

Л. В. Кучеренко<sup>1</sup>  
О. В. Христинч<sup>1</sup>  
І. М. Бабій<sup>2</sup>

## ОРГАНІЗАЦІЙНО-ТЕХНОЛОГІЧНІ РІШЕННЯ РЕЦИКЛІНГУ БУДІВЕЛЬНИХ ВІДХОДІВ ДЛЯ ПОТРЕБ ДОРОЖНЬОГО БУДІВНИЦТВА

<sup>1</sup>Вінницький національний технічний університет  
<sup>2</sup>Одеська державна академія будівництва та архітектури

*Представлено аналітичні дослідження наслідків руйнування будівель і споруд спричинених військовою агресією росії. Розглянуто проблеми з реалізації організаційно-технологічних рішень для звільнення територій від залишків зруйнованих будівель, сортування накопичених залишків конструкцій і матеріалів, подрібнення будівельного лому і отримання заповнювачів для виготовлення будівельних сумішей і розчинів. Відмічено, що використання технологій з переробки будівельних відходів залізобетону, бетону, керамзитобетону, цегляної кладки, газобетонів і пінобетонів дозволить отримати заповнювачі для будівельних сумішей, які можуть використовуватись безпосередньо для потреб будівництва. Проведено вивчення технологічних проектів для можливого використання отриманих продуктів рециклінгу у складі цементобетонів для дорожнього будівництва.*

*Проведено аналіз сучасних тенденцій дорожнього будівництва і відмічено перспективи поширення використання в будівельній практиці бетонів виготовлених на основі мінеральних в'язучих. Технологічні рішення з використання цементобетонів, як альтернатива традиційним м'яким покриттям, набувають все більшої популярності завдяки їхнім задовільним фізико-механічним характеристиками, стійкості до температурних коливань і довговічності експлуатації в умовах інтенсивних транспортних навантажень.*

*Викладено результати досліджень прогнозованих обсягів будівельних відходів, які утворились внаслідок руйнування житлових будівель, які зведені за типовими проектними рішенням за часів масової забудови. Наведено розподіл вторинних ресурсів за матеріалами виготовлення і розраховані їх об'єми для кожного типу проектною серії будівлі. Відмічено, що відвальні залишки будівельного лому після реалізації технологій рециклінгу можуть повторно використовуватись на вивільнених від зруйнованих об'єктів територіях для виготовлення будівельних виробів і як компоненти цементобетонів для будівництва доріг.*

*Запропоновано рецептурно-технологічні параметри виготовлення будівельних сумішей з використанням дрібного і крупного заповнювачів отриманих за технологіями рециклінгу лому бетонів і залізобетонів. Встановлено наявність на поверхні частинок заповнювачів залишків непрогрідратованих мінеральних в'язучих, які можуть бути додатковими інтенсифікаторами структуроутворення композиційного матеріалу і також забезпечать підвищення фізико-механічних характеристик виготовлених виробів і конструкцій. Проведені дослідження фізико-механічних властивостей зразків цементобетонів з використанням заповнювачів отриманих з продуктів рециклінгу будівельного лому. Запропоновано перспективні напрямки використання отриманих ефективних сировинних матеріалів для будівництва конструктивних шарів дорожніх покриттів.*

**Ключові слова:** організаційно-технологічні рішення, технології рециклінгу, цементобетони, дорожнє будівництво, укочувані бетони, дорожній одяг, будівельний лом, заповнювачі, будівельні суміші, рецептурно-технологічні параметри.

### Вступ

В складних соціально-економічних умовах України спричинених військовою агресією росії, головними напрямками забезпечення потреб підприємств промисловості будівельних матеріалів є залучення у сферу виробництва сировинних матеріалів отриманих з продуктів рециклінгу будівельного лому. Висвітлені у матеріалах Звіту про прямі збитки інфраструктури від руйнувань внаслідок військової агресії росії станом на листопад 2024 року свідчать, що у загальному обсязі зруйнованих об'єктів окремі частки складають: житлова сфера - 35,3%; об'єкти інфраструктури – 22,7%; освіта, культура і охорона здоров'я – 9,1%; енергетика – 8,6%; промислові об'єкти – 8,5%; адміністративні, соціальні і житлово-комунальні об'єкти – 4,2%; інші – 11,6% [1]. Внаслідок цього гостро постає проблема з реалізації організаційно-технологічних рішень для звільнення територій від залишків зруйнованих будівель, сортування накопичених залишків конструкцій і матеріалів, подрібнення будівельного лому і отримання заповнювачів для виготовлення будівельних сумішей і розчинів. Використання технологій з переробки будівельних відходів залізобетону, бетону, керамзитобетону, цегляної кладки, газобетонів і пінобетонів дозволить отримати заповнювачі для будівельних сумішей, які можуть використовуватись безпосередньо для потреб будівництва. Використання спеціального обладнання також дозволяє розподілити за фракціями продукт переробки будівельного лому, які також можуть використовуватись у конструктивних шарах дорожнього одягу. Аналізуючи сучасні тенденції дорожнього будівництва, спостерігаємо поширення використання в будівельній практиці бетонів виготовлених з використанням мінеральних в'язучих [2-3]. Цементобетони, як альтернатива

традиційним м'яким покриттям, набувають все більшої популярності завдяки їхнім задовільним фізико-механічним характеристиками, стійкості до температурних коливань і довговічності експлуатації в умовах інтенсивних транспортних навантажень. Таким чином реалізація технологій рециклінгу залишків зруйнованих будівель і споруд забезпечить вирішення важливих виробничих, економічних, екологічних і соціальних завдань.

### Основна частина

Практика будівництва автомобільних доріг з використанням бетонів на основі мінеральних в'язучих набуває все більшого поширення як в Україні так і за кордоном. На відміну від традиційних технологій влаштування м'яких покриттів дорожнього одягу з використанням асфальтобетонів, технологія використання цементобетонів дозволяє створити замкнутий цикл залучення місцевої сировинної бази для багатьох регіонів України. В багатьох наукових роботах авторів [2-6] відмічено, що цементобетони характеризуються найбільш стабільними експлуатаційними властивостями і довговічністю експлуатації дорожнього покриття в порівнянні з традиційними асфальтобетонами. Регулювання рецептурно-технологічних параметрів на етапі виготовлення сировинних сумішей і використання спеціалізованих технологій виготовлення конструктивних шарів дорожнього одягу дозволяє отримати підвищення показників механічної стійкості до експлуатаційних навантажень, покращення показників стабільності мікро- і макроструктури, підвищення параметрів щільності шарів дорожнього одягу. В результатах наукових досліджень [4-6] відмічено, що завдяки регулюванню гранулометрії компонентів сировинних сумішей і використанню добавок-модифікаторів мікроструктури бетонів отримано конструктивні шари дорожнього покриття, які характеризуються підвищеними показниками стійкості до стирання, міцності при стисканні та згинанні, задовільними показниками по водонепроникності і водопоглинанню, високими показниками корозійної стійкості.

З метою забезпечення підвищених експлуатаційних властивостей цементобетонів для виготовлення конструкційних шарів дорожнього одягу і разом з тим скорочення термінів набору відпускну міцності виготовленого покриття в практиці дорожнього будівництва набуває поширення технологія укочуваного бетону. Roller Compacted Concrete (RCC) або технологія укочуваного бетону передбачає використання для будівництва дорожнього одягу надзвичайно жорстких (пісних) бетонних сумішей з низьким водовмістом і традиційних механізмів, звичайних асфальтоукладачів з подальшим ущільненням важкими дорожніми котками. Вона поєднує міцність звичайного бетону зі швидкістю укладання, подібною до асфальту, і дозволяє швидко вводити покриття в експлуатацію. Такі технологічні рішення забезпечують отримання конструкційних шарів дорожнього покриття з підвищеними показниками міцності, щільності, стійкості до стирання і довговічності покриттів [5-8].

Використання у складі будівельних сумішей заповнювачів як продуктів рециклінгу твердих неорганічних відходів є перспективним напрямком досліджень і забезпечить вирішення важливих проблем в народному господарстві держави. Технології рециклінгу є одним із елементів циклічної економіки. Це свого роду регенеративна система у якій вторинні продукти промисловості, тверді відходи і залишки неорганічних матеріалів повторно використовуються для потреб підприємств галузей економіки, в тому числі і будівельного комплексу. При цьому такі вторинні ресурси переробляються, відновлюються за регламентованими фізико-хімічними характеристиками у інші необхідні різновиди сировини і забезпечують формування стійкого циклу. Слід відмітити, що такі ресурсозберігаючі технології забезпечують отримання також значного соціально-екологічного ефекту, пов'язаного зі зменшенням техногенних навантажень на оточуюче середовище. Розробка комплексних технологічних рішень рециклінгу відвалів будівельного брухту і виготовлення з продуктів переробки ефективних компонентів будівельних сумішей та розширення номенклатури сировинних матеріалів сприятиме розвитку багатьох галузей економіки України. Проблеми енергодефіциту ресурсів для реалізації запланованих програмних рішень розвитку підприємств виробничої бази будівництва традиційні схеми ресурсозабезпечення знаходяться на стадії корінної переоцінки. Існуючі вимоги щодо вирішення важливих задач по зниженню вартості будівництва можуть бути реалізовані завдяки скороченню витрат традиційної номенклатури сировинних ресурсів, зменшення частки паливно-енергетичних ресурсів у собівартості будівельних матеріалів, покращенні соціально-екологічної ситуації для окремих регіонів, які будуть отримані при шляхом впровадження технологій рециклінгу будівельного брухту. Крім того, зважаючи на той факт, що у структурі капіталовкладень для будівництва об'єктів нерухомості, вартість будівельних матеріалів становить близько 60% кошторисної вартості будівельно-монтажних робіт, цілком очевидно є перспектива використання вторинних ресурсів на підприємствах виробничої бази будівництва.

Світові і Вітчизняні практики використання продуктів переробки вторинних ресурсів на підприємствах виробничої бази будівництва підтверджують можливість скорочення частки капіталовкладень у структурі собівартості виготовлення нових будівельних матеріалів і виробів на 10÷30% порівняно з використанням традиційних природних компонентів. Важливими результатами при впровадженні організаційно-технологічних рішень технологій рециклінгу є також зменшення навантажень на оточуюче середовище і отримання значних екологічного і соціального ефектів.

Сучасні реалії для багатьох регіонів України характеризуються наявністю значних обсягів руйнувань будівель і споруд в умовах воєнного стану, що у свою чергу вимагає вирішення нагальних задач пов'язаних з розбиранням завалів, сортуванням залишків будівельного лому, транспортуванням і складуванням їх у відвали, захоронення на сміттєзвалищах некондиційних відходів. Подальші рішення використання накопичених відвалів з будівельним ломом будуть потребувати залучення технологій переробки і спецобладнання для трансформування отриманого продукту у компоненти будівельних сумішей. На сьогодні в Україні вже використовуються технології переробки залишків будівельного лому для отримання крупного і дрібного заповнювачів будівельних сумішей. Отримані заповнювачі з вторинних ресурсів почали використовувати також у дорожньому будівництві при виготовленні сумішей з регульованою гранулометриєю для влаштування основ дорожнього полотна та дренажних споруд.

Наявні перспективи впровадження організаційно-технологічних рішень з рециклінгу будівельного лому пояснюються можливістю локаційного забезпечення ефективними заповнювачами будівельних сумішей і розчинів потреб для зведення нових запроектованих будівель і споруд на територіях очищених від залишків зруйнованих об'єктів. Такі вторинні ресурси є доступними компонентами дешевої і також вже частково підготовленої сировини. Разом з тим реалізація таких ефективних технологічних рішень забезпечує отримання реальних можливостей економії енергетичних ресурсів завдяки скороченню затрат на діяльність підприємств видобувних галузей. Реалізація організаційно-технологічних рішень з впровадження рециклінгу на територіях де розташовувались зруйновані об'єкти нерухомості забезпечить також вирішення важливих соціальних і екологічних задач.

Переважаюча більшість існуючих об'єктів житлового фонду України була введена в експлуатацію за часів масової забудови протягом 1960-1980 р.р. Результати вивчення архівних матеріалів типових варіантів проектною документації засвідчують що такі будівлі запроектовано і зведено за умови строгого дотримання нормованих критеріїв експлуатаційної довговічності, надійності і конструкційно-механічної стійкості. Конструктивні елементи побудованих об'єктів характеризуються значними показниками матеріаломісткості. Разом з тим проблеми енергозбереження і ресурсоощадності, які є актуальними сьогодні, на той час не відображались у переліку техніко-економічних критеріїв і не відносили до категорій експлуатаційної надійності об'єкта нерухомості. Так як переважна більшість об'єктів запроектована за типовими рішеннями, то і зрозумілим є використання у будівництві уніфікованих серій будівельних конструкцій, виробів та матеріалів.

В результаті проведення комплексних розрахунково-аналітичних досліджень узагальненого розподілу матеріальних ресурсів, використаних для будівництва об'єктів типових серій встановлено, що переважну більшість матеріалів становлять бетон, залізобетон, цегла та будівельні розчини. Обсяги металевих конструкцій, рулонних матеріалів і деревини, які передбачені проектними рішеннями є досить незначними. У таблиці 1 наведено результати вивчення кількісних параметрів витрат матеріальних ресурсів для зведення будівель найбільш поширених типових серій.

Наведені в таблиці 1 результати свідчать, що отримані в результаті руйнування, або демонтажу житлової будівлі будівельні відходи складаються з таких основних матеріалів, як бетон та залізобетон, кам'яні стінові матеріали, цементнопіщані штукатурки і стяжки, метал, деревина, керамічні матеріали, деревина, уламки скла та гіпсокартону, теплоізолювальні вироби з мінеральної вати та пінополістиролу та інші відходи. Отримані відвальні залишки штучних кам'яних матеріалів виготовлених на основі мінеральних в'язучих можуть повторно використовуватись мінеральні заповнювачі для виготовлення будівельних сумішей.

Серед існуючих сьогодні в Україні технологічних рішень з переробки будівельних відходів є технічні проекти таких відомих брендів, як групи компаній «Терещенко», компанії Strong Rolling Stones GROUP, компанії RODTECH, компанії ХЕЛМЕТ, виробничі потужності мереж BDO, компанії АРІСС-Україна. Запропоновані технологічні рішення передбачають використання високотехнологічних мобільних і стаціонарних ліній з сортування, подрібнення, сепарації, і фракціювання отриманих продуктів з будівельного лому для виготовлення сировинних компонентів будівельних сумішей і розчинів, а також отримання кондиційних мас для подальшої утилізації без будь-яких шкідливих

наслідків для оточуючого середовища.

Для реалізації технологічних рішень з рециклінгу будівельних відходів будівельні компанії, фірми, організації використовують спеціальну техніку, машини і обладнання, які дозволяють отримати сировинні ресурси із заданими характеристиками.

Таблиця 1

### Узагальнений розподіл витрат матеріальних ресурсів житлових будівель типових серій

| Будівлі   | Будівельний об'єм, м <sup>3</sup> | Будівельні матеріали  |                              |                                    |          |                 |                          |
|---|-----------------------------------|-----------------------|------------------------------|------------------------------------|----------|-----------------|--------------------------|
|   |                                   | бетон, м <sup>3</sup> | залізо-бетон, м <sup>3</sup> | будівельний розчин, м <sup>3</sup> | метал, т | цегла, тис. шт. | деревина, м <sup>3</sup> |
| Блок-секція 5-ти поверхового цегляного житлового будинку на 15 кв. Паспорт проекту №87-018/72/І                     | 3012,0                            | 58,4                  | 208,4                        | 868,0                              | 14,2     | 187,4           | 48,6                     |
| Збірний двохсекційний 5-ти поверховий житловий будинок на 30 кв. Паспорт проекту №121-031/І                         | 5933,4                            | 36,6                  | 1067,7                       | 743,6                              | 42,4     | 2,9             | 96,8                     |
| Збірний двохсекційний 5-ти поверховий житловий будинок на 39 квартир. Паспорт проекту №92-020с/І                    | 9722,4                            | 126,8                 | 1752,0                       | 1196,0                             | 158,2    | 4,2             | 107,0                    |
| Дев'ятиповерховий 72-квартирний житловий будинок на одну секцію з цегляними стінами. Паспорт проекту №86-025/І      | 16074,2                           | 92,9                  | 1448,9                       | 1218,6                             | 121,4    | 815,3           | 242,8                    |
| Блок-секція дев'ятиповерхового крупнопанельного житлового будинку на 27-квартир. Паспорт проекту №127-015С/І        | 6332,0                            | 31,3                  | 1571,7                       | 756,2                              | 122,6    | 2,2             | 62,8                     |
| Блок-секція дев'ятиповерхового крупнопанельного житлового будинку на 36-квартир. Паспорт типового проекту №94-052/І | 7670,5                            | 58,6                  | 1296,6                       | 896,3                              | 154,1    | 3,6             | 91,6                     |
| Двохповерховий двохсекційний житловий будинок на 12 квартир з цегляними стінами. Паспорт проекту №114-42-152с.85    | 3810                              | 374,2                 | 248,6                        | 443,3                              | 18,7     | 175,8           | 196,8                    |

Так група компаній «Терещенко» у своїй виробничій діяльності використовують наступний перелік спеціальної техніки і обладнання:

- шоківі дробарка McCloskey J40;
- гусеничні екскаватори Volvo EC220DL та JCB 220;
- гідромолоти Soosan SB70;
- гідроніжці Rent Demolition RD15;
- чотиривісні самоскиди Scania P400 8×4 та Volvo FM400 8×4.

Втілення технологій рециклінгу будівельних відходів в Україні потребує розробки і впровадження нових організаційно-технологічних рішень у сфері руйнування, демонтажу, транспортування, сортування і переробки техногенних продуктів. Загалом накопичений після розбирання зруйнованих будівельний лом за категоріями придатності для використання у технології рециклінгу можна розділити на три групи:

– перша категорія це лом залізобетонних і бетонних конструкцій, який після подрібнення, сепарації і сортування за гранулометриєю цілком придатний до використання заповнювачами будівельних сумішей;

– друга категорія це лом керамзитобетону, цегельної кладки (з керамічних і силікатних виробів, з якого після подрібнення і сортування отримують слабоактивні дрібні заповнювачі для цементно-піщаних розчинів для виготовлення стяжки підлог і профілюючих стяжок на плоских покрівлях. Забруднені органічними матеріалами подрібнені сипучі маси також можуть використовуватись для відсіпання основ під підлоги по ґрунтовій поверхні і основ пішохідних доріжок та майданчиків з покриттям;

– третя категорія це залишки сантехнічної кераміки, керамічних і природних плиток зовнішнього і внутрішнього оздоблення, пінополістирольних і мінераловатних плит, шматків скла, полівінілхлоридів та будівельного пластику.

Відомо, що отримання заповнювачів бетонів та будівельних розчинів за технологіями рециклінгу будівельного лому забезпечує зниження витрат на енергоресурси порівняно з традиційними видобувними сировинними матеріалами в середньому на 65-75%. Використання для приготування

бетонів нового різновиду заповнювачів отриманих з переробки будівельного лому дозволяє зменшити його собівартість в межах до 25%. За результатами досліджень на етапі реалізації заходів вхідного контролю якості будівельної сировини встановлено, що отримані продукти подрібнення бетонного і залізобетонного лому за своїми фізико-хімічними і фізико-механічними характеристиками відповідають вимогам діючих нормативно-технічних документів [8].

В таблиці 2 наведено результати комплексних досліджень заповнювачів, отриманих шляхом подрібнення бетонного лому у лабораторному кульовому млині. Гранулометричний розподіл фракцій проводили з використанням стандартного набору сит. Отримані сировинні матеріали за своїми фізичними властивостями відповідають традиційним природним мінеральним заповнювачам будівельних сумішей згідно вимог ДСТУ Б В.2.7-32-95 «Будівельні матеріали. Пісок щільний природний для будівельних матеріалів, виробів, конструкцій і робіт. Технічні умови» та ДСТУ Б В 2.7-75-98. «Будівельні матеріали. Щебінь та гравій щільні природні для будівельних матеріалів, виробів, конструкцій і робіт. Технічні умови». Отримані заповнювачі на відміну від традиційних природних матеріалів не містять шкідливих домішок, крім того в процесі подрібнення штучних кам'яних мас на поверхні частинок простежують адгезійні включення залишків непрогідратованих мінеральних в'язучих.

За результатами наведених у таблиці 2 характеристик крупного і дрібного заповнювачів, отриманих після переробки залишків будівельного лому бетону, можна стверджувати про доцільність їх використання як заповнювачів у складі сумішей дорожніх цементобетонів.

Таблиця 2

### Характеристики заповнювачів для будівельних сумішей

| Вид заповнювача    | Гранулометричні характеристики        | Насипна густина, кг/м <sup>3</sup> | Вологість, % | Вміст пилюватих частинок, % | Вміст глинистих та мулинистих часток, % | Вміст зерен лежачої і голкової форми, % |
|--------------------|---------------------------------------|------------------------------------|--------------|-----------------------------|---|---|
| Крупний заповнювач | суміш фракцій від 5 до 10 мм          | 1640                               | 2,8          | 0,24                        | 0,0                                     | 2,8                                     |
|                    | суміш фракцій від 10 до 20 мм         | 1560                               | 4,1          | 0,12                        | 0,0                                     | 3,6                                     |
| Дрібний заповнювач | середнє значення модуля крупності 1.9 | 1680                               | 2,4          | 1,14                        | 0,0                                     | -                                       |
|                    | середнє значення модуля крупності 1.4 | 1760                               | 2,6          | 1,58                        | 0,0                                     | -                                       |

Для розробки рекомендацій стосовно подальшого використання отриманих за технологіями рециклінгу будівельного лому заповнювачів цементобетонів для виготовлення шарів дорожнього покриття запроєктовано рецептурно-технологічні параметри бетонних сумішей на основі рекомендацій ДСТУ 8858:2019 Суміші цементобетонні дорожні та цементобетон дорожній. Технічні умови. Для проведення досліджень запропонованих технологічних рішень виготовлялись зразки бетону стандартних складів (С16/20). Для лабораторних випробувань використовували традиційне мінеральне в'язуче – Портландцемент ПЦ ІІ/А-ІІІ-500. Основні фізико-механічні характеристики зразків-моделей визначались згідно стандартних методик відповідно з вимогами нормативно-технічних документів ДСТУ Б В.2.7-32-95 «Будівельні матеріали. Пісок щільний природний для будівельних матеріалів, виробів, конструкцій і робіт. Технічні умови» та ДСТУ Б В 2.7-75-98. «Будівельні матеріали. Щебінь та гравій щільні природні для будівельних матеріалів, виробів, конструкцій і робіт. Технічні умови». Кількісні співвідношення компонентів сировинних сумішей і результати проведених випробувань наведено у таблиці 3.

Аналізуючи отримані результати експериментальних досліджень наведені у таблиці 3 результатів можна стверджувати про доцільність використання продуктів рециклінгу будівельного лому як заповнювачів цементобетонів. Характеристики зразків, наведені у таблиці свідчать, що отриманий матеріал відноситься до бетонів класу С16/20, який є досить поширеним у будівельній практиці. Запропоновані технологічні рішення використання отриманих з бетонного лому дрібного і крупного заповнювачів цементобетонів можуть безперешкодно трансформуватись безпосередньо в умовах будівельного майданчику. Повторне використання отриманих компонентів будівельних сумішей після знесення і демонтажу конструкцій зруйнованого об'єкту дозволить скоротити витрати на транспортні перевезення заповнювачів, які за традиційними рішеннями поставлялись на будівельні майданчики з видобувних підприємств.

## Рецептурні склади сумішей бетону і характеристики зразків

| Зразки серії | Дрібний заповнювач, кг | Крупний заповнювач, кг |                  | ПЦ, кг | Добавка-пластифікатор | Характеристики зразків             |  |
|--------------|------------------------|------------------------|------------------|--------|-----------------------|------------------------------------|--|
|              |                        | фракція 5-10 мм        | фракція 10-20 мм |        |                       | середня густина, кг/м <sup>3</sup> | міцність при стиску, кгс/см <sup>2</sup> |
| Серія 1      | 640                    | 576                    | 820              | 310    | Sika Mix              | 2360                               | 294                                      |
| Серія 2      | 670                    | 576                    | 820              | 290    |                       | 2320                               | 283                                      |
| Серія 3      | 700                    | 576                    | 820              | 260    |                       | 2348                               | 276                                      |

В процесі проведення експериментальних досліджень було виявлено, що після подрібнення уламків бетону у кульовому млині отримується незначний вміст пилоподібної фракції. Залишки таких компонент також спостерігаються на поверхні дрібного і крупного заповнювачів. Очікується, що такі продукти є залишками непрогідратованих клінкерних мінералів. Очевидно що вони можуть відігравати роль активних мінеральних добавок у складі цементобетонів і сприятимуть покращенню фізико-механічних характеристик виготовлених покриттів. Очікується, що наявність такого ефекту дозволить скоротити витрати вартісного компоненту - портландцементу при отриманні задовільних показників стійкості до механічних навантажень. Отримані компоненти сировинних сумішей цементобетонів з використанням технології рециклінгу, порівняно з традиційними природними заповнювачами, дозволять виявити значні резерви для розвитку технологій дорожнього будівництва.

## Висновки

- Обґрунтовано перспективи використання цементобетонів у дорожньому будівництві як перспективного будівельного матеріалу з високими фізико-механічними характеристиками, прогнозованою довговічністю і надійністю експлуатації. Відмічено позитивні тенденції розвитку технологій укочуваних бетонів для виготовлення шарів дорожнього одягу. Виконано аналіз кількісних параметрів категорій будівельного лому, отриманого в результаті виконання демонтажних робіт для найбільш поширених типових серій житлових будівель, зведених за періодів масової забудови. Досліджено технологічні параметри використанні технологій рециклінгу для виготовлення заповнювачів сировинних сумішей цементобетонів. Проведення експериментальні дослідження фізико-механічних характеристик дослідних зразків і встановлено відповідність отриманого матеріалу традиційним бетонам класу С16/20. Запропоновані організаційно-технологічні рішення в процесі розбудови звільнених територій забезпечать розв'язання важливих задач ресурсозбереження у будівництві пов'язаних з екологічним оздоровленням територій зруйнованої забудови для регіонів України.

## СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

- [1] Звіт про прямі збитки інфраструктури від руйнувань внаслідок військової агресії Росії проти України станом на листопад 2024 року. [Електронний ресурс].
- [2] Доступно за посиланням: [https://kse.ua/wp-content/uploads/2024/04/01.01.24\\_Damages\\_Report.pdf](https://kse.ua/wp-content/uploads/2024/04/01.01.24_Damages_Report.pdf).
- [3] Солодкий С. Й., Гуняк О. М., Марків Т. Є. Тріщиностійкість модифікованих високоміцних дорожніх бетонів. Автомобільні дороги і дорожнє будівництво. 2016. Вип. 98. С. 247–255.
- [4] Гамеляк І. П., Волощук Д. В. Про необхідність встановлення розрахункових характеристик зе-рнистих сумішей для основ дорожніх одягів. Вісник НТУ. №31. 2015. С. 86-95.
- [5] Толмачев С. Н. До питання застосування пісних бетонів, ущільнюваних котками, в основах доріг. Автошляховик України. 2017. №3. С. 45–50.
- [6] Семененко В. С., Смірнова Н. В. Застосування технології укочуваного наджорсткого цементо-бетону для будівництва автомобільних доріг // Дороги і мости. 2019. Вип. 19-20. С. 138-146.
- [7] Мишутин А.В., Солоненко И.П., Леонова А.В. Жесткие дорожные покрытия из цементобетона для автомобильных дорог. Дороги і мости, 2018. Вип. 18. С. 119-127.
- [8] Vahidi E. K., Malekabadi M. M. Joints in roller compacted concrete pavements. International Conference on Transport, Environment and Civil Engineering - ICTECE 2012 (Kuala Lumpur, Malaysia, 25-26.08.2012). 2012. P. 93-96.
- [9] Смаль М.В. Світовий досвід повторного використання бетону в будівельному виробництві / М. В. Смаль, О. В. Дзюбинська, О. В. Шелкович // Сучасні технології та методи розрахунків у будівництві. – 2017. – №7. – С.233-238.

## REFERENCES

- [1] Report on direct damage to infrastructure from destruction as a result of Russia's military aggression against Ukraine as of November 2024. [Electronic resource].
- [2] Available at: [https://kse.ua/wp-content/uploads/2024/04/01.01.24\\_Damages\\_Report.pdf](https://kse.ua/wp-content/uploads/2024/04/01.01.24_Damages_Report.pdf).
- [3] Solodkyi S. Y., Guniyak O. M., Markiv T. E. Crack resistance of modified high-strength road concretes. Highways and road construction. 2016. Issue 98. Pp. 247–255.

- [4] Gamelyak I. P., Voloshchuk D. V. On the need to establish the design characteristics of granular mixtures for road pavement bases. Bulletin of NTU. No. 31. 2015. Pp. 86-95.
- [5] Tolmachev S. N. On the issue of using lean concrete, compacted by rollers, in road foundations. Avtoshlyakhovyk Ukrainy. 2017. No. 3. Pp. 45– 50.
- [6] Semenenko V. S., Smirnova N. V. Application of rolled super-hard cement concrete technology for the construction of highways // Roads and Bridges. 2019. Issue 19-20. P. 138-146.
- [7] Myshutin A.V., Solonenko I.P., Leonova A.V. Rigid cement concrete pavements for highways. Roads and bridges, 2018. Vol. 18. Pp. 119-127.
- [8] Vahidi E. K., Malekabadi M. M. Joints in roller compacted concrete pavements. International Conference on Transport, Environment and Civil Engineering - ICTECE 2012 (Kuala Lumpur, Malaysia, 25-26.08.2012). 2012. P. 93-96.
- [9] Smal M.V. World experience of concrete reuse in construction production / M. V. Smal, O. V. Dzyubynska, O. V. Shelkovich // Modern technologies and calculation methods in construction. – 2017. – No. 7. – Pp.233-238.

**Кучеренко Лілія Василівна** – к.н. наук, доцент, доцент кафедри будівництва, міського господарства та архітектури, Вінницький національний технічний університет, email: [liliya13liliya13@gmail.com](mailto:liliya13liliya13@gmail.com). ORCID ID 0000-0003-0348-3610.

**Христич Олександр Володимирович** – к.н. наук, доцент, доцент кафедри будівництва, міського господарства та архітектури, Вінницький національний технічний університет, м. Вінниця. Email: [dockhristich@i.ua](mailto:dockhristich@i.ua). ORCID ID 0000-0003-0166-547X

**Бабій Ігор Миколайович** – к.т.н., доцент, доцент кафедри технології будівельного виробництва Одеської державної академії будівництва і архітектури, email: [igor761@gmail.com](mailto:igor761@gmail.com). ORCID ID 0000-0003-8650-1751.

**L. Kucherenko<sup>1</sup>**  
**O. Khrystych<sup>1</sup>**  
**I. Babij<sup>2</sup>**

## ORGANIZATIONAL AND TECHNOLOGICAL SOLUTIONS FOR RECYCLING CONSTRUCTION WASTE FOR ROAD CONSTRUCTION NEEDS

<sup>1</sup>Vinnitsia National Technical University

<sup>2</sup>Odessa State Academy of Civil Engineering and Architecture, Odessa

*Analytical studies of the consequences of the destruction of buildings and structures caused by Russian military aggression are presented. The problems of implementing organizational and technological solutions for clearing territories from the remains of destroyed buildings, sorting accumulated remains of structures and materials, crushing construction scrap and obtaining aggregates for the production of building mixtures and mortars are considered. It was noted that the use of technologies for processing construction waste of reinforced concrete, concrete, expanded clay concrete, brickwork, aerated concrete and foam concrete will allow obtaining aggregates for building mixtures that can be used directly for construction needs. A study of technological projects for the possible use of the obtained recycling products as part of cement concrete for road construction was carried out*

*An analysis of current trends in road construction was conducted and the prospects for the widespread use of concrete made on the basis of mineral binders in construction practice were noted. Technological solutions using cement concrete as an alternative to traditional soft coatings are becoming increasingly popular due to their satisfactory physical and mechanical characteristics, resistance to temperature fluctuations, and durability of operation under conditions of intensive traffic loads.*

*The results of research into the projected volumes of construction waste generated as a result of the destruction of residential buildings built according to typical design solutions during the era of mass construction are presented. The distribution of secondary resources by manufacturing materials is presented and their volumes are calculated for each type of building design series. It is noted that the waste residues of construction scrap after the implementation of recycling technologies can be reused in areas cleared of destroyed objects for the manufacture of construction products and as components of cement concrete for road construction.*

*The formulation and technological parameters for the production of building mixtures using fine and coarse aggregates obtained using the technologies of recycling scrap concrete and reinforced concrete are proposed. The presence of residues of unhydrated mineral binders on the surface of filler particles has been established, which can be additional intensifiers of the structure formation of the composite material and will also provide an increase in the physical and mechanical characteristics of manufactured products and structures. Studies of the physical and mechanical properties of cement concrete samples using aggregates obtained from recycled construction scrap products were conducted. Promising directions for using the obtained effective raw materials for the construction of structural layers of road surfaces are proposed.*

**Key words:** organizational and technological solutions, recycling technologies, cement concretes, road construction, rolled concretes, road surfacing, construction scrap, aggregates, construction mixtures. recipe and technological parameters.

**Liliya Kucherenko** – PhD. Associate professor of the Department of Building, Urban and Architecture of the Vinnitsia National Technical University. email: [liliya13liliya13@gmail.com](mailto:liliya13liliya13@gmail.com), ORCID ID 0000-0003-0348-3610.

**Oleksandr Khrystych** – PhD. Associate professor of the Department of Building, Urban and Architecture of the Vinnitsia National Technical University. Email: [dockhristich@i.ua](mailto:dockhristich@i.ua), ORCID: 0000-0003-0166-547X.

**Ihor Babij** – PhD. Associate professor of the Department of Building Production of the Odessa State Academy of Civil Engineering and Architecture, e-mail: [igor7617@gmail.com](mailto:igor7617@gmail.com). ORCID ID 0000-0001-8650-1751.