

УДК 666.972.2:624.074

DOI: 10.30838/J.BPSACEA.2312.260324.99.1048

ОЦІНКА МОЖЛИВОСТІ ЗАСТОСУВАННЯ ПЕРЕРОБЛЕНОГО КРУПНОГО ЗАПОВНЮВАЧА В ДЕРЕВОГРУНТОБЕТОННІЙ ПЛИТІ

СМИРНОВ А. С.^{1*}, *асп.*,

МИСЛИЦЬКА А. О.², *асист.*

^{1*} Кафедра залізобетонних і кам'яних конструкцій, Придніпровська державна академія будівництва та архітектури, вул. Архітектора Олега Петрова, 24-а, 49005, Дніпро, Україна, тел.: +38 (056) 756-33-00, e-mail: smyrnov.anton@pdaba.edu.ua, ORCID ID: 0000-0002-2500-2323

² Кафедра залізобетонних і кам'яних конструкцій, Придніпровська державна академія будівництва та архітектури, вул. Архітектора Олега Петрова, 24-а, 49005, Дніпро, Україна, тел.: +38 (056) 756-33-00, e-mail: myslytska.anastasiia@pdaba.edu.ua, ORCID ID: 0000-0001-9609-7270

Анотація. Постановка проблеми. У процесі післявоєнної відбудови в Україні виникне потреба у великій кількості доступних та екологічних будівельних матеріалів, особливо в частині відновлення і будівництва малоповерхових споруд. Такими будівельними матеріалами можуть бути ґрунтобетон та заповнювачі з подрібненого бетонного брухту. Запропоновано конструктивне рішення ребристого перекриття, в якому ребра виконані із соснових брусів та листів OSB, а плитна частина – з ґрунтобетону по незнімній опалубці. **Мета статті** – визначення оптимального складу ґрунтобетонної суміші із застосуванням щебеню, отриманого після подрібнення бетонного брухту, враховуючи конфігурацію деревогрунтобетонної плити, визначення міцності ґрунтобетону такого складу, визначення можливості застосування заповнювачів із подрібненого бетонного брухту. **Висновки.** За результатами визначення оптимального складу ґрунтобетону встановлено, що максимальна міцність на стиск досягається при масовому вмісті в'язучого в цементно-ґрунтовій суміші на рівні 20 %. Враховуючи конфігурацію плитної частини перекриття для крупного заповнювача прийнята фракція 5...7,5 мм. У ході випробування ґрунтобетонних зразків із рециклінговим заповнювачем з масовим вмістом 10, 20 та 30 % міцність ґрунтобетону на стиск зменшилась. Очевидно, наявність глинистого компонента (суглинку) в суміші зменшує зчеплення в контактній зоні між заповнювачем і ґрунтобетоном, що збільшує неоднорідність всієї структури ґрунтобетону. Отже, використання натуральних або рециклінгових крупних заповнювачів у ґрунтобетоні недоцільне. Враховуючи визначену міцність ґрунтобетону без заповнювача, пропонуємо схему комбінованого бетонування ґрунтобетонної плити – важкий бетон над ребром та ґрунтобетон у звисах. У такому випадку існує потреба в дослідженнях щодо можливості застосування рециклінгового щебеню необхідної крупності у важкому бетоні.

Ключові слова: ґрунтобетон; крупний заповнювач; рециклінговий щебінь

ASSESSMENT OF THE POSSIBILITY OF USING RECYCLED COARSE AGGREGATE IN A WOOD-SOIL CONCRETE SLAB

SMYRNOV A.S.^{1*}, *Postgraduate Student*,

MYSLYTSKA A.O.², *Ass.*

^{1*} Department of Reinforced Concrete and Masonry Structures, Prydniprovsk State Academy of Civil Engineering and Architecture, 24-a, Architect Oleh Petrov Str., Dnipro, 49005, Ukraine, tel.: +38 (056) 756-33-00, e-mail: smyrnov.anton@pdaba.edu.ua, ORCID ID: 0000-0002-2500-2323

² Department of Reinforced Concrete and Masonry Structures, Prydniprovsk State Academy of Civil Engineering and Architecture, 24-a, Architect Oleh Petrov Str., Dnipro, 49005, Ukraine, tel.: +38 (056) 756-33-00, e-mail: myslytska.anastasiia@pdaba.edu.ua, ORCID ID: 0000-0001-9609-7270

Abstract. Problem statement. During the process of post-war reconstruction in Ukraine, there will be a need for a large number of affordable and ecological building materials, especially in the part of restoration and construction of low-rise buildings. Such building materials can be soil-concrete and aggregates from crushed concrete waste. The proposed constructive solution of the ribbed floor, in which the ribs are made of pine beams and OSB sheets, and the slab part is made of soil concrete on fixed formwork. **The purpose of the article** is to determine the optimal composition of the soil-concrete mixture using crushed stone obtained after crushing concrete scrap, taking into account the configuration of the wood-soil concrete slab, to determine the strength of soil-concrete of this composition, to determine the possibility of using recycled coarse aggregates. **Conclusions.** Based on the results of determining the

optimal composition of soil-concrete, it was established that the maximum compressive strength is achieved when the mass content of the binder in the cement-soil mixture is at the level of 20 %. Taking into account the configuration of the slab part of the floor, a fraction of 5...7.5 mm is accepted for coarse aggregate. During the test of soil-concrete samples with recycled aggregate with a mass content of 10 %, 20 % and 30 %, the compressive strength of soil concrete decreased. Obviously, the presence of a clay component (loam) in the mixture reduces the adhesion in the contact zone between the aggregate and the soil-concrete, which increases the heterogeneity of the entire structure of the soil-concrete. Thus, the use of natural or recycled coarse aggregates in soil-concrete is impractical. Taking into account the determined strength of soil-concrete without aggregate, a scheme of combined concreting of the soil-concrete slab is proposed – heavy concrete above the rib and soil-concrete in the overhangs. In this case, there is a need for research on the possibility of using recycled coarse aggregate of the required size in heavy concrete.

Keywords: *soil-concrete; coarse aggregate; recycled coarse aggregate*

Постановка проблеми. У процесі післявоєнної відбудови України суттєва кількість будівель і споруд підлягатиме частковому демонтажу або повному знесенню, внаслідок чого утвориться великий обсяг будівельних відходів. За різними оцінками понад половину в загальному обсязі будівельних відходів складає бетонний та залізобетонний брухт [5].

У квітні 2022 року на офіційній сторінці Мінрегіону у Facebook опубліковано пост про те, що з метою недопущення екологічного лиха в Україні розробляють механізми утилізації та повторного використання будівельних відходів, що утворились внаслідок масових руйнувань інфраструктури [9].

Згідно з прийнятим у 2022 р. Порядком [6] документація з демонтажу має розроблятися з урахуванням максимальної переробки відходів. А в додатку 1 до Порядку [7] запропоновано повторне використання бетонних та залізобетонних

відходів як сировини для виробництва крупного та дрібного заповнювачів для бетонів (класу до C20/25).

Через відсутність нормативних документів, які регулюють застосування продуктів рециклінгу бетонних відходів, на даний момент в Україні вони широко не застосовуються. Але результати деяких досліджень дозволяють зробити припущення про доцільність використання таких вторинних заповнювачів у конструкціях малоповерхових будівель за умови належного сортування та визначення фактичних характеристик отриманого щебеню.

Одним із варіантів таких конструкцій запропоновано деревогрунтобетонне перекриття для малоповерхових будівель. Конструктивно таке рішення являє собою ребристе перекриття, в якому по ребрах, що виконані у вигляді дерев'яних двотаврових балок, влаштована ґрунтобетонна плита (Рис. 1).

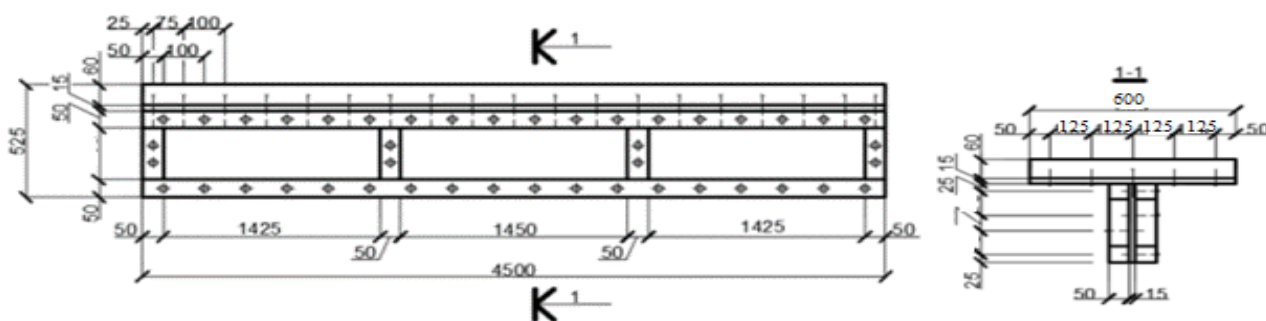


Рис. 1. Конструктивне рішення деревогрунтобетонного перекриття

Ребра з'єднані між собою по верхніх поясах за допомогою листів OSB, які одночасно є незнімною опалубкою та елементом армування ґрунтобетонної плити. У свою чергу ґрунтобетонна плита з'єднана

з незнімною опалубкою за допомогою нагельних з'єднань, що виконують роль анкерів. Пояси і стінка ребра також з'єднані між собою нагельями.

Пояси таких складених балок

виконуються із соснового дерев'яного бруса квадратного перерізу зі стороною 35...70 мм. Висоту поясів приймають у межах $h_n \geq h_6/6$. Для стінок використовується водостійка панель OSB товщиною від 8 до 16 мм, $h_c \geq I_6/10$. Ширину опорного ребра приймають рівною висоті поясу. Поперечні ребра розміщують у місцях примикання поперечних балок і прикладання місцевого навантаження.

За попередніми розрахунками оптимальна конфігурація такого перекриття становить:

- довжина плити 4 500 мм;
- висота плитної частини 60 мм;
- крок дерев'яних балок (ребер) 600 мм.

Виокремлення невирішеної проблеми.

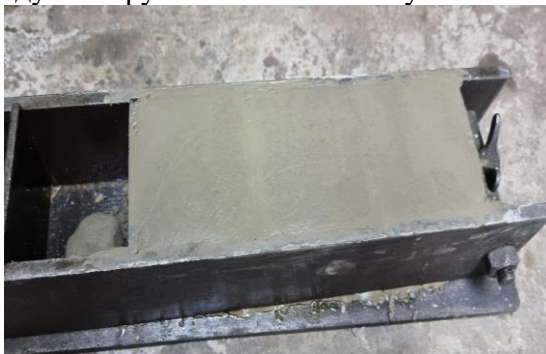
Виходячи з параметрів дерево-грунтобетонного перекриття, необхідно підібрати склад суміші та визначити міцність ґрунтобетону плити, а також дослідити доцільність і можливість застосування крупного заповнювача, отриманого в результаті подрібнення бетонних відходів.

Мета статті – визначення оптимального складу ґрунтобетонної суміші із

застосуванням щебеню, отриманого після подрібнення бетонного брухту, визначення міцності ґрунтобетону такого складу, визначення можливості застосування рециклінгового щебеню.

Виклад матеріалу. На першому етапі дослідження автори виконали підбір оптимального складу ґрунтобетонної суміші та випробували на міцність зразки ґрунтобетону. Підбір складу здійснювали шляхом різних поєднань (у ваговому вираженні) компонентів ґрунтобетонних сумішей. За раціональний склад ґрунтобетону прийняли той, зразки з якого показали найвищі значення міцності за стиску. Як в'язуче застосували цемент марки М500 виробництва АТ «Подільський цемент» (м. Кам'янець-Подільський). Ґрунт – суглинок. Визначення фізико-механічних властивостей ґрунту виконували відповідно до [1].

Запроектвані три склади № 1, 2 та 3 з масовим вмістом в'язучого в ґрунтоцементній суміші 20 %, 17 % та 15 % відповідно. З кожного складу виготовлено по 3 зразки-куби розмірами 70 × 70 × 70 мм (0).



a



б



в

Рис. 2. Зразки ґрунтобетону: а – в процесі виготовлення; б – після розпалублення; в – у віці 28 діб

Метод виготовлення зразків – віброущільнення на лабораторній

віброплощині. Спосіб витримки зразків – нормальні умови. Температура повітря під час виготовлення та витримки зразків складала 18...22 °С, вологість – 75...85 %. Протягом трьох-п'яти діб зразки витримували у формах, після розпалублення поміщали в камеру нормального тверднення на решту терміну до 28 діб.



У встановлений термін готові зразки випробували на міцність на стиск на гідравлічному пресі УММ-20 відповідно до [2]. Загальний вигляд зразків після випробування показаний на 0. Характер руйнувань зразків повністю відповідає руйнуванню для бетонних кубів.



Рис. 3. Випробувані на стиск зразки ґрунтобетону

Міцність на стиск зразків-кубів визначали відповідно до [3]. Результати випробувань на міцність наведені в таблиці 1. За результатами визначення міцності можна зробити висновок, що оптимальною виявилась суміш № 1 із масовим вмістом в'язучого в ґрунтоцементній суміші 20 %.

Таблиця 1

Результати випробувань зразків ґрунтобетону

№	Площа, (см ²)	Руйнівне зусилля, (кН)	Масштабний коефіцієнт	Міцність, МПа
1 ₁	48,63	39,9	0,85	7,0
2 ₁	47,84	35,0	0,85	6,2
3 ₁	47,83	22,5	0,85	4,0

Для збільшення міцності ґрунтобетону, а також враховуючи, що щебінь або гравій – це традиційно обов'язковий компонент бетонної суміші, прийнято рішення про введення в ґрунтобетонну суміш крупного заповнювача.

Враховуючи наявність великої кількості бетонного брухту, утвореного в результаті руйнувань та демонтажу пошкоджених внаслідок бойових дій в Україні будівель і споруд, доцільно розглянути варіант використання подрібнених бетонних відходів як крупного заповнювача ґрунтобетону.

Щебінь, отриманий в результаті подрібнення бетонного брухту (рециклінговий щебінь), являє собою двофазну систему, яка складається з натурального заповнювача (щебеню або гравію) та залишкового розчину, приклеєного до крупного заповнювача [8].

За результатами випробувань щебеню, отриманого після подрібнення бетонних зразків із відомими складами та різними міцностями на лабораторній шоківій дробарці зі складним обертанням, встановлено, що визначальний вплив на властивості рециклінгового щебеню має наявність саме залишкового розчину [10].

Візуальне обстеження окремих зерен відфракціонованого рециклінгового щебеню показало, що вміст залишкового розчину на зернах різних фракцій суттєво відрізняється. Майже 100 % зерен фракцій 10–20 мм містять і натуральний щебінь, і залишковий розчин. У переважній більшості вміст залишкового розчину по поверхні натурального щебеню становить менше 50 %. У фракції 5–10 мм деяка кількість зерен взагалі не має натурального щебеню, у великій кількості зерен вміст залишкового розчину на поверхні природного заповнювача значно перевищує 50 % (0).

Після відсіву дрібної фракції (менше 5 мм), визначення зернового складу, насипної та середньої густини зерен та випробувань щебеню на дробильність встановлено такі характеристики рециклінгового щебеню фракції 5–10 мм [10]:

- вміст фракції в суміші крупних фракцій (понад 5 мм) – 29...31%;
- насипна густина – 1,05...1,1 г/см³;
- середня густина зерен – 2,29...2,38 г/см³;
- дробильність – 16...21%.

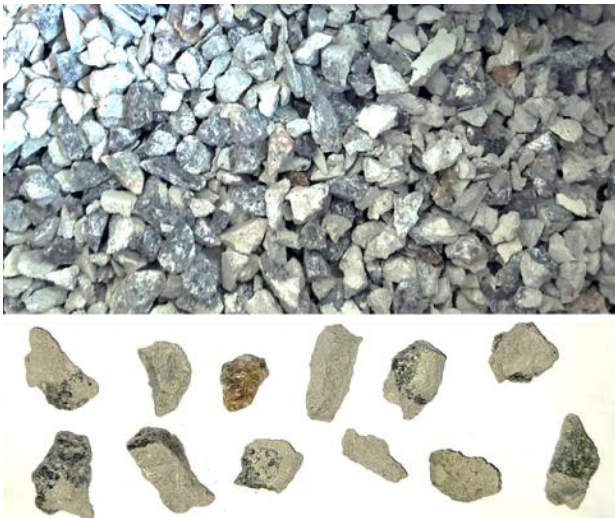


Рис. 4. Рециклінговий заповнювач крупністю 5–10 мм

Порівнюючи з аналогічними властивостями фракції 10–20 мм, можна встановити характерну особливість рециклінгового щебеню – погіршення фізико-механічних властивостей разом із зменшенням крупності фракцій. Це, очевидно, пов'язано зі збільшенням за масою вмістом залишкового розчину в менших фракціях. Крім того, враховуючи особливості процесу подрібнення в цоківій дробарці і руйнування більш крупних шматків здебільшого по розчину (як менш міцної фази в структурі рециклінгового щебеню), значна кількість зерен менших фракцій має увігнуту форму, що збільшує пористість і, як наслідок, зменшує щільність пакування зерен у фракції. Але у випадку ґрунтобетону з великим вмістом глинистого компонента (суглинку) цей недолік потенційно може сприяти кращому зчепленню ґрунтобетонної суміші та заповнювача.

Згідно з [4], найбільша крупність заповнювача має бути не більше 1/5 товщини плити, а також не більше 3/4 відстані від кінця нагеля до верхньої поверхні плити. Виходячи з



конструктивного рішення ґрунтобетонної плитної частини перекриття (розмір між кінцями нагелів та верхньою поверхнею плити становить 12...15 мм) визначено необхідну фракцію крупного заповнювача: 5...7,5 мм.

Для отримання зазначеної крупності виконано додаткове просіювання крізь сито з діаметром отворів 7,5 мм. Після чого, враховуючи зменшення крупності, уточнено фізичні властивості рециклінгового щебеню:

- насипна густина – 1,02 г/см³;
- середня густина зерен – 2,19 г/см³.

На другому етапі дослідження у визначений оптимальний склад ґрунтобетонної суміші вводили крупний заповнювач. Підготовлено три склади суміші із вмістом заповнювача по відношенню до маси суміші сухого ґрунту та цементу 10, 20 та 30 % (0). Спосіб виготовлення зразків-кубів та умови їх тверднення аналогічні до першого етапу дослідження.



Рис. 5. Виготовлення ґрунтобетонних зразків із використанням рециклінгового щебеню

Після тверднення протягом 28 діб аналогічно до першого етапу дослідження зразки-куби підлягали випробуванню на міцність за стиску на гідравлічному пресі УММ-20 (0). Характер руйнування відповідав руйнуванню традиційних кубів.



а

б



в

Рис. 6. Грунтобетонні зразки з рециклінговим щебнем після випробування на стиск:

а – з 10 % вмістом заповнювача; б – з 20 % вмістом; в – з 30 % вмістом

Результати випробувань зразків із рециклінговим заповнювачем наведені у таблиці 2.

Таблиця 2

Результати випробувань зразків грунтобетону з рециклінговим щебнем

№	Площа, (см ²)	Руйнівне зусилля, (кН)	Міцність, МПа	Середня густина, г/см ³
1	45,56	23,7	4,4	1,64
2	47,49	23,8	4,3	1,72
3	47,26	30,72	5,5	1,75

Очікувано найбільша міцність, як і середня густина грунтобетону, зафіксована в зразках із масовим вмістом заповнювача 30 %. Але в цілому в ході випробувань встановлено, що міцність грунтобетонних зразків із використанням рециклінгового щебеню фракції 5...7,5 мм як заповнювача менша, ніж у грунтобетонних зразках без заповнювача.

Висновки

За результатами випробувань грунтобетонних зразків оптимального складу з додаванням крупного заповнювача з подрібненого бетону встановлено, що навіть пориста структура заповнювача, його кутастисть та шорсткість не дозволяють забезпечити достатнє зчеплення в

контактній зоні між щебнем та глинистим ґрунтом. Потенційно міцність грунтобетону з крупним заповнювачем можна збільшити за рахунок збільшення міцності заповнювача, але, як показують інші дослідження авторів [8; 10], у випадку використання рециклінгового щебеню це можливо лише за рахунок збільшення крупності фракції. В умовах прийнятої конфігурації деревогрунтобетонної плити цього досягти неможливо.

Отже, в цілому, можна зробити висновок, що введення в грунтобетонну суміш натурального або рециклінгового заповнювача збільшує неоднорідність усієї суміші, що негативно впливає на міцність готових виробів.

Враховуючи особливості роботи ребристого покриття для подальших досліджень та натурних випробувань, доцільно прийняти комбіновану систему бетонування плити, а саме в стиснутій зоні ребра використовувати традиційний важкий бетон, а у звисах – грунтобетон без заповнювача. В такому випадку одним із варіантів заповнювача для важкого бетону може бути рециклінговий щебінь необхідної крупності.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. ДСТУ Б В.2.1-17:2009. Основи та підвалини будинків і споруд. Ґрунти. Методи лабораторного визначення фізичних властивостей. надано чинності 2009.12.22. Київ : Мінрегіонбуд України, 2010. 32 с.
2. ДСТУ Б В.2.7-214:2009. Будівельні матеріали. Бетони. Методи визначення міцності за контрольними зразками. Чинний від 2010.09.01. Вид. офіц. Київ, 2010.
3. ДСТУ Б В.2.7-224:2009. Бетони. Правила контролю міцності. Чинний від 2010.09.01. Вид. офіц. Київ, 2010.

4. ДСТУ-Н Б В.2.7-299:2013. Настанова щодо визначення складу важкого бетону. Чинний від 2014.07.01. Вид. офіц. Київ, 013.
5. Попович О., Захарко Я., Мальований М. Проблеми утилізації та переробки будівельних відходів. *Вісник Національного університету «Львівська політехніка»*. 2013. № 755. С. 321–324.
6. Порядок виконання робіт з демонтажу об'єктів, пошкоджених або зруйнованих внаслідок надзвичайних ситуацій, воєнних дій або терористичних актів : Постанова Кабінету Міністрів України від 19.04.2022 р. № 474.
7. Порядок поводження з відходами, що утворились у зв'язку з пошкодженням (руйнуванням) будівель та споруд внаслідок бойових дій, терористичних актів, диверсій або проведенням робіт з ліквідації їх наслідків : Постанова Кабінету Міністрів України від 27.09.2022 р. № 1073.
8. Савицький М. В., Смирнов А. С. Особливості використання подрібненого бетонного брухту в якості крупного заповнювача для бетону. *Український журнал будівництва та архітектури*. № 6 (018). 2023. С. 111–117. URL: <https://doi.org/10.30838/J.BPSACEA.2312.261223.111.1013>
9. Facebook. URL: https://www.facebook.com/MinregionUkraine/posts/pfbid0r_JGskspLRGADAFGQ5e6DzwP5vesGtn4P5tZWMD1KL7symp4nKeYskrhWnsnUJyXl (дата звернення: 16.11.2023).
10. Smyrnov A.S., Savytskyi M. V., Myslytska A. O. Properties of Recycled Coarse Aggregates Made of Concrete Waste. Просування енергоефективності та підготовка фахівців для відбудови України : матер. наук.-практ. конф. Дніпро, 13.03.2024 р. С. 12–15. URL: <https://doi.org/10.30838/978-966-3232-50-8>

REFERENCES

1. *DSTU B V.2.1-17:2009. Osnovy ta pidvalyny budynkiv i sporud. Grunty. Metody laboratornoho vyznachennia fizychnykh vlastyvostei* [DSTU B V.2.1-17:2009. Foundations of Buildings and Structures. Soils. Methods of Laboratory Determination of Physical Properties]. Kyiv : Minregionbud Publ., 2010, 32 p. (in Ukrainian).
2. *DSTU B V.2.7-214:2009. Budivelni materialy. Betony. Metody vyznachennia mitsnosti za kontrolnymy zrazkami* [DSTU B V.2.7-214:2009. Building Materials. Concretes. Methods for Determining Strength Using Control Samples]. Kyiv, 2010. (in Ukrainian).
3. *DSTU B V.2.7-224:2009. Betony. Pravyla kontroliu mitsnosti* [DSTU B V.2.7-224:2009. Concretes. Strength Control Rules]. Kyiv, 2010. (in Ukrainian).
4. *DSTU-N B V.2.7-299:2013. Nastanova shchodo vyznachennia skladu vazhkoho betonu* [DSTU-N B V.2.7-299:2013. Guidelines for Design the Mixture of Heavy Concrete]. Kyiv : SE “State Research Institute of Building Constructions” Publ., 2013. (in Ukrainian).
5. Popovych O., Zakharko Ya. and Maliovanyy M. *Problemy utylizatsii ta pererobky budivelnnykh vidkhodiv* [Problems of Disposal and Processing of Construction Waste]. *Visnyk Natsionalnoho universytetu “Lvivska politekhniky” : Teoriia i praktyka budivnytstva* [Bulletin of the National University “Lviv Polytechnic”: Theory and Practice of Construction]. 2013, vol. 755, pp. 321–324. (in Ukrainian).
6. *Poriadok vykonannya robot z demontazhu ob'ektiv, poshkodzhennykh abo zruinovanykh vnaslidok nadzvychainnykh sytuatsii, voiennykh dii abo terorystychnykh aktiv* [The procedure for dismantling objects damaged or destroyed as a result of emergency situations, military operations or terrorist acts]. Resolution of the Cabinet of Ministers of Ukraine dated April 19, 2022, no. 474. (in Ukrainian).
7. *Poriadok povodzhennia z vidkhodamy, shcho utvorylys u zv'iazku z poshkodzhenniam (ruinuvanniam) budivel ta sporud vnaslidok boiovykh dii, terorystychnykh aktiv, dyversii abo provedenniam robot z likvidatsii yikh naslidkiv* [The Procedure for Handling Waste Resulting from the Damage (Destruction) of Buildings and Structures Due to Armed Conflict, Terrorist Acts, Sabotage, or the Implementation of Works to Eliminate Their Consequences]. Resolution of the Cabinet of Ministers of Ukraine dated September 27, 2022, no. 1073. (in Ukrainian).
8. Savytskyi M.V. and Smyrnov A.S. *Osoblyvosti vykorystannia podribnenoho betonnoho brukhtu v yakosti krupnoho zapovniuvacha dlia betonu* [Features of Using Crushed Concrete as a Coarse Aggregate for Concrete]. *Ukrainskyi zhurnal budivnytstva ta arkhitektury* [Ukrainian Journal of Civil Engineering and Architecture]. No. 6 (018), 2023, pp. 111–117. URL: <https://doi.org/10.30838/J.BPSACEA.2312.261223.111.1013>. (in Ukrainian).
9. Facebook. URL: <https://www.facebook.com/MinregionUkraine/posts/pfbid0rJGskspLRGADAFGQ5e6DzwP5vesGtn4P5tZWMD1KL7symp4nKeYskrhWnsnUJyXl> (date of access : 16.11.2023).
10. Smyrnov A.S., Savytskyi M.V. and Myslytska A.O. Properties of Recycled Coarse Aggregates Made of Concrete Waste. *Prosuвання enerhoefektyvnosti ta pidhotovka fakhivtsiv dlia vidbudovy Ukrainy : Materialy naukovo-praktychnoi konferentsii* [Promotion of energy efficiency and training of specialists for the reconstruction of Ukraine : materials of the scientific and practical conference]. Dnipro, 13.03.2024, pp. 12–15. URL: <https://doi.org/10.30838/978-966-3232-50-8> (in Ukrainian).

Надійшла до редакції: 02.03.2024.