

УДК 69:001.89; 69:658.567

DOI <https://doi.org/10.32782/2664-0406.2024.44.2>

Григоровський П.Є.

д.т.н., ДП «Науково-дослідний інститут будівельного виробництва імені В.С. Блицького», м. Київ

Червяков Ю.М.

к.т.н., ДП «Науково-дослідний інститут будівельного виробництва імені В.С. Блицького», м. Київ

Басанський В.О.

к.т.н., ДП «Науково-дослідний інститут будівельного виробництва імені В.С. Блицького», м. Київ

Мурасьова О.В.

к.т.н., ДП «Науково-дослідний інститут будівельного виробництва імені В.С. Блицького», м. Київ

Халупка Ю.М.

інженер, ДП «Науково-дослідний інститут будівельного виробництва імені В.С. Блицького», м. Київ

Бількевич Ю.В.

інженер, ДП «Науково-дослідний інститут будівельного виробництва імені В.С. Блицького», м. Київ

ТЕХНОЛОГІЇ ТА ОБЛАДНАННЯ ДЛЯ ПІДГОТОВКИ БУДІВЕЛЬНИХ ВІДХОДІВ ДО ВИКОРИСТАННЯ

Анотація. Мета статті – дослідження світового досвіду реалізації технологій та обладнання підготовки відходів будівництва та знесення для виробництва вторинних сировинних матеріалів, який може бути використано в Україні під час відновлення будівель і споруд, пошкоджених або зруйнованих в результаті воєнних дій. Аналітичними дослідженнями встановлено, що вибір обладнання для переробки відходів обумовлено складом відходів, який відрізняється в різних країнах і залежить від набору будівельних матеріалів, що використовуються для зведення об'єктів. Викладено результати вивчення світового ринку обладнання для переробки твердих будівельних відходів. Найбільш придатними для переробки відходів за технічними характеристиками є гірнича техніка та устаткування для виробництва нерудних будівельних матеріалів, яке використовують у технологічних лініях з виробництва вторинної сировини з бетонних і цегляних уламків. Наведено основні технологічні етапи та виявлено, що найскладнішою операцією в технологічному ланцюжку переробки відходів будівництва та знесення є сортування та розділення вторинної сировини. Представлено інноваційні технології сортування та розділення відходів (магнітна сепарація; сенсорна технологія автоматичного сортування з використанням кольорових, рентгенівських або ближнього інфрачервоного датчиків; роботизована технологія сортування з використанням штучний інтелекту; технологія сортування із застосуванням рентгенівського випромінювання; технологія сортування кольорів; технологія сортування в ближньому інфрачервоному діапазоні; технологія сортування за допомогою лазерно-індукованої спектроскопії (пробою) і стаціонарне й мобільне обладнання для їх реалізації, які може бути використано для підготовки відходів будівництва та знесення для виробництва вторинних сировинних матеріалів в Україні.

Ключові слова: відходи будівництва та знесення, технології переробки, світовий досвід, стаціонарне та мобільне устаткування.

Постановка проблеми. Відходи будівництва та знесення об'єктів становлять більше третини всіх відходів, що утворюються в розвинених країнах. До їх складу входять вироби або уламки виробів з металу, бетону, цегляного мурування, керамічної плитки та черепиці, дерева, скла та пластику, гіпсокартону, причому більшу частину за масою становлять відходи виробів з мінеральної сировини – бетону та цегли. За оцінками спеціалістів, за масовим вмістом 52 % будівельних відходів становить бетон та залізобетон, 32 % – кам'яні стінові матеріали, 8 % – відходи асфальту та будівельних розчинів, 4 % – відходи металів, 2 % – відходи дерева та пластмас, 1 % – керамічні вироби (сантехнічна кераміка, керамічна плитка), 1 % – гіпсокартон, скло та інші відходи [1].

Економічне зростання країни сприяє збільшенню обсягів відходів, в т.ч. будівельних [2]. Кількість будівельних відходів, щорічно утворених на душу населення, перевищує 2 т [3]. Значний обсяг відходів будівництва та знесення переробляють на вторинні сировинні матеріали для використання в будівництві. Основною ділянкою технології виробництва вторинних сировинних матеріалів без домішок сторонніх включень є попереднє розділення будівельних відходів за групами основних складових.

Мета статті полягає в дослідженні світового досвіду реалізації технологій та обладнання підготовки відходів будівництва та знесення для виробництва вторинних сировинних матеріалів, який може бути використано в Україні під час відновлення будівель і споруд, пошкоджених або зруйнованих в результаті воєнних дій.

Результати досліджень. Залежно від будівельних матеріалів, які використовуються для зведення об'єктів, склад відходів будівництва та знесення значно відрізняється в різних країнах, що обумовлює вибір устаткування для переробки відходів.

На світовому ринку обладнання для переробки твердих будівельних відходів своє стаціонарне та мобільне устаткування представляють понад два десятки компаній. Найбільш придатними для переробки відходів будівництва та знесення за технічними характеристиками є гірнича техніка та устаткування для виробництва нерудних будівельних матеріалів.

Провідні виробники постійно працюють над удосконаленням техніки, що виготовляють. Сьогодні попитом користуються пере-

важно мобільні установки на гусеничній базі продуктивністю від 100 т до 450 т вторинної продукції за годину.

Сфера застосування такого обладнання – переробка бетонних і цегляних відходів, залізничних бетонних шпал. Крім переробки додатково в програмі кожного виробника пропонуються мобільні сортувальні комплекси, що дозволяють розділити на фракції вторинний щебінь розміром від 0 до 120 мм для подальшого використання у виробництві будівельної продукції.

Технологія переробки відходів будівництва та знесення зазвичай включає кілька основних етапів:

- збір і транспортування: відходи збирають та транспортують на майданчик для переробки;

- сортування та розділення: коли відходи надходять на майданчик для переробки, їх сортують за різними категоріями;

- первинне подрібнення: великі уламки бетону, кам'яної кладки, асфальту часто подрібнюють на уламки менших розмірів для полегшення наступного дроблення;

- відокремлення металів: метали відокремлюють від інших матеріалів за допомогою магніту або вихрового сепаратора;

- обробка деревини: деревні відходи зазвичай подрібнюють на дрібніші частини для використання в якості палива, мульчі або для виробництва виробів з деревини;

- остаточна переробка: відокремлені матеріали обробляють для виробництва нових матеріалів або сировини для виробництва нової будівельної продукції.

Найскладнішою операцією в технологічному ланцюжку переробки відходів будівництва та знесення є сортування та розділення вторинної сировини. Сортування відходів можна здійснювати вручну на місці їх утворення та збирати вже розділені відходи або автоматично розділяти на підприємствах з переробки вторинних матеріалів. Ручне сортування було першим методом в історії сортування відходів. Сьогодні на ринку представлено широкий вибір інноваційних технологій сортування та розділення відходів і обладнання для їх реалізації [4]:

- магнітну сепарацію використовують для відокремлення металів від немагнітних матеріалів. Магніти розташовують вздовж конвеєрів, де вони розміщуються над або під конвеєрними стрічками;

– просіювання за допомогою однієї або кількох поверхонь просіювання. Сита можна використовувати до або після подрібнення та після повітряного відділення відходів. Роторні барабанні грохоти та різноманітні вібраційні грохоти є найбільш часто використовуваними грохотами в даний час;

– сенсорна технологія автоматичного сортування з використанням кольорових, рентгенівських або ближнього інфрачервоного датчиків. Сортування на основі сенсорів використовується для частинок розмірами від 0,5 мм до 300 мм і завершується перед застосуванням методів тонкого подрібнення та хімічної обробки;

– роботизована технологія сортування, яка використовує штучний інтелект. Високотехнологічні комп'ютерні системи розпізнають конкретні об'єкти на конвеєрних стрічках, а датчики, прикріплені до рук роботів, можуть виявляти та вилучати скло, пластик та будь-які інші предмети, що підлягають вторинній переробці та містяться в будівельних відходах, та розміщувати їх у відповідних контейнерах;

– технологія сортування із застосуванням рентгенівського випромінювання дозволяє розділяти матеріали на основі їхньої специфічної атомної щільності шляхом попереднього розпізнавання матеріалу. Зареєстрований сигнал визначає наявність відібраного матеріалу конкретної атомної щільності, тому на процес сортування не впливають інші властивості матеріалу;

– технологія індукційного сортування є доповненням до магнітної сепарації. Попередньо відсортований сипучий матеріал подають на конвеєр. Під конвеєром по всій ширині стрічки розташовують металодетектори, які являють собою котушки з певною індуктивністю. Ця індуктивність змінюється, якщо метал проходить повз. Якщо метал буде розпізнаний, його буде видалено стисненим повітрям. Чистота відсортованих матеріалів до 90 %;

– технологію сортування кольорів можна використовувати для розрізнення кольорових і безбарвних виробів з поліетилентерефталату та поліетилену низького тиску, а також розділення різнокольорових пластикових предметів або частин;

– технологія сортування в ближньому інфрачервоному діапазоні (NIR) є найкращою технологією сортування пластмас, оскільки вона може точно ідентифікувати багато різних полімерів;

– технологія сортування за допомогою лазерно-індукованої спектроскопії пробую (LIBS) може швидко ідентифікувати типи металу, а також виконувати одночасний багатоелементний аналіз.

Різні учасники ринку технологічного обладнання для подрібнення відходів будівництва та знесення пропонують свої машини.

Портативні дробильні установки Zenith можуть швидко почати працювати без будь-якого фундаменту (рис. 1) [5].



Рис. 1. Дробильна установка фірми «Zenith»

Компактна конструкція та розбірні частини зручні для транспортування, скорочуючи витрати на зміну дислокації. Вібраційний живильник може забезпечити попереднє розділення відходів за розмірами, що обумовить збільшення потужності дроблення та зниження виробничих витрат. На вимогу користувача може бути додано водоструйний пристрій для придушення пилу. Завдяки вмонтованій в транспортний засіб системі стрічкового конвеєра, дробарки та вібросита потребує невелику площу, що підходить у випадку необхідності дроблення будівельних відходів на майданчику з обмеженими розмірами.

Фірма «GER ECOTECH» пропонує [6] рішення для переробки відходів будівництва та знесення, що охоплюють ефективно первинне розділення відходів за розмірами компонентів, легке дроблення та розділення подрібненого матеріалу за розмірами (рис. 2).

Для численних проектів з утилізації відходів будівництва та знесення перевагу надають мобільним версіям обладнання, оскільки вони можуть працювати на місці, заощаджуючи значні витрати на транспортування (рис. 3). Крім того, їх здатність переміщатися відповідно до вимог місця сприяє підвищенню ефективності роботи.



Рис. 2. Дробильно-сортувальний комплекс фірми «GER ECOTECH»



Рис. 3. Мобільне обладнання фірми «GER ECOTECH»

Мобільне обладнання фірми «GER ECOTECH» втілює цю гнучкість і універсальність. Обладнання може бути встановлено на гусеничному ході або на колесах і забезпечувати багатоступінчасте подрібнення відходів.

Мобільна дробарка будівельних відходів (рис. 4) є універсальним і практичним рішенням для переробки на місці. Вона може обробляти різні типи будівельних відходів та зменшувати їх об'єм. Магнітний сепаратор відділяє метал. Система пилопоглинання контролює вміст часток у повітрі. Оснащена засобами безпеки для запобігання нещасним випадкам під час процесу подрібнення.

Новий повністю автоматизований завод Eberhard Group із переробки відходів використовує роботи зі штучним інтелектом від ZenRobotics для збирання вторинних матеріалів зі змішаних відходів будівництва та знесення [7].

Роботи використовуються як основна система сортування на новому заводі, який включає дві паралельні сортувальні лінії з кількома високопродуктивними роботами на кожній (рис. 5). Потужність заводу 200 т

змішаних відходів будівництва та знесення на годину. Роботи ZenRobotics, що сортують відходи на двох лініях із шістьма захватами, збирають до 12 000 предметів на годину масою до 30 кг, відокремлюючи від потоку мінеральні матеріали та сторонні домішки.



Рис. 4. Мобільна дробарка будівельних відходів



Рис. 5. Загальний вигляд ліній з роботами для сортування будівельних відходів

Центри досліджень і розробок VITO в Нідерландах і TECNALIA в Іспанії співпрацювали з компанією TITECH, що спеціалізується на процесах автоматичного сортування. Зразки відходів будівництва та знесення були зібрані з різних джерел у кількох європейських країнах. Удосконалені процеси сортування, випробувані на зібраних зразках, передбачали поєднання трьох технологій онлайн-зондування: ближнього інфрачервоного діапазону (NIR) для сортування гіпсу, пористого бетону та органічних речовин, таких як пластик і деревина, електромагнітного для видалення металів, кольорової камери для сортування сірого бетону, червоної цегли та плитки, а також небажаних забруднень іншого кольору, ніж два цільових [8].

Випробування показали, що електромагнітні датчики ефективні у видаленні всіх видів металів і можуть бути об'єднані в один сортувальний блок із датчиками NIR. Система сортування за кольоровою камерою показала успішне розділення червоних керамічних заповнювачів і бетонних (сірих) перероблених заповнювачів з чистотою до 97 % (рис. 6).



Рис. 6. Зразки відсортованих бетонних (сірих) і керамічних (червоних) заповнювачів

Таким чином визначено, що поєднання детектора ближнього інфрачервоного діапазону, електромагнітного датчика та кольорової камери видимого діапазону дозволяє сортувати відходи будівництва та знесення з високим рівнем чистоти.

Висновки

1. Вибір обладнання для переробки відходів обумовлено складом відходів, який відрізняється в різних країнах і залежить від набору будівельних матеріалів, що використовуються для зведення об'єктів.

2. На світовому ринку обладнання для переробки твердих будівельних відходів представлено стаціонарне та мобільне устаткування

різної продуктивності понад двох десятків компаній.

3. Найскладнішою операцією в технологічному ланцюжку переробки відходів будівництва та знесення є сортування та розділення вторинної сировини. Сьогодні на ринку представлено широкий вибір інноваційних технологій сортування та розділення відходів (магнітна сепарація; просіювання за допомогою однієї або кількох поверхонь просіювання; сенсорна технологія автоматичного сортування з використанням кольорових, рентгенівських або ближнього інфрачервоного датчиків; роботизована технологія сортування з використанням штучного інтелекту; технологія сортування із застосуванням рентгенівського випромінювання; технологія індукційного сортування, що доповнює магнітну сепарацію; технологія сортування кольорів; технологія сортування в ближньому інфрачервоному діапазоні (NIR); технологія сортування за допомогою лазерно-індукованої спектроскопії (пробою) і обладнання для їх реалізації.

4. Експериментально доведено, що поєднання детектора ближнього інфрачервоного діапазону, електромагнітного датчика та кольорової камери видимого діапазону дозволяє сортувати відходи будівництва та знесення з рівнем чистоти до 97 %.

5. Інноваційні технології та стаціонарне й мобільне обладнання підготовки відходів будівництва та знесення для виробництва вторинних сировинних матеріалів може бути використано в Україні під час відновлення будівель і споруд, пошкоджених або зруйнованих в результаті воєнних дій.

Література

1. Попович О.Р., Захарко Я.М., Мальований М.С. / Проблеми утилізації та переробки будівельних відходів. Lviv Polytechnic National University Institutional Repository. С.321-324. URL: <https://science.lpnu.ua/sites/default/files/journal-paper/2017/jun/4723/59-321-324.pdf>
2. Case studies of Advanced Construction and Demolition waste(CDW) Recycling initiatives and technologies In JAPAN. URL: <https://www.suishinkaigi.jp/en/Our%20works/case%20studies.pdf>
3. How much waste is produced by the construction sector? URL: <https://www.constructionproducts.org.uk/media/557062/how-much-construction-waste-is-there.pdf>
4. Construction and Demolition Waste Recycling. URL: <https://recyclinginside.com/construction-and-demolition-waste-recycling>
5. Zenith Products. URL: https://www.zenithcrusher.com/d/file/images/gallery/products/mobile-crushing-plant-k/1.jpg?a=zc&network=g&keyword=kwd-5742547932&campaign=20425251972&dev=c&ad=703996114030&gad_source=1&gclid=Cj0KCQjws560BhCuARIsAHMqE0G_Sc6jY1T6WfJAD6ETSgI2XcugaRNs4dIdSXmwI4_N6_nTcI_XfBIaAu9OEALw_wcB
6. Construction & Demolition Waste Processing. URL: <https://www.aishred.com/application/construction-demolition-waste-processing.html>
7. The Eberhard Group and ZenRobotics Partner to Circulate and Retain Complete Value of Mixed Demolition Waste with AI-Based Technologies. URL: <https://recyclinginside.com/construction-and-demolition-waste-recycling/eberhard-group-zenrobotics-partner-to-circulate-retain-complete-value-mixed-demolition-waste-ai-technologies/>
8. Advanced sorting techniques for construction and demolition waste. URL: <https://www.inno4sd.net/advanced-sorting-techniques-for-construction-and-demolition-waste-278>

References

1. Popovych O.R., Zakharko Ya.M., Malovanyi M.S. / Problemy utylizatsii ta pererobky budivelnykh vidkhodiv. Lviv Polytechnic National University Institutional Repository. C.321-324. URL: <https://science.lpnu.ua/sites/default/files/journal-paper/2017/jun/4723/59-321-324.pdf>
2. Case studies of Advanced Construction and Demolition waste(CDW) Recycling initiatives and technologies In JAPAN. URL: <https://www.suishinkaigi.jp/en/Our%20works/case%20studies.pdf>
3. How much waste is produced by the construction sector? URL: <https://www.constructionproducts.org.uk/media/557062/how-much-construction-waste-is-there.pdf>
4. Construction and Demolition Waste Recycling. URL: <https://recyclinginside.com/construction-and-demolition-waste-recycling>
5. Zenith Products. URL: https://www.zenithcrusher.com/d/file/images/gallery/products/mobile-crushing-plant-k/1.jpg?a=zc&network=g&keyword=kwd-5742547932&campaign=20425251972&dev=c&ad=703996114030&gad_source=1&gclid=Cj0KCQjws560BhCuARIsAHMqE0G_Sc6jY1T6WfJAD6ETSgl2XcugaRNs4dIdSXmwl4_N6_nTcI_XfBIaAu9OEALw_wcB
6. Construction & Demolition Waste Processing. URL: <https://www.aishred.com/application/construction-demolition-waste-processing.html>
7. The Eberhard Group and ZenRobotics Partner to Circulate and Retain Complete Value of Mixed Demolition Waste with AI-Based Technologies. URL: <https://recyclinginside.com/construction-and-demolition-waste-recycling/eberhard-group-zenrobotics-partner-to-circulate-retain-complete-value-mixed-demolition-waste-ai-technologies/>
8. Advanced sorting techniques for construction and demolition waste. URL: <https://www.inno4sd.net/advanced-sorting-techniques-for-construction-and-demolition-waste-278>

TECHNOLOGIES AND EQUIPMENT FOR PREPARATION CONSTRUCTION WASTE FOR USE

Abstract. *The purpose of the article is to study the global experience of implementing technologies and equipment for the preparation of construction and demolition waste for the production of secondary raw materials, which can be used in Ukraine during the restoration of buildings and structures damaged or destroyed as a result of military operations. Analytical studies have established that the choice of equipment for waste processing is determined by the composition of waste, which differs in different countries and depends on the set of construction materials used for the construction of objects. The results of the study of the world market of equipment for the processing of solid construction waste are presented. According to their technical characteristics, the most suitable for waste processing are mining machinery and equipment for the production of non-metallic building materials, which are used in technological lines for the production of secondary raw materials from concrete and brick fragments. The main technological stages are given and it is found that the most difficult operation in the technological chain of construction and demolition waste processing is the sorting and separation of secondary raw materials. Innovative waste sorting and separation technologies are presented (magnetic separation; sensor technology of automatic sorting using color, X-ray or near-infrared sensors; robotic sorting technology using artificial intelligence; sorting technology using X-ray radiation; color sorting technology; sorting technology in the near-infrared range; sorting technology using laser induced breakdown spectrometry) and stationary and mobile equipment for their implementation, which can be used to prepare construction and demolition waste for the production of secondary raw materials in Ukraine.*

Key words: *construction and demolition waste, processing technologies, world experience, stationary and mobile equipment.*

Hrihorovskiy P.Ye.

Doctor of Technical Sciences, SE «Research Institute of Construction Production named after V.S. Balytsky», Kyiv

Chervyakov Yu.M.

Candidate of Technical Sciences, SE «Research Institute of Construction Production named after V.S. Balytsky», Kyiv

Basanskyi V.O.

Candidate of Technical Sciences, SE «Research Institute of Construction Production named after V.S. Balytsky», Kyiv

Murasyova O.V.

Candidate of Technical Sciences, SE «Research Institute of Construction Production named after V.S. Balytsky», Kyiv

Khalupka Yu.M.

Eng., SE «Research Institute of Construction Production named after V.S. Balytsky», Kyiv

Bilkevych Yu.V.

Eng., SE «Research Institute of Construction Production named after V.S. Balytsky», Kyiv