

DOI: 10.32347/2076-815X.2024.85.679-697

УДК 69.059

к.т.н., доцент **Шишкін Е.А.**,
ed4shishkin@ukr.net, ORCID: 0000-0002-0440-9255,
к.т.н., доцент **Гайко Ю.І.**, gayko@ukr.net, ORCID: 0000-0001-7273-1097,
Черноносова Т.О.,
chernonosova1962@gmail.com, ORCID: 0000-0002-5926-8111,
Харківський національний університет
міського господарства імені О.М. Бекетова

ШЛЯХИ РЕЦИКЛІНГУ БУДІВЕЛЬНОГО СМІТТЯ ПІД ЧАС ПІСЛЯВОЄННОЇ ВІДБУДОВИ ЗРУЙНОВАНИХ МІСТ

Проаналізовано сучасний стан поводження з будівельними відходами від руйнувань в Україні. Сформульовані цілі та завдання рециклінгу будівельних відходів в умовах післявоєнної відбудови зруйнованих міських територій. Наводяться результати теоретичних досліджень методів утилізації будівельних відходів шляхом їх повторного використання у будівництві. Запропоновано шляхи повторного використання у будівництві окремих компонентів будівельних відходів.

Ключові слова: будівельні відходи від руйнувань; рециклінг; утилізація; переробка.

Постановка проблеми. Одним із негативних наслідків в сучасному місті є наявність значної кількості відходів. Особливо це стосується будівельних відходів, що виникають під час проведення різних за обсягами будівельних робіт і підлягають спеціалізованому вивезенню та утилізації. Ці відходи значно відрізняються від побутових відходів, перш за все своїми складовими, габаритами та обсягами, вони можуть становити небезпеку для здоров'я людини та негативно впливають на стан навколишнього середовища. Неконтрольований підхід до питання їх утилізації для сучасних міст викликає проблему дефіциту території для заховання, брак природних ресурсів для виробництва будівельних матеріалів приводить до вичерпності ресурсів і все це впливає на погіршення екологічної ситуації в цілому.

Джерелами будівельних відходів стає: будівництво нових та демонтаж існуючих будівель та споруд, реконструктивні, реставраційні та різні види ремонтних робіт, а також надзвичайні ситуації природного, техногенного характеру та воєнні дії. Різні природні, антропогенні та техногенні катастрофи, воєнні дії здатні зрівняти з землею цілі міста, вулиці в яких перетворюються на

суцільні завали будівельного сміття, вибухонебезпечних і токсичних матеріалів.

То ж сьогодні у світі все більш актуальним стає питання визначення альтернативних заходів, щодо використовуваної сировини й технологій виготовлення будівельних матеріалів. Перед багатьма фахівцями постає питання чи доцільно переробляти ці відходи, як використання вторинної сировини в будівництві, дизайні, архітектурі та побутовому житті позначиться на економічній складовій, а можлива повна або часткова заміна природної сировини, ще й на екологічній ситуації.

Екологічною альтернативою звичайному захованню будівельних відходів є вторинне перероблювання матеріалів, яка безпосередньо скоротить кількість використаних природних ресурсів, а також зменшити викиди парникових газів в повітря. При такій технології перероблена сировина далі може застосовується за своїм прямим призначенням. Рециклінг дозволяє більш раціонально використовувати вичерпні природні ресурси й мінімізувати екологічний збиток від виробничої діяльності, особливо в будівельній галузі. Особливо актуальним використання та переробка вторинних будівельних ресурсів буде, після закінчення війни в Україні, під час відновлення міст, міської забудови, інфраструктури й соціальних об'єктів, що зможе значно скоротити собівартість будівництва, а відходи будівництва й зносу надалі також стануть досить привабливим ресурсом в умовах реконструкції.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. В даний час багато дослідників роблять свій внесок у пошук матеріалу, який може знизити вартість будівництва без шкоди для параметрів довговічності, а також підвищити міцність. Різні підходи до розв'язання цих проблем, питання перероблення, зберігання, знешкодження та утилізації були розглянуті такими фахівцями як Lori Ferriss, Larkham, Nasonova T.V., Troian V., Sandeep Nasier та ін. [1-6]. Але сьогодні в Україні, яка знаходиться в стані війни, а на її суверенній території тривають активні бойові дії, наслідком чого є руйнування міської інфраструктури та забудови, найбільш актуальними стають дослідження, що пов'язані з проблематикою наявності великих обсягів будівельних відходів, перспективними технологічними процесами переробки, зберігання, знешкодження та утилізації таких відходів, а особливо можливість подальшого їхнього використання, що розглядаються в наукових роботах [7, 8]. Фахівці, науковці у своїх роботах [9-13] аналізують джерела, використання будівельних відходів, класифікують їх за різними критеріями, розглядають системні питання щодо організації переробки та подальшого використання будівельних відходів, що зможе допомогти ефективно відбудувати зруйновані міста в рамках державної післявоєнної програми.

Постановка задачі. Проаналізувати проблем рециклінгу будівельних відходів після військових дії та виявити перспективи розвитку цієї галузі в умовах післявоєнної відбудови зруйнованих міських територій. Сформулювати основні можливості повторного використання будівельних відходів у будівництві. Визначити основні заходи для поетапного використання будівельних відходів під час післявоєнної відбудови зруйнованих міст.

Виклад основного матеріалу. Сучасні обсяги, збір, вивіз та утилізація різних видів сміття, в тому числі будівельного, перетворюється на величезну світову проблему. Відведені для цього полігони, звалища вже мають дефіцит вільних місць, а це своєю чергою негативно впливає на стан навколишнього середовища.

В теперішній час, в умовах активного розвитку світових інноваційних будівельних технологій, постійно збільшується кількість будівельних компаній, що пропонують сучасні та економічно обґрунтовані комплексні будівельні системи та послуги.

Впровадження Регламенту (ЄС) № 305/2011 потребує реалізації семи основних вимог до будівель та споруд. Однією з таких вимог є стале використання природних ресурсів. Згідно цієї вимоги будівлі та споруди повинні бути запроектовані, побудовані і знесені таким чином, щоб використання природних ресурсів було раціональним і забезпечувало, зокрема: можливість повторного використання або переробки конструкцій будівель і споруд, їх матеріалів і частин після знесення; довговічність будівель і споруд; можливість використання екологічно сумісних сировинних і вторинних матеріалів у будівлях і спорудах.

Разом з тим, в Україні відсутні механізми практичної реалізації цієї вимоги, у тому числі, інфраструктура поводження з відходами будівництва та знесення. За різними оцінками до війни в Україні утворювалось від 1,4 до 7 млн. тон відходів будівництва та знесення [14]. Сфера переробки, утилізації та повторного використання таких відходів практично не розвинута, частково через відносно недорогу вартість природних матеріалів, що робить повторне використання економічно недоцільним, частково через відсутність чітких вимог до утворювачів відходів (забудовників) до сталого управління ресурсами та відходами. На сьогодні спеціалізованих полігонів для захоронення будівельних відходів в Україні практично немає (наявні тільки полігон №6 у Києві та майданчик у Харкові). В інших містах ці відходи потрапляють на звалища побутових відходів, або в гіршому випадку – на несанкціоновані сміттєзвалища. За оціночними даними, на звалища вивозиться близько 3,5 млн т. відходів будівництва та знесення на рік [14]. Частка небезпечних відходів у складі відходів будівництва та знесення становить близько 5% або 350 тис. т. у рік. Ситуацію значно ускладнює військова агресія російської федерації в Україні,

що призвела до значних руйнувань житлових будівель, інфраструктурних та промислових об'єктів, внаслідок чого утворилися значні обсяги відходів руйнації. За попередніми підрахунками в Україні через військову агресію росії за рік обсяг відходів руйнування досяг 10-12 мільйонів тонн, що порівняно з кількістю щорічних твердих побутових відходів [15]. Слід також очікувати що після початку відновлення пошкоджених регіонів та нового будівництва будуть утворюватися великі обсяги відходів будівництва і знесення на додачу до вже накопичених.

Через виникнення катастрофічної ситуації з утворенням великої кількості будівельних відходів від руйнувань 20 червня 2022 року Верховна Рада України ухвалила проєкт нового рамкового закону «Про управління відходами» [16], заснованого на Національній стратегії управління відходами в Україні до 2030 року [17]. Закон набирає чинності через рік після його підписання Президентом України та офіційного опублікування (07.07.2022). Також Кабінет міністрів 27 вересня 2022 року затвердив «Про порядок поводження з відходами, що утворились у зв'язку з пошкодженням (руйнуванням) будівель та споруд внаслідок бойових дій» [18].

Зі зростаючою необхідністю відновлення міських територій, будівель та споруд міської інфраструктури та житла в Україні, яка потерпає від російської агресії, цілком природно виникає переконання, що для результативного і досить швидкого вирішення цієї проблеми, як альтернативу стандартним, дорогим і надто повільним технологіям будівництва необхідно впровадження нової високоефективної та недорогої, яку можна запровадити у найкоротші терміни у масштабах країни.

До подібних пропозицій сьогодні відноситься і питання визначення альтернативних заходів, щодо використовуваної сировини й технологій виготовлення будівельних матеріалів, що буде ефективно впливати на питання економіки, екології, термінів будівництва тощо.

Досвід багатьох розвинених країн світу показує, що в багатьох із них досить широко та ефективно вже використовується технологія рециклінгу в будівельній галузі. Проблема утилізації будівельних відходів в цих країнах найчастіше вирішується на державному рівні, деякі країни взагалі заборонили будівельні звалища, а в деяких вони ще існують, але при цьому мотивуванням до переробки стає значно вища вартість вивезення таких відходів в порівнянні з вартістю їх вторинного використання. У багатьох європейських країнах законодавством передбачено, що вивезення відходів на полігони або економічно не вигідне, або взагалі заборонено, деякі країни при прийомі відходів на полігони вимагають офіційних доказів того, що ці відходи переробити неможливо. Тому переробка сміття стає не тільки екологічно доцільною, але і економічно ефективною. У більшості держав світу на сьогодні

переробка будівельних відходів становить в середньому близько 50 % від загального обсягу виробництва будівельних матеріалів. Тільки у Європейському союзі за рік накопичується близько 200 мільйонів тонн будівельних відходів, з яких сьогодні 72 % переробляють і використовують в подальшому виробництві будівельних матеріалів, а 28 % вивозяться на зберігання у відвали.

В Україні офіційно налічується понад 5,5 тисяч звалищ, полігони загальною площею понад 9000 га, а також є понад 2000 незаконних звалищ. Більшість звалищ та полігонів вже майже заповнені, більшість з них не відповідає вимогам екологічної безпеки. Загроза для екологічної ситуації криється не тільки в різноманітності самих відходів, а й в їх тривалому розкладанні в природних умовах, окрім цього при їх розпаді виділяються отруйні сполуки, що забруднюють навколишнє середовище. Тож питання утилізації відходів (сміття) було дуже гострим завжди, не тільки під час війни, значна частина цих відходів – будівельні.

Більшість країн Європи почали шукати шляхи вирішення проблеми накопичення та утилізації будівельних відходів відразу ж після закінчення Другої світової війни під час відновлення зруйнованих міст. Для України також це питання стає все більш актуальним вже сьогодні. Під час воєнних дій з боку російських окупантів багато українських міст та населених пунктів зазнали різних за обсягом руйнувань. Станом на початок 2024 р. найбільш зруйнованими містами (а деякі з них практично повністю знищені) стали міста Маріуполь, Волноваха, Харків, Ізюм, Бахмут, Купянськ та інші (рис. 1).



Рис. 1. Приклади руйнувань забудови в різних районах м. Харкова під час війни, 2022-2023 р.

Як вже було зазначено вище будівельні відходи можливо отримати з різних джерел та після проведення різних видів будівельних робіт. Тож і перелік робіт щодо збору, вивезення, переробки та утилізації також відрізняється, інколи навіть дуже.

Місто після надзвичайних ситуацій, які були спровоковані воєнними злочинами, в зонах воєнних дій це складне середовище для проведення таких робіт. Руйнації, спричинені сучасними війнами супроводжуються прихованими загрозами, бо можуть містити, крім будівельного сміття, снаряди, що не вибухнули, протипіхотні міни і умисно заміновані ворогом пастки. В таких випадках ООН рекомендують протягом 2-3 діб зробити оцінку збитків постраждалих районів, ділянок, а для забезпечення доступу рятувальників перш за все почати з розчищення доріг, після чого приступають до очищення території від шкідливих і небезпечних матеріалів. Після проведення таких попереджувальних дій приступають безпосередньо до детальної оцінки руйнувань і вирішують, перелік робіт щодо завалів. Всі інші роботи залежать від цілей і пріоритетів місцевої влади, таких як швидкість і вартість, вплив на навколишнє середовище, залучення фахівців з розбору завалів, залучення місцевого населення.

Згідно вищесказаного за походженням будівельні відходи від руйнувань можна поділити на:

– будівельні відходи, що утворилися внаслідок пошкодження та руйнування об'єктів (повного або часткового порушення їх цілісності внаслідок позапроектних впливів, зумовлених бойовими діями, зокрема потрапляння засобів ураження, вибухів, пожеж);

– будівельні відходи, що утворилися в результаті виконання робіт з демонтажу пошкоджених (зруйнованих) об'єктів (поетапного контрольованого часткового чи повного розбирання на окремі елементи та вироби або неконтрольованого знесення внаслідок обвалення під час використання спеціальної техніки).

Будівельні відходи від руйнувань складаються з таких компонентів:

– основні компоненти: частини будівельних конструкцій (уламки, бій), заповнення дверних та віконних блоків, інженерних мереж, санітарно-технічних приладів тощо;

– супутні компоненти: матеріали, предмети, які були всередині або поряд з об'єктом у момент пошкодження (руйнування) або виконання робіт з його демонтажу, зокрема устаткування, особистих речей, предметів вжитку (меблів, побутової техніки) чи органічні речовини.

Операції щодо поводження з будівельними відходами від руйнувань повинні включати в себе наступні елементи (рис. 2):

- первинне розчищення територій (збирання відходів від руйнувань, зокрема за можливості – сортування окремих компонентів відходів від руйнувань);
- перевезення (транспортування) будівельних відходів від руйнувань від місця їх утворення до об'єктів поводження з відходами або місць тимчасового зберігання;
- остаточне розчищення та прибирання територій (після виконання робіт з демонтажу пошкоджених або зруйнованих об'єктів);
- зберігання будівельних відходів від руйнувань на місцях тимчасового зберігання або на інших об'єктах поводження з відходами (до їх утилізації чи видалення);
- перероблення будівельних відходів від руйнувань або їх знешкодження (у разі потреби);
- утилізація будівельних відходів від руйнувань (використання відходів як вторинних матеріальних чи енергетичних ресурсів);
- захоронення будівельних відходів які неможливо переробити.



Рис. 2. Операції щодо поводження з будівельними відходами від руйнувань

Згідно постанови Кабінету Міністрів України від 27 вересня 2022 р. № 1073 «Про порядок поводження з відходами, що утворились у зв'язку з пошкодженням (руйнуванням) будівель та споруд внаслідок бойових дій» [18] місця тимчасового зберігання будівельних відходів слід організовувати з дотриманням вимог екологічної та пожежної безпеки, охорони навколишнього природного середовища, раціонального використання і відтворення природних ресурсів, а також необхідних зон. А саме відстані санітарно-захисних зон складають: 2 кілометри – від об'єктів водного фонду; 0,5 кілометра – від житлової та громадської забудови, об'єктів соціальної інфраструктури; 0,2 кілометра – від сільськогосподарських угідь, доріг загального користування та залізничних шляхів загальної мережі; 0,05 кілометра – від лісів [18].

Згідно вище наведених відстаней санітарно-захисних зон усі місця тимчасового зберігання будівельних відходів потрібно ретельно організувати. Потрібно дотриматись наступних вимог щодо їх влаштування:

- твердої та рівної основи (покриття), зокрема з бетону, асфальту чи ущільненого ґрунту, покритого шаром геомембрани завтовшки не менше ніж 1,5 міліметра, захищеної від механічних пошкоджень шаром завтовшки не менше 0,5 метра;

- організованого відведення води, що утворюється внаслідок випадання атмосферних опадів (у разі потреби);

- огороженого периметра (у разі потреби);

- забезпечення освітлення території (у разі потреби);

- облаштованого в'їзду та під'їзних доріг, що забезпечують безперешкодний проїзд транспортних засобів.

Під час організації місць тимчасового зберігання слід передбачити відповідну організацію території, зокрема передбачити ділянки, призначені для тимчасового зберігання, сортування, оброблення (перероблення), тимчасового зберігання отриманої вторинної сировини.

Під час зберігання будівельних відходів від руйнувань слід заборонити їх змішування. Зберігання відходів слід здійснювати у спосіб, що забезпечує можливість безперешкодного навантаження на транспортний засіб для вивезення відходів з місць їх тимчасового зберігання. У місцях тимчасового зберігання потрібно допускати здійснення операцій з перероблення виключно основних компонентів відходів від руйнувань. Це можуть бути будівельні конструкції, заповнення дверних та віконних блоків, інженерні мережі, санітарно-технічні прилади тощо, які не містять або не забруднені небезпечними відходами.

Місця тимчасового зберігання, на яких передбачається зберігання горючих відходів від руйнувань, слід забезпечувати розрахунковим об'ємом

води для зовнішнього пожежогасіння, а також під час влаштування проїздів та доріг до таких місць тимчасового зберігання – передбачати проїзди для пожежної та іншої спеціальної техніки.

Переважає вид будівельних відходів в разі руйнування будівель це: засмічений ґрунт, асфальт, кам'яні матеріали, цегла, бетон і залізобетон, деревина, керамічна плитка тощо [19, 20]. Кожен з цих видів будівельних відходів потребує окремої переробки.

Деревина. Для виробництва будівельних матеріалів і виробів в основному використовують обпилювання, стружку й кускові відходи. Останні застосовують як безпосередньо для виготовлення клеєних будівельних виробів, так і переробляючи їх на технічну тріску, а потім на стружку, подрібленку, волокнисту масу тощо. Характер наступної переробки тріски визначається видом одержуваного матеріалу. Для отримання арболіту застосовують подрібленку або стружку, деревно-стружкових плит – стружку, деревоволокнистих плит - волокнисту масу.

Одним зі способів утилізації відходів деревини є виробництво паливних брикетів. У цілому весь процес виробництва паливних брикетів являє собою шнекове пресування сухих обпилювань.

Цегельний рециклат. Робить його дробильно-сортувальний комплекс із розміром зерен до 80 мм, у різних фракціях. Найчастіше використовується для виробництва бетону. Такий бетон може бути використаний при зведенні стін, для виробництва збірних елементів або для готування спеціальних блоків. Цегла також може бути використаний для виробництва будівельної суміші як інгредієнт будівельного розчину. Останнім часом були також виготовлені пресовані пінобетонні блоки із суміші переробленої цегли й глини, змішаної із цементом або без добавки цементу.

Бетонний рециклат. Найбільше часто використовують як наповнювач у бетон. Використання переробленого бетону негативно впливає на фізичні властивості нового бетону (меншу міцність, пластичність, високу усадку тощо), проте, є багато способів, щоб використати такий бетон. Можна використати перероблений бетон у підстави доріг, під шпали, як заміна для щебенів конструкційного бетону нижчих класів. У силу своїх фізичних властивостей (більша кількість дрібних пор і груба поверхня), які впливають на поглинання звуку, дає можливість використати перероблений бетон у будівництві шумових бар'єрів. Підвищені вимоги до технічної й екологічної надійності будівельних матеріалів, виробів і конструкцій, отриманих із застосуванням вторинної сировини як мінеральної, тісно пов'язані з безпекою для здоров'я людини й максимальною комфортністю.

Перероблений асфальт. Перероблений асфальт повторно використовується не тільки як кам'яна фракція, а і як якийсь заповнювач. Асфальтобетон знятого й відновлюваного асфальтового мощення знову стає невід'ємною частиною нового покриття. Перероблений асфальтобетон заміняє частина нового асфальтобетону, необхідного для пристрою проїзних частин і пішохідних зон, тим самим зменшуючи витрати дорожніх підприємств. Принаймні, 80 % асфальтного покриття можна використати заново.

Фібробетон. Прикладом застосування відходів будівництва й зносу будинків є його використання при виробництві фібробетона. Цегельний або бетонний рециклат у цьому випадку є повною заміною природних заповнювачів. Комбінацією перероблених відходів будівництва разом із синтетичними волокнами й зв'язуванням створюється незвичайний фібробетон, новий композит, що має нові властивості, що дають широке застосування в будівельній практиці.

Скло. Єдиний вид сировини, що може бути перероблений безліч разів. Після утилізації скла, отримана сировина може бути застосовуватися при виготовленні піноматеріалів (піноскло), теплоізоляційних виробів, сандвіч-панелів, утеплювачів та ізоляції (скловата) для трубопроводів, наповнювача у бетоні, заповнювача.

Проаналізувавши перелік компонентів відходів від руйнувань запропоновано шляхи повторного використання у будівництві компонентів будівельних відходів (табл. 1).

Таблиця 1.

Шляхи повторного використання у будівництві компонентів будівельних відходів

Назва компонентів відходів від руйнування	Можливі шляхи повторного використання компонентів відходів від руйнувань
1	2
1. Бетон (бетонні, залізобетонні конструкції та вироби, їх уламки, мінеральні (цементно-піщані, гіпсові, вапняні тощо), полімерцементні мурувальні та опоряджувальні розчини)	<ul style="list-style-type: none"> – сировина для виробництва крупного та дрібного заповнювачів для бетонів (класу до С20/25), а також щебенево-піщаних сумішей для влаштування шарів покриття дорожнього одягу без використання в'язучих; – влаштування насипів автомобільних доріг;
	<ul style="list-style-type: none"> – сировина для виробництва крупного та дрібного заповнювачів для бетонів (класу до С20/25), а також щебенево-піщаних сумішей для влаштування шарів основи та покриття дорожнього одягу без використання в'язучих; – влаштування насипів автомобільних доріг; – сировина для виробництва порошкоподібних наповнювачів для виробництва стінових блоків і сухих будівельних сумішей;

Продовження таблиці 1

1	2
	<ul style="list-style-type: none"> – матеріали для зворотного заповнення (відновлення рельєфу, заповнення гірничих виробок (пустот), рекультивациі відпрацьованих гірничих об'єктів, інших ландшафтних робіт); – сировина для металевих будівельних конструкцій; – металобрухт (що утворюється під час видалення металевих включень, зокрема залізобетону) як вторинна сировина для металургійного виробництва; – подрібнений бетон як вторинний матеріальний ресурс для виробництва цементного клінкеру
2. Цегла (цегляний бій)	<ul style="list-style-type: none"> – сировина для влаштування дренажної подушки у заболочених районах; – укріплення ґрунтових і лісових доріг; – заповнювач для габіонів (силікатна цегла) (за винятком сировини для виробництва крупного та дрібного заповнювачів, а також щебенево-піщаних сумішей для влаштування шарів основи та покриття дорожнього одягу)
3. Облицювальна плитка, черепиця та кераміка (зокрема керамічна плитка, камені, санітарна кераміка)	Сировина для укріплення ґрунтових і лісових доріг (за винятком сировини для виробництва крупного та дрібного заповнювачів, а також щебенево-піщаних сумішей для влаштування шарів основи та покриття дорожнього одягу)
4. Суміші або окремі фракції бетону, цегли, облицювальної плитки і кераміки	<ul style="list-style-type: none"> – сировина для виробництва крупного та дрібного заповнювачів для бетонів (класу до С20/25), а також щебенево-піщаних сумішей для влаштування шарів основи та покриття дорожнього одягу без використання в'язучих; – влаштування насипів автомобільних доріг; – сировина для виробництва порошкоподібних наповнювачів для виробництва стінових блоків і сухих будівельних сумішей; – матеріали для зворотного заповнення (відновлення рельєфу, заповнення гірничих виробок (пустот), рекультивациі відпрацьованих гірничих об'єктів, інших ландшафтних робіт); – сировина для металевих будівельних конструкцій; – металобрухт (що утворюється під час видалення металевих включень, зокрема залізобетону) як вторинна сировина для металургійного виробництва; – подрібнений бетон як вторинний матеріальний ресурс для виробництва цементного клінкеру; – заповнювачів, а також щебенево-піщаних сумішей для влаштування шарів основи та покриття дорожнього одягу

Продовження таблиці 1

1	2
5. Деревина	– арболіт, деревні пластики, теплоізоляційні та звукоізоляційні матеріали (плити), деревностружкові плити, паливні брикети; – спорудження тимчасових проїздів під час відновлення руху через перешкоду; – вторинний матеріально-енергетичний ресурс для цементного виробництва
6. Скло (склобій)	Порошкоподібний заповнювач для виробництва бетонних виробів, сухих будівельних сумішей, світловідбивних фарб для дорожньої розмітки тощо, вторинна сировина для виробництва скловиробів, оптичних кабелів тощо
7. Пластмаси (частини, уламки пластмасових труб водопостачання, водовідведення, електропроводки, полімерних погонажних виробів, склопакетів полімерних ущільнювачів тощо)	– вторинна сировина для виробництва полімерної продукції; – вторинний матеріально-енергетичний ресурс для цементного виробництва (за винятком полівінілхлориду)
8. Бітумні суміші, що містять вугільну смолу (покрівельні та гідроізоляційні будівельні вироби: бітумні, дьогтьові, дьогтебітумні, бітумополімерні, гумо-дьогтьові та бітумні безосновні матеріали (ізол), вироби на основі картону (руберойд, пергамін, толь)	Компонент асфальтобетонних та бітумомінеральних сумішей для шару основи дорожнього одягу автомобільних доріг III-IV категорій, бітумінозних будівельних матеріалів тощо
9. Бітумовмісні матеріали у вигляді пошкодженого асфальтобетону	Компонент асфальтобетонних та бітумомінеральних сумішей для шару основи дорожнього одягу автомобільних доріг III-IV категорій, бітумінозних будівельних матеріалів тощо
10. Вугільна смола та просмолені продукти	Компонент асфальтобетонних та бітумомінеральних сумішей для шару основи дорожнього одягу автомобільних доріг III-IV категорій, бітумінозних будівельних матеріалів тощо
11. Метали (включаючи їх сплави): мідь, бронза, латунь, алюміній, свинець, цинк, чавун, сталь, олово, змішані метали	Вторинна сировина для металургійного виробництва
12. Кабелі	Виокремлення металевих компонентів для повторної переробки
13. Ґрунт та каміння	Засипка окремих ділянок, формування ландшафту в рамках планування територій, влаштування насипів автомобільних доріг
14. Дорожній баласт (щебінь)	Влаштування шарів основи дорожнього одягу, влаштування насипів автомобільних доріг
15. Ізоляційні матеріали, що містять азбест	Наповнювачі для виробництва вогнестійких виробів, заповнювачі для бетону, покрівельні вироби

Закінчення таблиці 1

1	2
16. Теплоізоляційні матеріали і вироби мінеральні та полімерні, що складаються з небезпечних речовин або містять їх: мінеральна вата спучений перліт, вермикуліт, спінений та екструдований полістирол тощо	Вторинна сировина для виробництва полімерної та іншої аналогічної продукції, скла, кераміки як заповнювачів та наповнювачі для виробництва бетону тощо
17. Будівельні матеріали (вироби (продукція) на основі гіпсу	Домішки до сухих будівельних сумішей, вторинна сировина для виробництва аналогічної продукції, вторинний матеріальний ресурс для цементного виробництва
18. Супутні компоненти відходів від руйнувань (матеріали, предмети, які були всередині або поряд із об'єктом у момент пошкодження (руйнування) або виконання робіт з його демонтажу, зокрема устаткування, особисті речі, предмети вжитку (меблі, побутова техніка), органічні речовини тощо)	Потребують окремої утилізації

У межах програми відновлення України для розвитку напряму рециклінгу будівельних відходів перш за все необхідно створити інституціональну систему, що буде займатися винятково переробкою будівельних відходів. Із цією метою, спираючись на досвід країн світу, за участю всіх зацікавлених осіб повинна з'явитися нормативна база, яка буде регулювати всі етапи збору, вивезення, утилізації та переробки будівельних відходів, дозволить контролювати стан навколишнього середовища, а також законодавча концепція фінансування. Нормативні акти повинні зобов'язати компанії, діяльність яких приводить до утворення відходів, для наступної переробки передавати їх спеціалізованим підприємствам.

В плані відновлення України поетапно із зазначенням конкретних термів виконання треба передбачити наступні заходи:

- удосконалити порядок поводження з відходами, що утворились у зв'язку з пошкодженням будівель та споруд внаслідок бойових дій, терористичних актів, диверсій або проведенням робіт з ліквідації їх наслідків.

- розробити настанову щодо повторного використання відходів будівництва і знесення та систему гарантування якості.

- розробити настанову щодо поводження з відходами для будівель і споруд, що будують, ремонтують, реконструюють, реставрують, розбирають, зносять на етапі підготовки проєктної документації.

– розробити керівництво щодо проведення аудиту відходів перед знесенням та реконструкцією будівель.

– закупити засоби поводження з відходами будівництва і знесення (контейнери, навантажувачі, екскаватори, сміттєвози).

– побудувати об'єкти поводження з відходами будівництва і знесення (місця тимчасового зберігання, дробильні та сортувальні установки, лінії, полігони).

– здійснити сортування відходів від руйнування на утворених місцях тимчасового зберігання, переробити та утилізувати утворені відходи будівництва і знесення.

– впровадити плани управління відходами будівництва і знесення для будівельних майданчиків.

Висновки. В найближчому майбутньому переробка будівельних відходів в Україні, як і в інших країнах світу, повинна стати невід'ємною вимогою при здійсненні будь-яких будівельних робіт.

Ефективність введення рециклінгу будівельних відходів, як одного з інноваційних процесів, що виконується під час проведення різноманітних будівельних робіт, а особливо під час післявоєнного відновлення зруйнованих міських територій в Україні, та який повинен передбачатися ще на стадії проєктування будівлі, для окремих міст і країни в цілому визначиться у:

– значному зниженні необхідності додаткових місць для захоронення будівельних відходів;

– можливості зменшення споживання природної первинної сировини, тобто зниженні навантаження на навколишнє середовище;

– зниженні транспортних операцій пов'язаних з перевезенням будівельного сміття до місць його захоронення.

Однією з важливих, з огляду на війну, складовою відновлених міст повинна буде безпека, екологічна в тому числі. Відповідно до міжнародного екологічного законодавства, необхідно закріпити, по-перше, пріоритет утилізації відходів над їхнім розміщенням, а по-друге, принцип відповідальності виробників за утилізацію своїх відходів.

У перспективі вимагає рішення питання розподілу відповідальності й повноважень державних, регіональних і місцевих органів влади. У їхню компетенцію повинен бути переданий весь цикл утилізації відходів, а не тільки контрольна-наглядова функція й організаційна ініціатива.

Урядом України на сьогодні вже спрощено процедуру щодо імпорту будівельної продукції, необхідної для відбудови зруйнованої інфраструктури міст. Регіони коштом держбюджету зможуть закуповувати будівельні матеріали та невідкладно проводити першочергові аварійно-ремонтні роботи на

зруйнованих збройною агресією росії об'єктах. Але використання будівельних відходів як вторинної сировини дозволить знизити витрати на нове будівництво, реконструкцію, відновлення зруйнованих об'єктів, скоротити споживання сировинних ресурсів, зменшити навантаження на полігони поховання відходів.

Використана література:

1. Ferriss, L. (2021). Sustainable reuse of post-war architecture through life cycle assessment. *Journal of architectural conservation*, vol. 27, No. 3, pp. 208–224. Retrieved from <https://doi.org/10.1080/13556207.2021.1943260>
2. Larkham, Peter J., Adams, D. (2022). Relics of War: Damaged Structures and Their Replacement or Management in Modern Landscapes. *Sustainability*, 14, No. 20: 13513. Retrieved from <https://doi.org/10.3390/su142013513>
3. Nikolić, E., Ivana, D., Mladen, J., Ljiljana, M., Nevenka, M. (2023). Recycling and Reuse of Building Materials in a Historical Landscape. *Viminacium Natural Brick (Serbia) Sustainability* 15, No. 3, 2824. Retrieved from <https://doi.org/10.3390/su15032824>
4. Troian, V., Gots, V., Keita, E., Roussel, N., Angst, U.; Flatt, R.J. (2022). Challenges in Material Recycling for Postwar Reconstruction. *RILEM Tech Lett* 7. pp. 139–149. Retrieved from <https://doi.org/10.21809/rilemtechlett.2022.171>
5. Sandeep, N. (2021). Utilization of recycled form of concrete, E-wastes, glass, quarry rock dust and waste marble powder as reliable construction materials. *Materials Today: Proceedings*, vol. 45, part 2, pp. 3231–3234. Retrieved from <https://doi.org/10.1016/j.matpr.2020.12.381>
6. Шишкін Е.А. Методика реновації промислових об'єктів, розташованих на території міста / Е.А. Шишкін, Ю.І. Гайко, К.І. Вяткін, А.М. Панкеева; Містобудування та територіальне планування: Наук-техн. Збірник. – Київ: КНУБА, 2020.– Вип.72. – С. 288–303. DOI: <https://doi.org/10.32347/2076-815x.2020.72.288-303>
7. Реновація промислової забудови та її адаптація до сучасного міського середовища : монографія / [Ю.І. Гайко, Є.Ю. Гнатченко, О.В. Завальний, Е.А. Шишкін; за заг. ред. Ю.І. Гайка, Е.А. Шишкіна]; Харків. нац. ун-т міськ. госп-ва ім. О. М. Бекетова. – Харків : ХНУМГ ім. О. М. Бекетова, 2021. – 355 с. ISBN 978-966-695-526-8 <https://eprints.kname.edu.ua/57691/>
8. Реконструкція цивільних та промислових будівель і споруд : підручник [за ред. Е.А. Шишкіна, О.В. Завального]; Харків. нац. ун-т міськ. госп-ва ім. О.М. Бекетова. – Харків : ХНУМГ ім. О.М. Бекетова, 2021. – 409 с. <https://eprints.kname.edu.ua/60932>
9. Ulucan, M., Esat K., Alyamac. (2022). A holistic assessment of the use of emerging recycled concrete aggregates after a destructive earthquake: Mechanical, economic and environmental. *Waste Management*, vol. 146, pp. 53–65. Retrieved from <https://doi.org/10.1016/j.wasman.2022.04.045>
10. Nour, Madi, Issam, Srour. (2019). Managing emergency construction and demolition waste in Syria using GIS. *Resources, Conservation and Recycling*, vol. 141, pp.163–175. Retrieved from <https://doi.org/10.1016/j.resconrec.2018.10.018>
11. Amal, Bakshan; Issam, Srour; Ghassan, Chehab; Mutasem, El-Fadel. (2015) A field based methodology for estimating waste generation rates at various stages of construction projects. *Resources, Conservation and Recycling*, vol. 100, pp. 70–80. Retrieved from <https://doi.org/10.1016/j.resconrec.2015.04.002>

12. Chepurna, S., Borziak, O., Zubenko, S. (2019). Concretes, modified by the addition of high-diffused chalk, for small architectural forms. *Materials Science Forum*, vol. 968, pp. 82–88. Retrieved from <https://doi.org/10.4028/www.scientific.net/MSF.968.82>
13. Gyawali, T.R. (2022). Re-use of concrete/brick debris emerged from big earthquake in recycled concrete with zero residues. *Cleaner Waste Systems*, vol. 2, 100007, Retrieved from <https://doi.org/10.1016/j.clwas.2022.100007>
14. Проект Плану відновлення України. Матеріали робочої групи «Будівництво, містобудування, модернізація міст та регіонів України», липень 2022 р. [Електронний ресурс]. – Національна рада з відновлення України від наслідків війни, 350 с. Режим доступу URL: <https://www.kmu.gov.ua/storage/app/sites/1/recoveryrada/ua/construction-urban-planning-modernization-of-cities-and-regions.pdf>
15. Міністерство захисту довкілля та природнихресурсів України (2023) Міндовкілля: Відходи руйнації в Україні вже можна порівняти з кількістю твердих побутових відходів, що в середньому утворюються в країні за рік. Режим доступу URL: <https://www.kmu.gov.ua/news/mindovkillia-vidkhody-ruinatsii-v-ukraini-vzhe-mozhna-porivniaty-z-kilkistiu-tverdykh-pobutovykh-vidkhodiv-shcho-v-serednomu-utvoriuiutsia-v-kraini-za-rik>
16. Верховна Рада України. Закон України № 2320-IX від 20.06.2022 «Про управління відходами».
17. Розпорядження Кабінету Міністрів України; Стратегія від 08.11.2017 № 820-р «Про схвалення Національної стратегії управління відходами в Україні до 2030 року».
18. 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, затверджений постановою Кабінету Міністрів України від 27 вересня 2022 р. № 1073 [Електронний ресурс]. Режим доступу URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/1073-2022-%d0%bf#text>
19. Silva, R.V., Brito, J., Dhir, R.K. (2019). Use of recycled aggregates arising from construction and demolition waste in new construction applications. *Journal of Cleaner Production*, vol. 236, 117629. Retrieved from <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2019.117629>
20. Tortorici, G., Fiorito, F. (2017). Building in Post-war Environments. *Procedia Engineering*, vol. 180, pp. 1093–1102. Retrieved from <https://doi.org/10.1016/j.proeng.2017.04.269>

Ph.D., associate Professor **Shyshkin Eduard**,
Ph.D., associate Professor **Haiko Yurii**, **Chernonosova Tetiana**,
O.M. Beketov National University of Urban Economy in Kharkiv

WAYS OF RECYCLING CONSTRUCTION WASTE DURING THE POST-WAR RECONSTRUCTION OF RUINED CITIES

There are officially more than 5.5 thousand dumps in Ukraine, landfills with a total area of more than 9,000 hectares, and there are more than 2000 illegal dumps. The issue of waste disposal (garbage) has always been very acute, not only during the war, a significant part of this waste is construction waste. During the hostilities, many Ukrainian cities and settlements suffered various types of destruction, and some suffered almost the greatest destruction of various objects of urban infrastructure. All

this contributed to the emergence of a large amount of demolition waste. The article analyzes the current state of management of demolition waste in Ukraine. The goals and objectives of recycling construction waste in the conditions of post-war reconstruction of destroyed urban areas are formulated. The results of theoretical studies of methods of utilization of demolition waste by their reuse in construction are given. The preferred types of construction waste in case of destruction of buildings include clogged soil, asphalt, stone materials, brick, concrete and reinforced concrete, wood, ceramic tiles, etc. Each of these types of demolition waste needs a separate recycling. The article gives the classification and structure of demolition waste and defines, what operations to handle it are required. The requirements for the arrangement of temporary storage of construction waste are formulated. Prospects for the development of recycling of demolition waste in Ukraine are considered. The ways of reuse in construction of demolition waste components are proposed. Recommendations of measures of step-by-step management of construction waste in Ukraine were provided.

Keywords: demolition waste; recycling; utilization; processing.

REFERENCES

1. Ferriss, L. (2021). Sustainable reuse of post-war architecture through life cycle assessment. *Journal of architectural conservation*, vol. 27, No. 3, pp. 208–224. Retrieved from <https://doi.org/10.1080/13556207.2021.1943260>. {in English}
2. Larkham, Peter J., Adams, D. (2022). Relics of War: Damaged Structures and Their Replacement or Management in Modern Landscapes. *Sustainability*, 14, No. 20: 13513. Retrieved from <https://doi.org/10.3390/su142013513>. {in English}
3. Nikolić, E., Ivana, D., Mladen, J., Ljiljana, M., Nevenka, M. (2023). Recycling and Reuse of Building Materials in a Historical Landscape. *Viminacium Natural Brick (Serbia) Sustainability* 15, No. 3, 2824. Retrieved from <https://doi.org/10.3390/su15032824>. {in English}
4. Troian, V., Gots, V., Keita, E., Roussel, N., Angst, U.; Flatt, R.J. (2022). Challenges in Material Recycling for Postwar Reconstruction. *RILEM Tech Lett* 7. pp. 139–149. Retrieved from <https://doi.org/10.21809/rilemtechlett.2022.171>. {in English}
5. Sandeep, N. (2021). Utilization of recycled form of concrete, E-wastes, glass, quarry rock dust and waste marble powder as reliable construction materials. *Materials Today: Proceedings*, vol. 45, part 2, pp. 3231–3234. Retrieved from <https://doi.org/10.1016/j.matpr.2020.12.381>. {in English}
6. Shyshkin E.A. Metodyka renovatsii promyslovykh ob'ektiv, roztashovanykh na terytorii mista / E.A. Shyshkin, Yu.I. Haiko, K.I. Viatkin, A.M. Pankeieva ; Mistobuduvannia ta terytorialne planuvannia: Nauk-tekhn. Zbirnyk. – Kyiv: KNUBA, 2020.– Vyp.72. – S. 288–303. DOI: <https://doi.org/10.32347/2076-815x.2020.72.288-303>. {in Ukrainian}
7. Renovatsiia promyslovoi zabudovy ta yii adaptatsiia do suchasnoho miskoho seredovyscha: monohrafiia / [Iu.I. Haiko, Ye.Yu. Hnatchenko, O.V. Zavalnyi, E.A. Shyshkin; za zah. red. Yu. I. Haika, E. A. Shyshkina] ; Kharkiv. nats. un-t misk. hosp-va im. O.M. Beketova. – Kharkiv : KhNUMH im. O.M. Beketova, 2021. – 355 s. ISBN 978-966-695-526-8 <https://eprints.kname.edu.ua/57691>. {in Ukrainian}

8. Rekonstruktsiia tsyvilnykh ta promyslovykh budivel i sporud: pidruchnyk [za red. E.A. Shyshkina, O.V. Zavalnoho]; Kharkiv. nats. un-t misk. hosp-va im. O.M. Beketova. – Kharkiv: KhNUMH im. O.M. Beketova, 2021. – 409 s. <https://eprints.kname.edu.ua/60932>. {in Ukrainian}
9. Ulucan, M., Esat K., Alyamac. (2022). A holistic assessment of the use of emerging recycled concrete aggregates after a destructive earthquake: Mechanical, economic and environmental. *Waste Management*, vol. 146, pp. 53–65. Retrieved from <https://doi.org/10.1016/j.wasman.2022.04.045>. {in English}
10. Nour, Madi, Issam, Srour. (2019). Managing emergency construction and demolition waste in Syria using GIS. *Resources, Conservation and Recycling*, vol. 141, pp.163–175. Retrieved from <https://doi.org/10.1016/j.resconrec.2018.10.018>. {in English}
11. Amal, Bakshan; Issam, Srour; Ghassan, Chehab; Mutasem, El-Fadel. (2015) A field based methodology for estimating waste generation rates at various stages of construction projects. *Resources, Conservation and Recycling*, vol. 100, pp. 70–80. Retrieved from <https://doi.org/10.1016/j.resconrec.2015.04.002>. {in English}
12. Chepurna, S., Borziak, O., Zubenko, S. (2019). Concretes, modified by the addition of high-diffused chalk, for small architectural forms. *Materials Science Forum*, vol. 968, pp. 82–88. Retrieved from <https://doi.org/10.4028/www.scientific.net/MSF.968.82>. {in English}
13. Gyawali, T.R. (2022). Re-use of concrete/brick debris emerged from big earthquake in recycled concrete with zero residues. *Cleaner Waste Systems*, vol. 2, 100007, Retrieved from <https://doi.org/10.1016/j.clwas.2022.100007>. {in English}
14. Proekt Planu vidnovlennia Ukrainy. Materialy robochoi hrupy «Budivnytstvo, mistobuduvannia, modernizatsiia mist ta rehioniv Ukrainy», lypen 2022 r. [Elektronnyi resurs]. – Natsionalna rada z vidnovlennia Ukrainy vid naslidkiv viiny, 350 s. Rezhym dostupu URL: <https://www.kmu.gov.ua/storage/app/sites/1/recoveryrada/ua/construction-urban-planning-modernization-of-cities-and-regions.pdf>. {in Ukrainian}
15. Ministerstvo zakhystu dovkillia ta pryrodnykhresursiv Ukrainy (2023) Mindovkillia: Vidkhody ruinasii v Ukraini vzhe mozhna porivniaty z kilkistiu tverdykh pobutovykh vidkhodiv, shcho v serednomu utvoriuiutsia v kraini za rik. Rezhym dostupu URL: <https://www.kmu.gov.ua/news/mindovkillia-vidkhody-ruinasii-v-ukraini-vzhe-mozhna-porivniaty-z-kilkistiu-tverdykh-pobutovykh-vidkhodiv-shcho-v-serednomu-utvoriuiutsia-v-kraini-za-rik>. {in Ukrainian}
16. Verkhovna Rada Ukrainy. Zakon Ukrainy № 2320-IX vid 20.06.2022 «Pro upravlinnia vidkhodamy». {in Ukrainian}
17. Rozporiadzhennia Kabinetu Ministriv Ukrainy; Stratehiia vid 08.11.2017 № 820-r «Pro skhvalennia Natsionalnoi stratehii upravlinnia vidkhodamy v Ukraini do 2030 roku». {in Ukrainian}
18. Poriadok povodzhennia z vidkhodamy, shcho utvorylys u zviazku z poshkodzhenniam (ruinuvanniam) budivel ta sporud vnaslidok boiovykh dii, terorystychnykh aktiv, dyversii abo provedenniam robit z likvidatsii yikh naslidkiv, zatverdzhenyi postanovoioiu Kabinetu Ministriv Ukrainy vid 27 veresnia 2022 r. № 1073 [Elektronnyi resurs]. Rezhym dostupu URL:<https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/1073-2022-%d0%bf#text>. {in Ukrainian}
19. Silva, R.V., Brito, J., Dhir, R.K. (2019). Use of recycled aggregates arising from construction and demolition waste in new construction applications. *Journal of Cleaner Production*, vol. 236, 117629. Retrieved from <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2019.117629>. {in English}
20. Tortorici, G., Fiorito, F. (2017). Building in Post-war Environments. *Procedia Engineering*, vol. 180, pp. 1093–1102. Retrieved from <https://doi.org/10.1016/j.proeng.2017.04.269>. {in English}