor Slabs Made from Lightweight Concrete. *Slovak Journal of Civil Engineering*. Vol. 30, iss. 1. 2022. Pp. 1–7.

11. Большаков В. И., Волчук В. М., Котов М. А., Фісуненко Д. П. Аспекти застосування фрактального моделювання. *Металознавство та термічна обробка металів*. 2022. Т. 2, № 2 (97). С. 7–18. URL: <https://doi.org/10.30838/J.PMHTM.2413.050722.7.858>

12. Volchuk V. M., Kotov M. A. Fractal express methods evaluation of a breaking stress of concrete. *Journal of Physics : Conference Series*. IOP Publishing. 2021. Vol. 1926, № 1. Pp. 012023. URL: <https://doi.org/10.1088/1742-6596/1926/1/012023>

13. Volodymyr Volchuk, Volodymyr Bolshakov, Mykola Kotov, Alexander Konoplyanik, Hanna Chaikovska. Influence of the multifractal characteristics of a macrostructure on cement mortar strength. *AIP Conference Proceedings*. 2023. Vol. 2678. P. 020024. URL: <https://doi.org/10.1063/5.0118682>

## REFERENCES

1. Netesa N.I. and Palanchuk D.V. *Legkie betony na osnove granshlaka* [Lightweight concrete based on granulated slag]. *Visnik Prydniprov's'koї derzhavnoї akademії budivnictva ta arhitekturi* [Bulletin of the Prydniprov'ska State Academy of Life and Architecture]. 2016, no. 2 (215), pp. 62–68. (in Russian).

2. Jain Harshit and Kumar Baradiya Vijay. Determination of Mechanical Properties of Mortar by Using Fine Crushed Glass (FCG) and Waste Rubber (WR). (March 16, 2019). *Proceedings of Recent Advances in Interdisciplinary Trends in Engineering & Applications (RAITEA)*, 2019. URL: <http://dx.doi.org/10.2139/ssrn.3353639>

3. Recycling of tires. URL: <http://mmgazeta.ru/06.07.2012/pererabotka-pokryshek.htm>. Access date: 10.11.2022. (in Ukrainian).

4. Zhao Chengong, Wang Zhiyuan, Zeng Xianshuai, Zhu Zhenyu, Guo Qiuyu, Wu Xinrui and Zhao Renda. Study on the Flexural Properties and Fiber-Selection Method of Fiber-Reinforced Geopolymer Concrete. URL: <https://ssrn.com/abstract=3967516>

5. *GOST 8735-88. Mezhgosudarstvennyj standart. Pesok dlya stroitel'nyh rabot. Metody ispytaniy* [Interstate standard. Sand for construction work. Test Methods]. Moscow : Gosstroj SSSR Publ., 1989. (in Russian).

6. *DSTU B. V.2.7-71-98 (GOST 8269.0-97). SHCHEbin' i gravij iz shchil'nih girs'kih porid i vidhodiv promislavogo virobnictva dlya budivel'nih robit. Metodi fiziko-mekhanichnih viprobuvan'* [Crushed stone and gravel from rocky rocks and inputs of industrial milling for everyday work. Methods of physical and mechanical testing]. Kyiv : State Committee of Life, Architecture and Housing Policy of Ukraine, 1999, 47 p. (in Ukrainian).

7. ГОСТ 33776-2016. *Metody ispytaniy himicheskoy produkcii, predstavlyayushchej opasnost' dlya okruzhayushchej sredy. Opredelenie pH, kislotnosti i shchelochnosti* [Methods for testing chemical products that are hazardous to the environment. Determination of pH, acidity and alkalinity]. Moscow : Standartinform Publ., 2016. (in Russian).

8. ДСТУ Б. В. 2.7.–214:2009. *Betoni. Metodi viznachennya micnosti za kontrol'nimi zrazkami* [Betony. Methods of delineation of mentality for control eyes]. Kyiv : Minregionbud Ukraїni, 2010, 43 p. (in Ukrainian).

9. ДСТУ Б. В.2.7-170:2008. *Betoni. Metodi viznachennya seredn'oi shchil'nosti, vologosti, vodopoglinennya, poristosti ta vodoneproniknennya* [Betony. Methods for determining the average thickness, water content, water clay, porosity and water impermeability]. Kyiv : Minregionbud Ukraїni, 2009, 38 p. (in Ukrainian).

10. Konoplianyk Oleksandr, Nikolay Kotov and Illia Iliev. Specific Design Features of Prefabricated Fire-Resistant Floor Slabs Made from Lightweight Concrete. *Slovak Journal of Civil Engineering*. Vol. 30, iss. 1, 2022, pp. 1–7.

11. Bolshakov V.I., Volchuk V.M., Kotov M.A. and Fisunen D.P. *Aspekty zastosuvannia fraktalnoho modeliuвання* [Aspects of the application of fractal modeling]. *Metалознавство та термічна обробка металів* [Metal Science and Heat Treatment of Metals]. 2022. no. 2 (97), pp. 7–18. URL: <https://doi.org/10.30838/J.PMHTM.2413.050722.7.858> (in Ukrainian).

12. Volchuk V.M. and Kotov M.A. Fractal express methods evaluation of a breaking stress of concrete. *Journal of Physics: Conference Series*. IOP Publishing. 2021, vol. 1926, no. 1, pp. 012023. URL: <https://doi.org/10.1088/1742-6596/1926/1/012023>.

13. Volodymyr Volchuk, Volodymyr Bolshakov, Mykola Kotov, Alexander Konoplyanik and Hanna Chaikovska. Influence of the multifractal characteristics of a macrostructure on cement mortar strength. *AIP Conference Proceedings*. 2023, vol. 2678, p. 020024. URL: <https://doi.org/10.1063/5.0118682>.

Надійшла до редакції: 03.02.2023.