

МОСТИ ТА ТУНЕЛІ: ТЕОРІЯ, ДОСЛІДЖЕННЯ, ПРАКТИКА

УДК 625.82-027.45

В. С. ГАРКУША^{1*}, С. І. СИМОНОВ², Т. М. ГОДУН³

^{1*} Кафедра «Архітектура», ДВНЗ «Приазовський державний технічний університет», вул. Університетська, 7, Маріуполь, Україна, 87555, тел. +38 (099) 772 68 78, ел. пошта harkusha_v_s@pstu.edu, ORCID 0000-0002-5016-0737

² Кафедра «Архітектура», ДВНЗ «Приазовський державний технічний університет», вул. Університетська, 7, Маріуполь, Україна, 87555, тел. +38 (050) 590 61 91, ел. пошта arhsimonov1@gmail.com, ORCID 0000-0002-3921-0131

³ Кафедра «Архітектура», ДВНЗ «Приазовський державний технічний університет», вул. Університетська, 7, Маріуполь, Україна, 87555, тел. +38 (098) 010 38 95, ел. пошта godun_t_m@pstu.edu, ORCID 0000-0003-1710-9099

ДОСЛІДЖЕННЯ ТЕХНОЛОГІЧНИХ ОСОБЛИВОСТЕЙ ВИГОТОВЛЕННЯ ТРОТУАРНОЇ ПЛИТКИ ДЛЯ БЛАГОУСТРОЮ ПРОМИСЛОВИХ ТА ЦИВІЛЬНИХ ОБ'ЄКТІВ

Мета. Метою наукової статті є обґрунтування параметрів виготовлення якісної тротуарної плитки та визначення основних принципів технології мостіння дорожніх покриттів з використанням бруківки. В роботі на базі досвіду, отриманого в області виготовлення бруківки вказані основні принципи її виготовлення, а також методи, які дозволяють підвищити її міцність та стійкість до дії погодних умов, механічних впливів та навантажень. **Методика.** Дослідження були виконані згідно з діючими нормативними документами, які регламентують дослідження будівельних композитів, сировину для їх виготовлення і готову продукцію, яка була розглянута у поданій роботі. Проведено ряд експериментальних досліджень дрібнозернистих бетонів з точки зору їх фізико-механічних властивостей та параметрів влаштування дорожніх покриттів з виготовлених елементів. **Результати.** При влаштуванні дорожніх покриттів з тротуарної плитки необхідно враховувати не лише якість самих виробів, а й дотримуватись технології влаштування ґрунтової основи під мощення. Встановлено, що не тільки склад основної композиції дрібнозернистого бетону має значення. Визначено з якої сировини та при яких умовах виготовлення можна отримати якісні, довговічні вироби. Наведено аналіз композицій, які мають найширше використання в умовах сучасного виробництва бруківки. Також подано найбільш раціональне дозування кожного компонента, який має вплив на властивості робочої суміші та готового будівельного покриття. **Наукова новизна.** Встановлено взаємозв'язок між комбінацією компонентів дрібнозернистого бетону, яка дозволяє отримати якісні дрібноштучні вироби для влаштування дорожнього покриття. Визначено перелік найбільш розповсюджених дефектів бруківки, які виникають у процесі виготовлення та встановлено технологічні вимоги щодо підготовки ґрунтової основи під дорожнє покриття. **Практична значимість.** Отримані результати досліджень дозволяють виготовити якісну тротуарну плитку, яка має показники необхідні для влаштування довговічного дорожнього покриття. Визначені умови щодо підготовки ґрунтової основи для мостіння дорожніх покриттів та обґрунтована важливість їх дотримання. Це підвищить ефективність робіт та забезпечить комфорт населення.

Ключові слова: тротуарна плитка; бруківка; ґрунтова основа; міцність на стиск; стійкість; довговічність

Вступ

Умови сучасного життя є достатньо динамічними та потребують створення максимально комфортних умов для будь-якої діяльності. Не викликає сумнівів, що благоустрій доріг, тротуарів, підходів до будівель та споруд, майданчиків як промислового, так і цивільного призначення є одним із важливих завдань для суспільства. Проте безсумнівним фактом є також і те, що матеріали, для виготовлення подібних елементів далеко не завжди є якісними. Досить

часто ми бачимо, на жаль, таку ситуацію, коли свіже покладене покриття не витримує першої ж зими навіть там, де не їздить важкий транспорт. Хоча виготовити якісні елементи такого типу не так вже і важко, тим паче з урахуванням нових будівельних технологій (Андрухов, Матвійчук, Мартинова, & Отаманова, 2011; Takim, Harris, & Hadi Nawawi, 2013; Hardin, & McCool, 2015; Кулік, Куліш, & Іщенко, 2020; Іваненко, Кулік, Бобраков, & Москальова, 2023).

Сучасний ринок дорожніх елементів пропонує достатньо широкий асортимент від звичайної сірої до кольорової тротуарної плитки, різних конфігурацій та розмірів. При виробництві таких виробів брак може досягати 20 %. Але навіть те, що вважається браком може бути ефективно використане (Гой, & Катола, 2015; Черкес, Петришин, & Коник, 2018).

Буває так, що після укладки покриття втрачає свою якість. Причиною цього є як властивості самого ґрунту та певною мірою неправильно підготовлена ґрунтова основа. У таких випадках можна помітити виникнення певних недоліків, а саме дефектів, деформацій і пошкоджень, які потребують ремонту або навіть заміни елементів покриття для забезпечення його нормального експлуатаційного стану (Борисенко, О. Б., et al., 2013; Бузило, Сердюк, Яворський, & Гайдай, 2021).

Слід відзначити, що основні недоліки земляної основи, особливо деформації готового покриття, мають декілька причин виникнення.

Причинами є недотримання технології влаштування земляної основи, а саме: 1) недостатнє або неякісно виконане ущільнення шарів ґрунту; 2) недостатня або підвищена вологість ґрунту; 3) вкладання тротуарної плитки на жорстку нерівну бетонну основу, яка може бути причиною утворення калюж, які нікуди не просочуються. Ці основні недоліки не дають змоги влаштувати якісне однорідне покриття, що максимально довгий термін витримувало б навантаження без локального руйнування і, тим паче, без глобальної втрати міцності і стійкості.

Мета

Метою наукової статті є обґрунтування параметрів виготовлення якісної тротуарної плитки та визначення основних принципів технології мостіння дорожніх покриттів з використанням бруківки. В роботі на базі досвіду, отриманого в області виготовлення бруківки вказані основні принципи її виготовлення, а також методи, які дозволяють підвищити її міцність та стійкість до дії погодних умов, механічних впливів та навантажень.

Методика

Дослідження були виконані згідно з діючими нормативними документами, які регламен-

тують дослідження будівельних композитів, сировину для їх виготовлення і готову продукцію, яка була розглянута у поданій роботі. Проведено ряд експериментальних досліджень дрібнозернистих бетонів з точки зору їх фізико-механічних властивостей та параметрів влаштування дорожніх покриттів з виготовлених елементів (Шейніч, Попруга, & Іонов, 2011).

Виготовлення якісної тротуарної плитки не завжди є достатньою умовою для отримання довговічного дорожнього покриття, яке має здатність не тільки бути стійким до дії навколишнього середовища, але і до різноманітних навантажень різного характеру дії (стиск, розтяг, перерозподіл компонент розтягу і стику).

Досить часто буває так, що можуть бути використані якісні елементи, однак не виконані всі вимоги щодо технології влаштування дорожнього покриття (Павлов, І. Д., Полтавець, & Павлов, Ф. І., 2020; Павлов, & Радкевич, 2003). У такому разі може виникати ситуація із постійним накопиченням води у певних місцях покриття, утворенням калюж, тріщин, різного роду деформацій елементів, просіданням або навпаки здиманням готового дорожнього покриття. Для такої ситуації не мають значення фізико-механічні властивості використаних елементів. Не правильно підготовлена основа для проведення робіт з мостіння бруківки може призвести до великих збитків та зіпсувати найміцніший матеріал, а також звести нанівець всі декоративні якості цих елементів.

Основним «ворогом» бруківки вважається утворення так званих висолів – білих плям чи то від вільного кальцію, що присутній у цементі та сировинних матеріалах, чи то від використання добавок білого кольору, які можуть з'являтися під дією вологи, температури та тиску на лицьовій поверхні виробів безпосередньо в пачці. Хоча подібний недолік може виникати і для елементів, які вже є частиною готового дорожнього покриття (Пшінько, Зінкевич, & Савицький, 2018; Бузило, Сердюк, Яворський, & Гайдай, 2021).

На рис. 1 зображена схема виникнення висолів на поверхні бетонних виробів. Однак висоли – це не єдиний вид дефектів, який може виникати в процесі виготовлення та під час експлуатації тротуарної плитки.

МОСТИ ТА ТУНЕЛІ: ТЕОРІЯ, ДОСЛІДЖЕННЯ, ПРАКТИКА

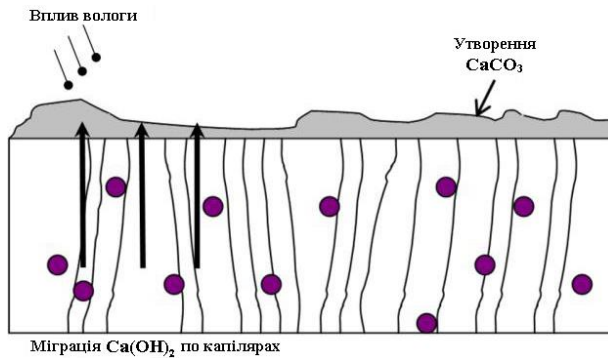


Рис. 1. Схема виникнення висолів на поверхні бетонних виробів

Недопустимими є такі **види недоліків** тротуарної плитки:

- наявність інертних матеріалів, фракційність яких не відповідає заданому рецепту;
- наявність раковин більше 3 мм у діаметрі і, якщо дрібніше, то не більше 3 шт.;

- наявність залишків пігменту, який не відповідає заданому;
- наявність тріщин та мікротріщин;
- не допускається відшаровування верхнього шару;
- висота виробу має відповідати заданій;
- виріб має бути повністю заповнений матеріалом та сформований без наявності порожот та пухких місць.

При дотриманні вище зазначених умов можна отримати не тільки якісне дорожнє покриття, але і досить помітно підвищити комфорт міського середовища згідно з сучасними вимогами до його планування. Принципова схема планування міського середовища з точки зору влаштування пішохідних зон, ділянок доріг та зупинок наведена на рис. 2.

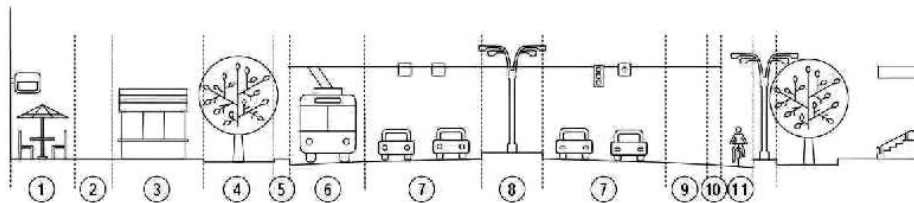


Рис. 2. Організація міського простору:

- 1) зона вуличного фронту; 2) пішохідна зона тротуару; 3) зона громадського обслуговування; 4) зона озеленення;
- 5) технічна зона тротуару; 6) полоса для громадського транспорту; 7) проїзна частина; 8) розділювальна смуга;
- 9) зона паркування; 10) буферна зона; 11) велосипедна доріжка

Результати

У рамках проведеної роботи було проведено ряд експериментальних досліджень, у лабораторних, промислових умовах, а також безпосередньо на ділянках на яких були проведені роботи з влаштування дорожніх покриттів.

Дослідження показали, що для того, щоб отримати якісні дорожні елементи потрібно використовувати дрібний фракційний щебінь з граніту (0,63...2,5; 2,0...5,0; 5,0...10,0 мм). Витрати матеріалів для виготовлення пресованого бруку наведені в таблиці 1.

Таблиця 1

Витрати матеріалів на виготовлення пресованого бруку

Умовне позначення бетону	Марка бетону	Цемент ПЦ І-500-Н, кг	Цемент білий СЕМ І 52.5R, кг	Пісок річковий, кг	Щебінь, кг			BWA-16 0,40 %
					Фракція, мм			
					0,63-2,5	2,0-5,0	5,0-10,0	
В25НЖ2 нижній шар	350	280	0	680	0	800	390	1,12
В30НЖ2 нижній шар	400	305	0	660	0	800	410	1,22
В35НЖ2 нижній шар	1	450	330	0	660	0	800	410
Верхній шар	1	*	420	0	750	1000	*	2,1-10,5*
Верхній шар	2	*	0	460	750	1000*		*2,3-11,5

Гранулометричний склад бетонної суміші залежить, у першу чергу, навіть не від габаритних розмірів виробів, а від їх висоти. Оскільки у процесі пресування виробів при використанні занадто крупного щебеню (переважно фракції 5,0...10,0 мм) складно отримати гладку бокову поверхню виробів.

Саме щебінь є основним компонентом, який гарантує високу міцність дорожніх елементів. У разі використання пиловидної фракції, яку часто заявляють як відсів гранітний фракції 0...5 мм, показники за міцністю М300; М350;

М400 отримати неможливо навіть при використанні дорожніх полімерних добавок. Марка таких виробів не перевищує М100...М150, однак не раніше, ніж через 28 діб.

Не зважаючи на раціонально підібрані композиції бетону, в процесі виробництва бруківки виникають недоліки готових виробів, до появи яких мають відношення особливості технологічного процесу та людський фактор. Види дефектів тротуарної плитки (бруківки) наведені в таблиці 2.

Таблиця 2

Види дефектів тротуарної плитки (бруківки)

<p>1. Невідповідність кольору: не допускається наявність відтінків інших кольорів, в т.ч. які залишилися від попередньої продукції.</p>		
<p>2. Сколи і тріщини: наявність сколів, тріщини довжиною більше 3 мм.</p>		
<p>3. Непроформовка: бокова поверхня має бути абсолютно гладкою або з мінімальною кількістю пустот не більше 10 % загальної площі бокової поверхні</p>		
<p>4. «Залипання» та білі плями: залипання – це раковини на поверхні виробів, які утворились у результаті прилипання бетону для елементів форми; «білі плями» білого цементу, доменного шлаку, вапняку, іржі.</p>		

При врахуванні вище зазначених факторів можна отримати дорожні елементи високої якості та зробити умови для проживання людей більш комфортними. Це є ще один крок до успіху сучасного бізнесу та нашої країни.

Наукова новизна та практична значимість

Встановлено взаємозв'язок між комбінацією компонентів дрібнозернистого бетону, яка дозволяє отримати якісні дрібноштучні вироби для влаштування дорожнього покриття. Визна-

чено перелік найбільш розповсюджених дефектів бруківки, які виникають у процесі виготовлення та встановлено технологічні вимоги щодо підготовки ґрунтової основи під дорожнє покриття.

Висновки

Проаналізовано ряд факторів, які мають вплив на технологічний процес виготовлення тротуарної плитки. Визначено перелік дефектів тротуарної плитки, які зустрічаються найчасті-

МОСТИ ТА ТУНЕЛІ: ТЕОРІЯ, ДОСЛІДЖЕННЯ, ПРАКТИКА

ше. Також були визначені вимоги, яких слід дотримуватись при влаштуванні дорожніх покриттів з пресованої бруківки.

Крім того, отримані аналітичні матеріали які визначають ряд композицій жорсткої бетонної суміші, які дозволяють отримати бруківку високої міцності, а відповідно, і довговічності. Подані рекомендації щодо правильного вибору сировинних матеріалів.

Подальший розвиток цього наукового напрямку вбачається в проведенні експериментів в натурних умовах. Тобто процес визначення ефективності використання отриманих елементів вбачається у спостереженнях за зміною міського середовища з точки зору естетики та комфорту людей.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

- Hardin, B., & McCool, D. (2015). *BIM and Construction Management. Proven Tools, Methods, and Workflows*. Hoboken: Wiley.
- Takim, R., Harris, M., & Hadi Nawawi, A. (2013). Building Information Modeling (BIM): A New Paradigm for Quality of Life Within Architectural, Engineering and Construction (AEC) Industry. *Proceedia - Social and Behavioral Sciences*, 101, 23-32.
- Бузило, В. І., Сердюк, В. П., Яворський, А. В., & Гайдай, О. А. (2021). *Матеріалознавство*. Дніпро: НТУ «ДП».
- Андрухов, В. М., Матвійчук, В. В., Мартинова, Л. В., & Отаманова, М. Б. (2011). BIM технології проектування – перспектива розвитку будівельної галузі. *Бетон и железобетон в Украине*, 5, 2-6.
- Борисенко, О. Б., et al. (2013). Експериментальні дослідження температурних деформацій теплоі-

золяційних матеріалів фасадних систем з штукатурним шаром. *Ресурсоекономні матеріали, конструкції, будівлі та споруди*, 25, 21-26.

- Гой, Б. В., & Катола, Х. О. (2015). Розвиток поняття «зеленої архітектури» в сучасному проектуванні та будівництві. *Національний університет «Львівська політехніка»*, 816, 99-108.
- Іваненко, Д. С., Кулік, М. В., Бобраков, А. А., & Москальова, А. В. (2023). BIM як база для механізму управління будівельними проектами. *Ресурсоекономні матеріали, конструкції, будівлі та споруди*, 42, 175-184.
- Кулік, М. В., Куліш, С. О., & Іщенко, С. С. (2020). Впровадження новітніх цифровизованих програмних комплексів на базі BIM-технологій у будівництві України. *Науковий вісник будівництва*, 2(100), 301-306.
- Павлов, І. Д., Полтавець, М. О., & Павлов, Ф. І. (2020). Системне управління організаційно-технологічною надійністю виробничих процесів в будівництві. *Мости та тунелі: теорія, дослідження, практика*, 17, 53-61.
- Павлов, І. Д., & Радкевич, А. В. (2003). *Оптимальні моделі організації будівельного виробництва*. Запоріжжя: ЗДІА.
- Пішнінко, О. М., Зінкевич, А. М., & Савицький, М. В. (2018). *Відновлення експлуатаційної придатності бетонних, залізобетонних и кам'яних конструкцій*. Дніпро: ДНУЗТ.
- Черкес, Б. С., Петришин, Г. П., & Коник, С. І. (2018). Інтенсифікація забудови історично сформованого міста (на прикладі Львова). *Вісник Національного університету «Львівська політехніка»*. Серія: *Архітектура*, 893, 129-138.
- Шейніч, Л. О., Попруга, П. В., & Іонов, Д. С. (2011). Дослідження характеристик тріщиностійкості бетону. *Бетон и железобетон в Украине*, 5, 7-12.

V. S. HARKUSHA^{1*}, S. I. SIMONOV², T. M. HODUN³

^{1*} Department of "Architecture", SHEI "Azov State Technical University", Mariupol, Universytetska Str., Ukraine, 87555, tel. +38 (099) 772 68 78, email: harkusha_v_s@pstu.edu, ORCID 0000-0002-5016-0737

² Department of "Architecture", SHEI "Azov State Technical University", Mariupol, Universytetska Str., Ukraine, 87555, tel. +38 (050) 590 61 91, email: arhsimonov1@gmail.com, ORCID 0000-0002-3921-0131

³ Department of "Architecture", SHEI "Azov State Technical University", Mariupol, Universytetska Str., Ukraine, 87555, tel. +38 (098) 010 38 95, email: godun_t_m@pstu.edu, ORCID 0000-0003-1710-9099

RESEARCH OF THE TECHNOLOGICAL FEATURES OF THE PAVING TILES MANUFACTURE FOR THE IMPROVEMENT OF INDUSTRIAL AND CIVIL FACILITIES

Purpose. The purpose of the scientific article is to substantiate the parameters of the production of high-quality paving slabs and to determine the basic principles of paving technology of road surfaces using paving slabs. The work is based on the experience gained in the field of paving stone production, specifies the basic principles of its production, as well as methods that allow to increase its strength and resistance to the effects of weather conditions,

mechanical influences and loads. **Methodology.** The research was carried out in accordance with the current regulatory documents that regulate the research of construction composites, raw materials for their manufacture and finished products, which were considered in the submitted work. A number of experimental studies of fine-grained concrete have been conducted from the point of view of their physical and mechanical properties and the parameters of the construction of road surfaces from manufactured elements. **Findings.** When installing paving slabs, it is necessary to take into account not only the quality of the products themselves, but also observe the technology of laying the soil base for paving. It was established that not only the main composition of fine-grained concrete is important. It is determined from which raw materials and under which manufacturing conditions it is possible to obtain high-quality, durable products. An analysis of the compositions that are most widely used in the conditions of modern production of paving stones is given. The most rational dosage of each component, which affects the properties of the working mixture and the finished construction coating, is also given. **Originality.** The relationship between the combination of components of fine-grained concrete, which allows obtaining high-quality small-sized products for the installation of a road surface, has been established. The list of the most common paving defects that occur during the manufacturing process has been defined and the technological requirements for the preparation of the soil base for the road surface have been established. **Practical value.** The obtained research results allow to produce high-quality paving slabs, which have the necessary indicators for the installation of a durable road surface. The conditions for the preparation of the ground base for the paving of road surfaces are determined and the importance of their observance is substantiated. This will increase the efficiency of work and ensure the comfort of the population.

Keywords: pavement tiles; cobblestone, soil base; compressive strength; stability; durability

REFERENCES

- Construction Management. Proven Tools, Methods, and Workflows.* Hoboken: Wiley.
- Takim, R., Harris, M., & Hadi Nawawi, A. (2013). Building Information Modeling (BIM): A New Paradigm for Quality of Life Within Architectural, Engineering and Construction (AEC) Industry. *Procedia - Social and Behavioral Sciences*, 101, 23-32.
- Buzlyo, V. I., Serdiuk, V. P., Yavorskyi, A. V., & Haidai, O. A. (2021). *Materialoznavstvo*. Dnipro: NTU «DP». (in Ukrainian)
- Andruxhov, V. M., Matviichuk, V. V., Martynova, L. V., & Otamanova, M. B. (2011). BIM tekhnolohii proiektuvannia – perspektyva rozvytku budivelnoi haluzi. *Beton y zhelezobeton v Ukrainy*, 5, 2-6. (in Ukrainian)
- Borysenko, O. B., et al. (2013). Eksperymentalni doslidzhennia temperaturnykh deformatsii teploizolatsiinykh materialiv fasadnykh system z shtukaturnym sharom. *Resursoekonomni materialy, konstruksii, budivli ta sporudy*, 25, 21-26. (in Ukrainian)
- Hoi, B. V., & Katola, Kh. O. (2015). Rozvytok poniattia «zelenoi arkhitektury» v suchasnomu proiektuvanni ta budivnytstvi. *Natsionalnyi universytet «Lvivska politekhnik»*, 816, 99-108. (in Ukrainian)
- Ivanenko, D. S., Kulik, M. V., Bobrakov, A. A., & Moskalova, A. V. (2023). BIM yak baza dlia mekhanizmu upravlinnia budivelnymy proektamy. *Resursoekonomni materialy, konstruksii, budivli ta sporudy*, 42, 175-184. (in Ukrainian)
- Kulik, M. V., Kulish, S. O., & Ishchenko, S. S. (2020). Vprovadzhennia novitnikh tsyfrovizovanykh prohramnykh kompleksiv na bazi VIM-tekhnolohii u budivnytstvi Ukrainy. *Naukovyi visnyk budivnytstva*, 2(100), 301-306. (in Ukrainian)
- Pavlov, I. D., Poltavets, M. O., & Pavlov, F. I. (2020). Systemne upravlinnia orhanizatsiino-tekhnolohichnoiu nadiinistiu vyrobnychykh protsesiv v budivnytstvi. *Mosty ta tuneli: teoriia, doslidzhennia, praktyka*, 17, 53-61. (in Ukrainian)
- Pavlov, I. D., & Radkevych, A. V. (2003). *Optymalni modeli orhanizatsii budivelnogo vyrobnytstva*. Zaporizhzhia: ZDIA. (in Ukrainian)
- Pshinko, O. M., Zinkevych, A. M., & Savytskyi, M. V. (2018). *Vidnovlennia ekspluatatsiinoi prydatnosti betonnykh, zalizobetonnykh y kamianykh konstruksii*. Dnipro: DNUZT. (in Ukrainian)
- Cherkes, B. S., Petryshyn, H. P., & Konyk, S. I. (2018). Intensyfikatsiia zabudovy istorychno sformovanoho mista (na prykladi Lvova). *Visnyk Natsionalnoho universytetu «Lvivska politekhnik»*. Serii: Arkhitektura, 893, 129-138. (in Ukrainian)
- Sheinich, L. O., Popruha, P. V., & Ionov, D. S. (2011). Doslidzhennia kharakterystyk trishchynostiikosti betonu. *Beton y zhelezobeton v Ukrainy*, 5, 7-12. (in Ukrainian)

Надійшла до редколегії 01.03.2024.

Прийнята до друку 18.04.2024.