

Хмельницький національний університет
Гуманітарно-педагогічний факультет
Кафедра екології та біологічної освіти

ДИПЛОМНА РОБОТА


здобувача першого (бакалаврського) рівня вищої освіти

Напрямки використання відходів знесення та руйнації
в будівельній галузі

Галузь знань – 10 «Природничі науки»

Спеціальність – 101 «Екологія»

ДРЕКОЛ. 19044.01.01.00

Виконав: здобувач 5 курсу група ЕКОЛз-19-1  Анатолій ДОБРОТВОР

Керівник  Наталія МІРОНОВА

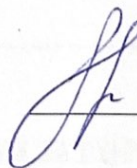
Нормоконтролер  Сергій ШЕВЧЕНКО

До захисту допускаю:

Зав. кафедри екології

та біологічної освіти

18 червня 2024 р.

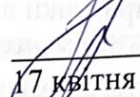


Наталія МІРОНОВА

Хмельницький 2024

Факультет – Гуманітарно-педагогічний
Кафедра – Екології та біологічної освіти
Освітній рівень – перший (бакалаврський)
Галузь знань – 10 «Природничі науки»
Спеціальність – 101 «Екологія»
Освітньо-професійна програма – «Екологія»

ЗАТВЕРДЖУЮ
Завідувач кафедри екології
та біологічної освіти


Наталія МІРОНОВА
17 квітня 2024 р.

ЗАВДАННЯ НА ДИПЛОМНУ РОБОТУ

Добротвор Анатолій Анатолійович

1. Тема роботи Напрямки використання відходів знесення та руйнації
в будівельній галузі

керівник роботи Міронова Наталія Геннадіївна, доктор сільськогосподарських
наук, професор

Затверджено наказом ректора університету від 15.02.2024 р. № 8

2. Строк подання здобувачем роботи на кафедру 12.06.2024 р.

3. Вихідні дані до роботи характеристика відходів знесення та відходів від
руйнувань, джерела їх утворення

4. Зміст дипломної роботи 1. Відходи знесення та руйнації: міжнародний та
національний контекст. 2. Проблеми та можливості використання вторинних
будівельних ресурсів. 3. Кращі практики використання відходів знесення та
руйнації для сталого розвитку будівельної галузі та подолання наслідків війни.

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів (розділів) дипломної роботи	Термін виконання етапів	Примітка
1	Відходи знесення та руйнації: міжнародний та національний контекст.	10.05-15.05.2024	
2	Проблеми та можливості використання вторинних будівельних ресурсів.	16.05-21.05.2024	
3	Кращі практики використання відходів знесення та руйнації для сталого розвитку будівельної галузі та подолання наслідків війни.	22.05-04.06.2024	
4	Оформлення роботи	5.06-11.06.2024	

Дата видачі завдання:

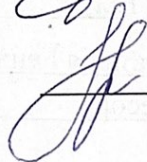
10.05.2024 р.

Здобувач



Анатолій ДОБРОТВОР

Керівник



Наталія МІРОНОВА

АНОТАЦІЯ

Тема – Напрямки використання відходів знесення та руйнації в будівельній галузі.


Автор – студент ЕКОЛ3-19-1 Анатолій ДОБРОТВОР.

Керівник – завідувач кафедри екології та біологічної освіти, доктор сільськогосподарських наук, професор Наталія МІРОНОВА.

Дипломна робота викладена на 50 сторінках, містить 3 таблиці, 11 рисунків та перелік джерел посилання, що включає 30 джерела.

КЛЮЧОВІ СЛОВА: БУДІВЕЛЬНІ ВІДХОДИ, ВІДХОДИ ЗНЕСЕННЯ ТА РУЙНАЦІЇ, РЕЦИКЛІНГ, БУДІВЕЛЬНА ГАЛУЗЬ.

У дипломній роботі проаналізовано джерела утворення та характеристику будівельних відходів, відходів знесення та руйнування. Розглянуто обсяги утворення цих відходів у країнах ЄС, США та в Україні. Визначено проблеми відновлення та повторного використання таких відходів, розроблено рекомендації щодо їх подолання. Запропоновано кращі практики управління будівельними відходами, відходами знесення та руйнування для повторного використання в будівельній галузі.

12.06.2024  Анатолій ДОБРОТВОР

ЗМІСТ

	С.
Вступ.....	5
1 Відходи знесення та руйнації: міжнародний та національний контекст	6
1.1 Джерела утворення та характеристика.....	6
1.2 Обсяги відходів знесення та руйнації.....	12
2 Проблеми та можливості використання вторинних будівельних ресурсів	20
2.1 Законодавче врегулювання питань з управління відходами.....	20
2.2 Технологічні та інституційні виклики для впровадження нових підходів, шляхи їх подолання.....	22
3 Кращі практики використання відходів знесення та руйнації для сталого розвитку будівельної галузі та подолання наслідків війни.....	29
Висновки.....	45
Перелік джерел посилання.....	47

ВСТУП

Актуальність теми. Проблема управління відходами є надзвичайно важливою для України в контексті охорони довкілля та наближення до кращих європейських практик у цій сфері. Через військову агресію РФ в Україні щоденно утворюються у значних масштабах відходи руйнування, як на лінії бойових дій, так і під час ракетних обстрілів усієї території країни. Як показує міжнародний досвід відходи знесення, до яких подібні відходи руйнування, можуть успішно використовуватися в будівельній галузі. Тому аналіз і розробка рекомендацій з використання відходів руйнування та знесення в будівельній галузі є актуальним завданням в контексті повоєнної відбудови країни.

Мета роботи – аналіз проблем та розробка напрямків використання відходів знесення та руйнації в будівельній галузі.

Завдання роботи:

- проаналізувати обсяги і властивості відходів руйнування та знесення;
- визначити нормативно-правові та технологічні проблеми повторного використання відходів знесення та руйнування;
- розробити рекомендації щодо напрямків повторного використання відходів знесення та руйнування.

Об'єкт дослідження: будівельні відходи, відходи знесення та руйнування.

Предмет дослідження: характеристика та властивості відходів руйнування, проблеми та напрямки їх використання в будівельній галузі.

Методи дослідження: аналіз, синтез, класифікація.

Практичне значення одержаних результатів. Результати роботи можуть будуть використані комунальними чи приватними підприємствами при організації робіт з повторного використання відходів знесення і руйнації.

Результати роботи були апробовані на Студентській науково-практичній конференції за підсумками науково-дослідної роботи студентів кафедри екології та біологічної освіти ХНУ (2024 рік).

1 ВІДХОДИ ЗНЕСЕННЯ ТА РУЙНАЦІЇ: МІЖНАРОДНИЙ ТА НАЦІОНАЛЬНИЙ КОНТЕКСТ

1.1 Джерела утворення та характеристика

Загальноприйнятого визначення будівельних відходів не існує. Одне з найпоширеніших визначень будівельних відходів, що міститься в Директиві Європейської Ради 91/156/ЄЕС, визначає їх, як об'єкт, який власник викидає або має намір викинути, при цьому це визначення застосовується до всіх відходів, незалежно від того, чи призначені вони для утилізації або відновлення. Сьогодні будівельні відходи визначають як відходи, що не відповідають цільовому призначенню проєкту через пошкодження, надлишок або невикористання, або які не можуть бути використані за призначенням.

Будівельний сектор є одним з важливих елементів Європейського Зеленого курсу. Цей курс представляє собою нову стратегію зростання, спрямовану на перетворення ЄС у справедливе та процвітаюче суспільство з сучасною, ресурсоефективною та конкурентоспроможною економікою, де немає чистих викидів парникових газів у 2050 році, а економічне зростання не пов'язане з використанням ресурсів [1].

В Європейських країнах будівельний сектор є однією з найбільш важливих і ресурсоємних галузей, як з економічної, так і з екологічної точки зору. На нього припадає близько половини всього видобутку корисних копалин, половина споживання енергії, третина споживання води та 40 % усіх викидів парникових газів. Водночас цей сектор відіграє важливу роль в економіці, генеруючи близько 9 % ВВП ЄС і забезпечує 18 мільйонів прямих робочих місць [2].

Відходи, що утворюються під час будівництва, реконструкції та знесення мостів, доріг і будівель (CDW), складаються з різних матеріалів, що використовуються в будівництві (бетон, цегла, скло, дерево, метали, гіпс, пластик, розчинники тощо та небезпечні речовини) і є найбільшим потоком відходів в ЄС. Їх обсяги вдвічі перевищують обсяги утворення твердих

побутових відходів. На типовому будівельному майданчику відходи оцінюються в обсязі близько 30 % від загальної ваги будівельних матеріалів, що доставляються на нього. Джерела утворення відходів будівництва та знесення наведені на рисунку 1.1.

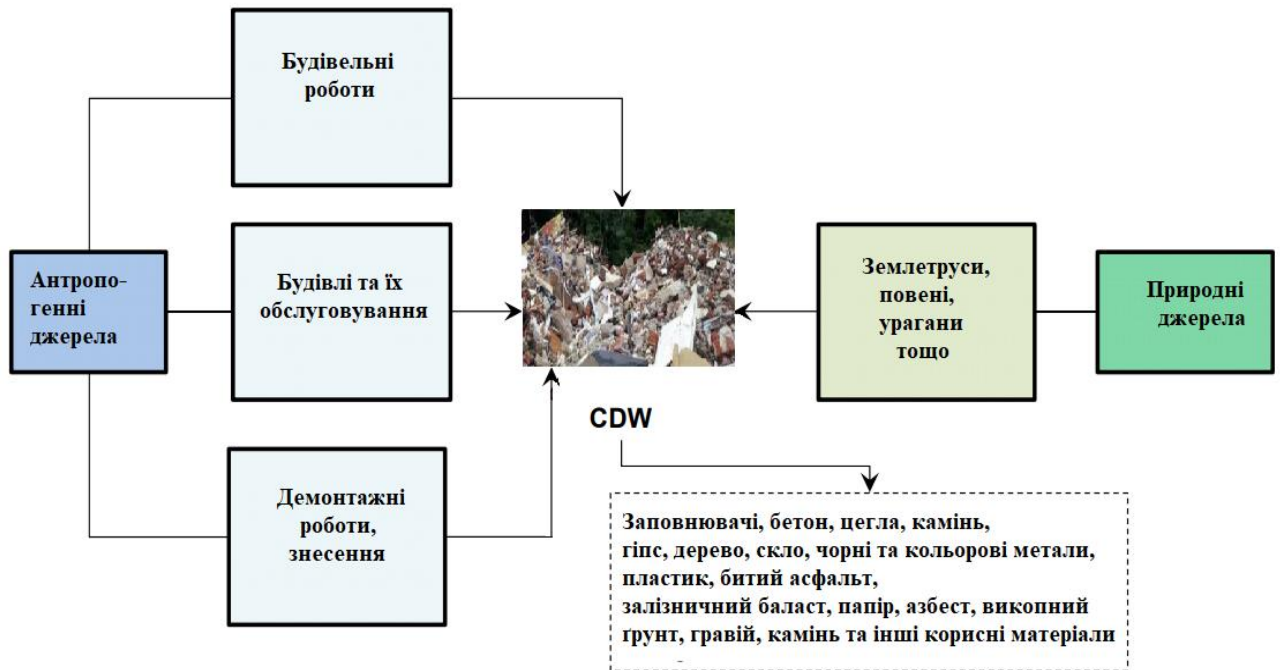


Рисунок 1.1 – Джерела утворення відходів будівництва та знесення
(розроблено автором за [3])

Типи та склад відходів на місці дуже різноманітні залежно від використовуваних будівельних технологій. В цілому ідентифіковано сім основних типів відходів (рисунок 1.2).

Існує ціла низка різних підходів до оцінки основного походження, джерел і причин утворення будівельних відходів. За здатністю до повторного використання будівельні відходи та відходи знесення поділяють на три категорії [4]:

– що є потенційно цінними в будівництві та легко повторно використовуються/переробляються – бетон, кам’яна кладка, цегла, плитка/труба, асфальт і ґрунт;



Рисунок 1.2 – Основні типи будівельних відходів та їх обсяги
(розроблено автором за [3])

- що не підлягають прямій переробці, але можуть бути перероблені в інших виробництвах – деревина, скло, папір, пластик, олії та метал;
- мають проблеми з переробкою або утилізацією – фарба, розчинники, асбест тощо.

В Україні основу законодавчої бази у сфері управління відходами складає Закон України «Про управління відходами». Він визначає відходи – як будь-які речовини, матеріали і предмети, яких їх власник позбувається, має намір або повинен позбутися, що узгоджується із загальноєвропейськими підходами.

Внаслідок військової агресії РФ в Україні утворилась нова категорія відходів, яку називають відходи від руйнування, обсяги яких щоденно зростають, адже щоденно під час обстрілів руйнується інфраструктура українських міст та сіл, особливо у прифронтових районах, включаючи об'єкти житлового і нежитлового фондів, промисловості, енергетики, сфер освіти та охорони здоров'я тощо (рисунок 1.3). Водночас діючий на тепер Закон України «Про управління відходами» не містить поняття «відходи від руйнувань» та не визначає особливостей управління цими відходами.



Рисунок 1.3 – Наслідки руйнації будівлі під час ракетного обстрілу
(з мережі Internet)

Для врегулювання цього питання 27 вересня 2022 р. була прийнята постанова Кабінету міністрів України № 1073 «Про затвердження Порядку 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 та внесення змін до деяких постанов Кабінету Міністрів України» (далі Постанова КМУ № 1073) [6].

Цією постановою уряд надав визначення терміну «відходи від руйнувань – це частини (уламки) пошкоджених (зруйнованих) об'єктів, а також матеріали, предмети, які були всередині або поряд з такими об'єктами у момент пошкодження (руйнування) та/або виконання робіт з демонтажу та які повністю або частково втратили свої споживчі властивості та не можуть у подальшому використовуватись за місцем їх утворення чи виявлення»; а також визначив механізм поводження із ними. Їх класифікація відповідно до постанови наведена на рисунку 1.4.

За своїми характеристиками відходи руйнації подібні до відходів будівництва та знесення і визначаються Законом України «Про управління відходами» [7] як відходи, що утворилися внаслідок діяльності з капітального ремонту, будівництва або знесення будівель і споруд.



Рисунок 1.4 – Класифікація відходів від руйнувань
(розроблено автором за [6])

Відповідно до цього Закону суб'єкти господарювання, що здійснюють будівництво або знесення будівель та інженерних споруд, зобов'язані забезпечити роздільне збирання відходів будівництва та знесення, їх облік та передачу суб'єктам господарювання у сфері управління відходами для забезпечення їх оброблення. Відходи будівництва та знесення, що не є небезпечними, підлягають підготовці до повторного використання, рециклінгу, іншому матеріальному відновленню, включаючи зворотне заповнення. Перелік операцій з відновлення відходів відповідає коду R5 – Рециклінг/відновлення інших неорганічних матеріалів (включаючи підготовку до повторного використання, рециклінг неорганічних будівельних матеріалів, відновлення

неорганічних матеріалів у вигляді зворотного заповнення та очищення ґрунту, що приводить до відновлення ґрунту).

«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» також передбачає в комплексі організаційно-технічних заходів та робіт (операцій) такі заходи з їх переробки як сортування, оброблення (перероблення) та утилізації. Водночас у разі виявлення небезпечних відходів на пошкоджених (зруйнованих) об'єктах та/або під час виконання робіт з демонтажу поводження з такими відходами повинне здійснюватися як з небезпечними відповідно до законодавства.

В цілому операції з поводження з відходами від руйнувань наведені на рисунку 1.5.

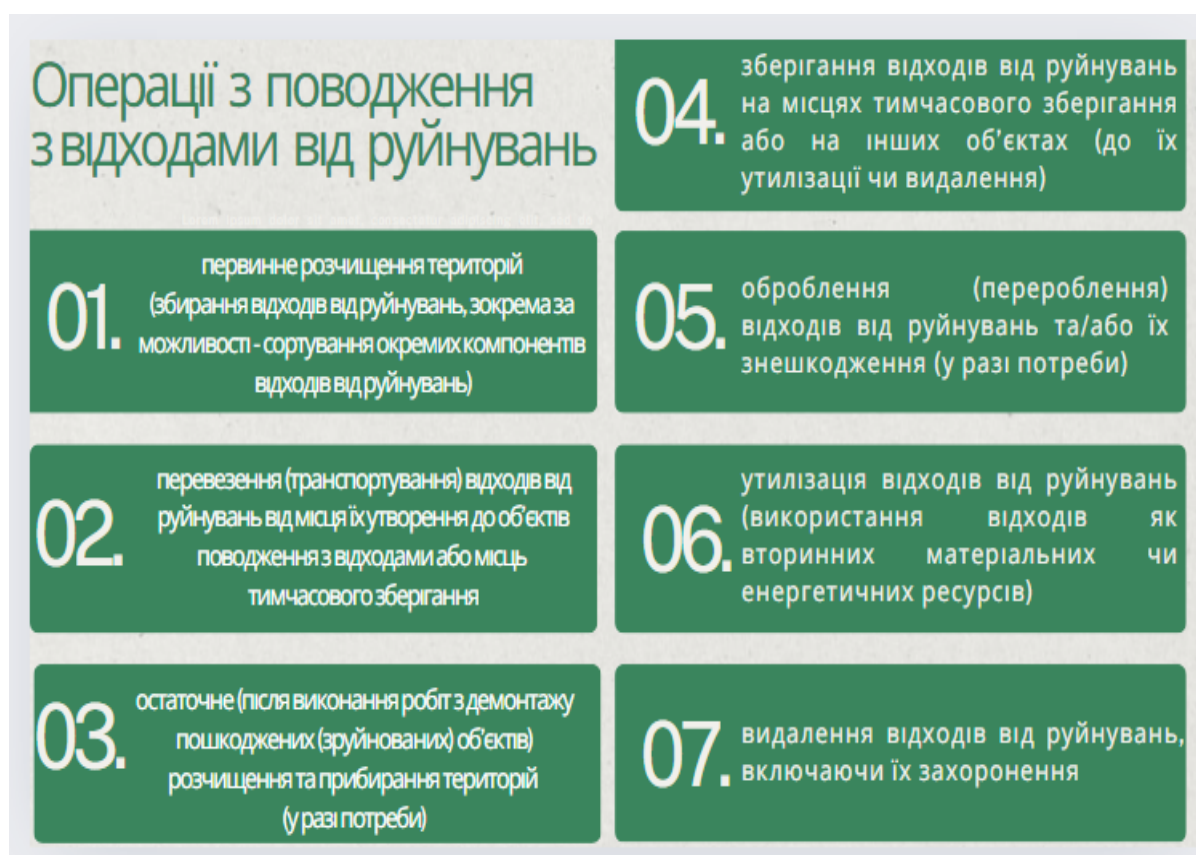


Рисунок 1.5 – Порядок проведення операцій з поводження з відходами від руйнувань (розроблено автором за [6])

Роботи з розчищення територій, прилеглих до пошкоджених (зруйнованих) об'єктів, можуть виконуватися за відсутності загрози аварійного обвалення об'єкта в цілому або його окремих частин.

У разі виявлення під час виконання робіт з розчищення територій небезпечних предметів, вибухових пристроїв, останків загиблих, запаху газу або інших характерних запахів, пробою електричного струму, а також пов'язаного з цим погіршення самопочуття роботи слід негайно припинити та невідкладно повідомити про це територіальним органам ДСНС та правоохоронним органам.

Збирання азбестовмісних відходів необхідно проводити із застосуванням засобів індивідуального захисту органів дихання та захисного одягу, а також забезпечувати зволоження місць їх збирання. За можливості не допускати подальшу руйнацію азбестовмісних відходів. Зібрані азбестовмісні відходи повинні бути упаковані для унеможливлення контактування з навколишнім природним середовищем та транспортовані до місця їх видалення. Після складування азбестовмісних відходів на місці їх видалення вони підлягають покриттю ізолювальним шаром (грунт, глина, подрібнені будівельні відходи тощо) завтовшки не менше ніж 75 сантиметрів.

1.2 Обсяги відходів знесення та руйнації

Щороку в ЄС утворюється понад 450 мільйонів тонн будівельного сміття та відходів, пов'язаних з демонтажем, що робить його найбільшим потоком відходів у кількісному вираженні, за винятком відходів шахтної промисловості та ферм. Водночас на знесення припадає 90 % CDW, тоді як на будівництво лише 10 % від загального обсягу CDW. На даний момент 75 % відходів будівництва та зносу в ЄС захороняється на сміттєзвалищах, хоча в таких країнах, як Німеччина та Нідерланди, було досягнуто понад 80 % переробки [3].

У Сполучених Штатах щороку утворюється близько 170 мільйонів тонн будівельних відходів і відходів, пов'язаних з демонтажем, 48 % з яких, за

оцінками, підлягають утилізації. Підраховано, що на 1 м² підлоги проєктованої будівлі утворюється від 20 кг до 30 кг будівельного сміття [4].

Для кількісної оцінки обсягів CDW використовують різні підходи, що базуються, в тому числі, на моделювання. Загалом, моделі базуються на агрегуванні індексів або коефіцієнтів відходів. Ці коефіцієнти отримують шляхом ділення кількості утворених CDW (за об'ємом або вагою) або на кількість закуплених матеріалів, або на загальну площу проєкту (м²).

В Іспанії [5] для кількісного визначення відходів використовують коефіцієнт, який розраховує CDW на м² забудованої поверхні для п'яти різних категорій з урахуванням двох різних будівельних систем (мурування та бетонна конструкція). Для проєктів знесення був встановлений коефіцієнт утворення CDW – 1,27 м³/м².

Також було визначено, що середній склад відходів, що утворюються внаслідок знесення, в основному складається з бетону та керамічних матеріалів.

Загальне співвідношення CDW було визначено для робіт з демонтажу житлових будинків і складає:

- від 195 кг/м² до 725 кг/м² – для дерев'яних конструкцій;
- від 302 кг/м² до 664 кг/м² – для кам'яних конструкцій;
- від 805 кг/м² до 1371 кг/м² – для залізобетонних конструкцій.

Відповідно до таблиці 1.1 співвідношення CDW для ремонтних робіт охоплює широкий діапазон значень, що може бути пов'язане із великою різноманітністю методів, які можуть бути використані в проєктах відновлення будівель і які, безумовно, впливатимуть на кількість утворених CDW (для розрахунку наведених в таблиці 1.1 даних автори насипну щільність CDW для перетворення результатів з м³/м² у кг/м² приймали 830,6 кг/м³). Для порівняння в Україні у довоєнний період в середньому на 1 м² житла, що зноситься, припадав 1 м³ будівельних відходів (тобто близько 830,6 кг/м³).

В Україні у довоєнні роки утворення будівельних відходів та відходів знесення було пов'язане із зростанням будівельно-інвестиційної активності у

великих містах, що значно підвищило потребу у доступних для забудови ділянках.

Таблиця 1.1 – Коефіцієнти генерації CDW для проєктів будівництва, реконструкції та знесення [5]

Країна	Показники CDW (кг/м ²)		
	для новозбудованих	для знесення	для ремонту
Норвегія	29,36 – 30,77	574,72 – 1103,25	33,18 – 89,47
Об'єднане Королівство	–	–	112,3–117,6
Малайзія	–	1042,80	–
Таїланд	21,38	–	–
Португалія	–	195,00–1371,00	28,00–397,00
Іспанія	92,56–255,49	608,00–804,85	2,46–65,24

Одним із можливих рішень проблеми дефіциту міських земель є знесення старих будівель, які не експлуатуються і займають значні площі. Також велика кількість будівель, які потребують реконструкції або знесення для звільнення території, знаходиться в промислових зонах та на інших невостробуваних територіях.

Крім того, на українському ринку спостерігалось зростання інвестицій у будівництво великих торгових мереж, супермаркетів, торгово-офісних центрів, складських приміщень та виробничих цехів. Часто реставрація старих будівель є економічно не вигідною і в деяких випадках здійснюється їх повне знесення для нової забудови, що також призводило до утворення значної кількості будівельного сміття, що потребує утилізації.

Також джерелом утворення будівельних відходів є матеріали, які залишаються після будівництва нових споруд. Аналіз новобудов двох великих будівельних компаній, «Комфортбуд» та «Карпатбуд», показав, що під час зведення 100-квартирного будинку утворюється в середньому від 15 тонн до 20 тонн твердих відходів, серед яких бита цегла, залишки затверділого бетону та будівельного розчину, дроблений гіпсокартон, брак стінових блоків з керамзитобетону, ніздрюватих бетонів, пінопласт та мінеральна вата [8].

До будівельних відходів також належать тверді матеріали, що утворюються під час реконструкції доріг. Хоча частина старого асфальтобетону використовується повторно, дроблений бетон з дорожнього покриття зазвичай відправляється на звалища.

Загалом усі будівельні відходи складаються з таких матеріалів, як бетон та залізобетон, цегла, метал, ґрунт, пісок, забруднений глиною, сантехнічна кераміка, дерево, скло, гіпсокартон, пластмаса та асфальтобетон. За оцінками дослідників [8], будівельні відходи включають:

- бетон та залізобетон – 52 %,
- кам'яні стінові матеріали (цегла, стінові блоки, піно- та газобетон) – 32 %,
- асфальт та будівельні розчини – 8 %,
- метали – 4 %,
- дерево та пластмаси – 2 %,
- керамічні вироби (сантехнічна кераміка, керамічна плитка) – 1 %,
- гіпсокартон, скло та інші відходи – 1 %.

Такий розподіл майже відповідає європейському (рисунок 1.2), проте є суттєві відмінності по деяких позиціях, зокрема за вмістом дерева, що може обумовлюватись особливостями старої забудови у різних країнах.

Проблема будівельних відходів в Україні також розглядалась під кутом наближення завершення терміну експлуатації так званих «хрущовок», масово збудованих у 1950-60-х роках. Реконструкція таких будівель є економічно недоцільною, що обумовлює необхідність їх знесення в найближчому

майбутньому. Цей процес спричиняє значну проблему утилізації будівельних відходів. Зокрема, від знесення однієї стандартної «хрущовки» утворюється приблизно 3000 м³ будівельних відходів. В Україні кількість таких будинків, що потребують знесення, обчислювалась кількома десятками тисяч, оскільки майже кожен четвертий громадянин країни проживає у «хрущовці».

В результаті агресії РФ в Україні, ситуація кардинально змінилась, оскільки внаслідок військових дій зруйновано або пошкоджено значну кількість об'єктів цивільної та транспортної інфраструктури. В цілому руйнування зафіксовані у 22 регіонах України. Велика кількість з цих об'єктів не підлягає відновленню та має бути демонтована, а відходи, що утворилися, мають бути вивезені у безпечні місця для подальшої їхньої утилізації.

За даними Міністерства розвитку громад, територій та інфраструктури України [9], станом на квітень 2024 року в Україні утворилося всього 223237,3 тонн відходів від руйнувань. Обсяги в розрізі по областях складають:

- Дніпропетровська область – 587,9 тонн;
- Донецька область – 4429,7 тонн;
- Житомирська область – 8,0 тонн;
- Запорізька область – 5343 тонн;
- Івано-Франківська область – 1,6 тонн;
- Київська область – 189229,4 тонн;
- Кіровоградська область – 14,6 тонн;
- Львівська область – 2015,8 тонн;
- місто Київ – 1078,1 тонн;
- Миколаївська область – 6010,3 тонн,
- Одеська область – 1902,2 тонн;
- Рівненська область 82,03 тонн;
- Сумська область – 726,0 тонн;
- Тернопільська область – 10,2 тонн;
- Харківська область – 1123,5 тонн;
- Хмельницька область – 1362,1 тонн;

- Черкаська область – 2612,9 тонн;
- Чернігівська область – 6700,0 тонн.

По Вінницькій, Волинській, Закарпатській, Луганській, Полтавській, Херсонській областях інформація в міністерстві – відсутня.

На рисунку 1.6 відзначені області, де зруйновано або пошкоджено щонайменше 2 тис. об'єктів житлової забудови.



Рисунок 1.6 – Найбільш постраждалі регіони від руйнувань та пошкоджень житлового фонду [11]

Згідно з розрахунками Київської школи економіки (KSE), станом на січень 2024 року сума прямих збитків, завданих інфраструктурі України внаслідок війни, досягла майже 155 мільярдів доларів США [10]. Ця сума включає також збитки, спричинені руйнуванням Каховської ГЕС, здійсненим країною-агресором 6 червня 2023 року.

Найбільше за обсягом завданих збитків постраждав житловий фонд (рисунок 1.7). Внаслідок бойових дій та систематичних обстрілів щоденно збільшується кількість пошкоджених і руйнованих житлових будинків: станом на січень 2024 року таких налічується понад 250 тисяч будівель.



Рисунок 1.7 – Обсяги збитків від пошкодження та руйнування об'єктів інфраструктури [10]

Серед них 222 тисячі – це приватні будинки, понад 27 тисяч – багатоквартирні будинки, а 526 – гуртожитки. Прямі збитки від руйнування цих об'єктів оцінюються в 58,9 млрд дол. Порівняно зі звітом за кінець 2023 року ця сума зросла на 4,8 млрд дол. Це збільшення частково зумовлене переходом на нові джерела інформації для деяких областей (Реєстр пошкодженого та знищеного майна, РПЗМ).

Збитки, завдані інфраструктурі на початок 2024 року, оцінюються в 36,8 млрд дол., тоді як втрати промислового сектора та підприємств становлять 13,1 млрд дол. За останніми даними, було зруйновано або пошкоджено 78 малих, середніх та великих приватних підприємств, а також 348 державних підприємств.

Внаслідок бойових дій продовжують зростати збитки від руйнування інфраструктури енергетичного сектору – до 9 млрд дол., та агропромислового комплексу – до 8,7 млрд дол. Також, станом на початок цього року, збитки в

сфері житлово-комунального господарства досягли 4,5 млрд дол., а в галузі охорони здоров'я – зросли на 1,4 млрд і на теперішній час складають близько 3,1 млрд дол.

Таким чином, на сьогодні в Україні гостро стоїть проблема формування системи управління відходами руйнації, а також оптимізації системи управління будівельними відходами та відходами знесення шляхом їх обробки та повторного використання в умовах повоєнної відбудови інфраструктури.

2 ПРОБЛЕМИ ТА ШЛЯХИ ВИРІШЕННЯ ВИКОРИСТАННЯ ВТОРИННИХ БУДІВЕЛЬНИХ РЕСУРСІВ

Накопичення будівельних відходів, а також відходів знесення та від руйнування створює серйозні проблеми, зокрема дефіцит територій для їх захоронення, нестачу природних ресурсів для виробництва будівельних матеріалів, що призводить до виснаження ресурсів і погіршення екологічної ситуації загалом. З іншого боку переробка та використання цих відходів у якості вторинних будівельних ресурсів стануть актуальними після завершення війни в Україні під час відновлення міської забудови, соціальних об'єктів та в цілому інфраструктури. Це не тільки суттєво знизить собівартість будівництва, але й зробить відходи будівництва та знесення привабливим ресурсом у процесі реконструкції.

Ефективному використанню відходів цих категорій перешкоджає низка факторів, що носить системний характер. Зокрема це:

- недоліки правового регулювання у сфері управління відходами від руйнувань;
- відсутність інфраструктури та технологій;
- недоліки в регулюванні та стандартизації;
- недоліки в статистиці таких відходів;
- слабкі економічні стимули;
- невирішені соціальні аспекти.

2.1 Законодавче врегулювання питань з управління відходами

Класифікація та облік відходів в Україні регулюються двома основними законодавчими актами: Законом про управління відходами, що набув чинності в липні 2023 року, та Постановою КМУ № 1073, яка визначає порядок поводження з відходами від руйнувань. Закон про управління відходами є рамковим і

встановлює загальні принципи управління відходами, включаючи будівельні відходи. Він передбачає, що будівельні відходи мають бути готові до повторного використання та рециклінгу, ставлячи ціль досягнення 10 % рециклінгу маси таких відходів до 2025 року. Водночас, у цьому Законі відсутнє саме поняття «відходи від руйнувань», також він не визначає особливостей управління відходами від руйнувань, хоча поширюється на відносини, пов'язані із запобіганням утворенню та з управлінням відходами, що утворюються в Україні. Постанова № 1073 містить класифікацію та вимоги до обліку відходів, включаючи обробку, термінали, полігони, а також шляхи повторного використання відходів у будівництві.

На сьогоднішній день дослідники [12, 13] виділяють такі три основні групи недоліків правового регулювання у сфері управління відходами руйнації:

- відсутність положень, які визначають особливості управління відходами від руйнувань на рівні Закону України «Про управління відходами».
- невідповідність Порядку поводження з відходами від руйнувань за термінологією та підходами Закону України «Про управління відходами».
- інші прояви недосконалості правового регулювання у цій сфері, включаючи внутрішню суперечливість норм Порядку, порушення принципу правової визначеності та неврахування набуття чинності інших нормативно-правових актів.

Для усунення недоліків необхідним є закріплення визначення відходів від руйнувань та основних вимог щодо управління ними на рівні Закону України «Про управління відходами» з юридичним уточненням дефініції.

Також потребує термінологічного узгодження Порядку поводження з відходами від руйнувань із Законом України «Про управління відходами» щодо видів та юридичного значення операцій з управління відходами. Зокрема, у згаданому Порядку поняття «повторне використання» слід замінити на «відновлення», що є ключовим елементом нової термінології законодавства про відходи. Також мова йде про види операцій з управління відходами від руйнувань, вимоги щодо розміщення місць їх тимчасового зберігання, винятки

з правил про отримання дозволу на здійснення операцій з оброблення відходів та про облік відходів, особливості управління небезпечними компонентами в складі відходів від руйнувань, а також повноваження органів місцевого самоврядування щодо організації управління цими відходами.

2.2 Технологічні та інституційні виклики для впровадження нових підходів, шляхи їх подолання

Шляхи повторного використання компонентів відходів від руйнувань регламентовані в Постанові КМУ № 1073 (таблиця 2.1).

Таблиця 2.1 – Перелік компонентів відходів від руйнування та можливі шляхи повторного використання у будівництві, промисловості будівельних матеріалів (виробництві будівельних виробів (продукції) [6]

Назва компонентів відходів від руйнування	Можливі шляхи повторного використання компонентів відходів від руйнувань
1	2
Основні компоненти відходів від руйнувань (частини (уламки, бій) будівельних конструкцій, заповнення дверних та віконних блоків, інженерних мереж, санітарно-технічних приладів тощо)	
1. Бетон, цегла, облицювальна плитка і кераміка – бетон (бетонні, залізобетонні конструкції та вироби, їх уламки, мінеральні (цементно-піщані, гіпсові, вапняні тощо), полімер-цементні мурувальні та опоряджувальні (штукатурні, оздоблювальні) розчини	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 заповнювачів для виробництва стінових блоків і сухих будівельних сумішей;

Продовження таблиці 2.1

1	2
<p>– цегла (цегляний бій)</p> <p>– облицювальна плитка, черепиця та кераміка (зокрема керамічна плитка, камені, санітарна кераміка)</p> <p>– суміші або окремі фракції бетону, цегли, облицювальної плитки і кераміки, що</p> <p>– суміші або окремі фракції бетону, цегли, облицювальної плитки і кераміки інші, ніж ті, що містять небезпечні речовини</p>	<p>матеріали для зворотного заповнення (відновлення рельєфу, заповнення гірничих виробок (пустот), рекультивації відпрацьованих гірничих об'єктів, інших ландшафтних робіт); сировина для металевих будівельних конструкцій;</p> <p>металобрухт (що утворюється під час видалення металевих включень, зокрема залізобетону) як вторинна сировина для металургійного виробництва;</p> <p>подрібнений бетон як вторинний матеріальний ресурс для виробництва цементного клінкеру;</p> <p>сировина для влаштування дренажної подушки у заболочених районах; укріплення ґрунтових і лісових доріг; заповнювач для габіонів (силікатна цегла)</p> <p>сировина для укріплення ґрунтових і лісових доріг</p> <p>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 заповнювачів для виробництва стінових блоків і сухих будівельних сумішей;</p>

Продовження таблиці 2.1

1	2
	<p>матеріали для зворотного заповнення (відновлення рельєфу, заповнення гірничих виробок (пустот), рекультивації 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</p>
<p>2. Деревина, скло та пластмаси</p> <p>– деревина</p> <p>– скло (склобій)</p> <p>– пластмаси (частини (уламки) пластмасових труб водопостачання, водовідведення, електропроводки, полімерних погонажних виробів, склопакетів полімерних ущільнювачів тощо)</p>	<p>арболіт, деревні пластики, теплоізоляційні та звукоізоляційні матеріали (плити), паливні брикети, деревностружкові плити; спорудження тимчасових проїздів під час відновлення руху;</p> <p>порошкоподібний заповнювач для виробництва бетонних виробів, сухих будівельних сумішей, світловідбивних фарб для дорожньої розмітки тощо, вторинна сировина для виробництва скловиробів, оптичних кабелів тощо вторинна сировина для виробництва полімерної продукції; вторинний матеріально-енергетичний ресурс для цементного виробництва (за винятком полівінілхлориду)</p>

Продовження таблиці 2.1

1	2
<p>3. Бітумні суміші, вугільна смола та просмолені вироби</p> <ul style="list-style-type: none"> – 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) та скловолокнистій основі (склоруберойд) тощо) – бітумні суміші інші, ніж зазначені в підпункті 1 цього пункту (зокрема бітумовмісні матеріали у вигляді пошкодженого асфальтобетону) – вугільна смола та просмолені продукти 	<p>компонент асфальтобетонних та бітумомінеральних сумішей для шару основи дорожнього одягу автомобільних доріг III-IV категорій, бітумінозних будівельних матеріалів тощо</p> <p style="text-align: center;">-“-</p> <p style="text-align: center;">-“-</p>
<p>4. Метали (включаючи їх сплави) мідь, бронза, латунь, алюміній, свинець, цинк, чавун і сталь, олово, змішані метали</p>	<p>вторинна сировина для металургійного виробництва</p>
<p>5. Ґрунт (включаючи Ґрунт із забруднених ділянок)</p> <ul style="list-style-type: none"> – Ґрунт та каміння інші, ніж зазначені в підпункті 1 цього пункту – дорожній баласт (щебінь) інший, ніж зазначений в підпункті 3 цього пункту 	<p>засипка окремих ділянок, формування ландшафту в рамках планування територій, влаштування насипів автомобільних доріг</p> <p>влаштування шарів основи дорожнього одягу, влаштування насипів автомобільних доріг</p>
<p>6. Ізоляційні матеріали та азбестовмісні будівельні матеріали</p> <ul style="list-style-type: none"> – ізоляційні матеріали, що містять азбест 	<p>наповнювачі для виробництва вогнестійких виробів, заповнювачі для бетону, покрівельні вироби</p>

Кінець таблиці 2.1

1	2
<p>– інші ізоляційні матеріали (вироби (продукція)), що складаються з небезпечних речовин або містять їх (зокрема теплоізоляційні матеріали і вироби мінеральні та полімерні: мінеральна вата спучений перліт, вермикуліт, спінений та екструдований полістирол тощо)</p>	<p>вторинна сировина для виробництва полімерної та іншої аналогічної продукції, скла, кераміки як заповнювачів та наповнювачі для виробництва бетону тощо</p>
<p>7. Будівельні матеріали вироби (продукція) на основі гіпсу – будівельні матеріали (вироби (продукція) на основі гіпсу інші, ніж зазначені в підпункті 1 цього пункту</p>	<p>домішки до сухих будівельних сумішей, вторинна сировина для виробництва аналогічної продукції, сировина для виробництва гіпсового в'язучого; вторинний матеріальний ресурс для цементного виробництва</p>

Не зважаючи на ґрунтовний перелік напрямків використання відходів від руйнування практична їх реалізація ускладнена через відсутність в Україні розвиненої спеціалізованої інфраструктури та передових технологій для збору, сортування, транспортування, зберігання, обробки та утилізації складних потоків будівельних відходів. Багато громад вирішують проблему утилізації будівельних відходів шляхом їх вивезення на полігони. Водночас такі технології як закордонні, так і вітчизняні існують, тому необхідно створювати умови для їх впровадження у широке використання.

Найбільш реалістичний сценарій для України наразі полягає в локальному переробленні будівельних відходів на матеріали для дорожнього покриття та підсіпки, адже логістичні витрати та відсутність фінансово-економічних стимулів зводять нанівець економічну доцільність транспортування будівельного сміття до інших регіонів.

До інституційних недоліків ми відносимо прогалини в регулюванні та стандартизації, статистиці таких відходів; слабкі економічні стимули та невирішені соціальні аспекти.

Чинна нормативно-правова та нормативно-технічна база є недосконалою в частині комплексного регулювання питань рециклінгу та поводження з будівельними відходами, адже в Україні відсутні стандарти якості та безпеки будівельних матеріалів із вторинної сировини, тобто на матеріали, що отримані у процесі сортування відходів, що робить їх реалізацію та повторне використання досить складним. Наслідком цього є те, що переважну більшість будівельних відходів захоронюють на полігонах, якщо їх не реалізують за тіншовими схемами [13].

Облік відходів руйнування потребує подальшого удосконалення, адже проведений аналіз ГО «Екологія. Право. Людина» за підтримки Агентства США з міжнародного розвитку (USAID) в рамках Програми «Права людини в дії» щодо реалізації Постанови № 1073 свідчить про те, що по факту уповноважені органи не ведуть належним чином облік відходів, що утворюються на території їхніх громад внаслідок збройної агресії російської федерації. Такий облік ведеться лише в процесі вивезення відходів на місцях їх тимчасового зберігання, проте багато відходів залишаються на місцях їхнього утворення та не попадають в офіційну статистику, оскільки облік відходів на місці утворення не здійснюється [9]. Таким чином, є необхідність внесення даних обліку будівельних відходів, відходів від знесення та руйнування у статистичну звітність. Оцінювання ефективності повторного використання таких відходів можливе виключно за умов якісної статистики.

Слабкі економічні стимули пов'язані з відсутністю дієвих фінансово-економічних механізмів для стимулювання збирання, сортування та вторинної переробки будівельних відходів. При розгляді питання повторного використання будівельних матеріалів важливо враховувати не лише вартість захоронення будівельних відходів, але й витрати на використання вторинних матеріалів на початкових етапах виробничого циклу.

Наразі, вторинні матеріали в Україні не є конкурентоспроможними, що обумовлено низькою вартістю первинної сировини, зокрема щебеню та піску. Така ситуація пояснюється низькими рентними ставками на видобуток корисних копалин, що робить первинні будівельні матеріали значно дешевшими. Тому, необхідно реформувати систему ціноутворення на природні ресурси, щоб забезпечити конкурентоспроможність вторинних матеріалів на ринку сировини.

Важливим є соціальний аспект, який полягає в проведенні широких інформаційно-роз'яснювальних кампаній для населення та бізнесу щодо необхідності поводження з відходами як з вторинною сировиною з максимальним рециклінгом у будівельній галузі.

З КРАЩІ ПРАКТИКИ ВИКОРИСТАННЯ ВІДХОДІВ ЗНЕСЕННЯ ТА РУЙНАЦІЇ ДЛЯ СТАЛОГО РОЗВИТКУ БУДІВЕЛЬНОЇ ГАЛУЗІ ТА ПОДОЛАННЯ НАСЛІДКІВ ВІЙНИ

Екологічно дружньою альтернативою звичайному захороненню будівельних відходів є їх вторинна переробка, що дозволяє зменшити використання природних ресурсів і скоротити викиди парникових газів в атмосферу. Така перероблена сировина може бути повторно використана за своїм первісним призначенням. Рециклінг дозволяє ефективніше використовувати обмежені природні ресурси та мінімізувати екологічний збиток від виробничої діяльності, особливо в будівельній сфері.

Міжнародний досвід поводження з будівельними відходами відрізняється від країни до країни, але можна виділити деякі загальні підходи та найкращі практики.

Багато країн фокусуються на повторному використанні та рециклінгу будівельних відходів. Наприклад, у ЄС ще у 2018 році переробляли 88 % будівельних відходів для зменшення обсягів звалищ та збереження природних ресурсів. У Нідерландах заборонено вивозити перероблювані будівельні відходи, і країна щороку переробляє 22 мільйони тонн будівельних відходів. У Великій Британії запроваджено податок на використання природних заповнювачів (піску, гравію, гірських порід) у розмірі 1,6 фунта стерлінгів за тону [14].

У зв'язку з цим, у світовій практиці зростає актуальність пошуку альтернативних методів щодо використання сировини та технологій виготовлення будівельних матеріалів. Фахівці розглядають доцільність переробки цих відходів і оцінюють, як застосування вторинної сировини в будівництві, дизайні, архітектурі та побутовому житті може вплинути на економіку та екологічну ситуацію.

Країни в усьому світі скорочують CDW шляхом запровадження ефективного законодавства та підвищення обізнаності.

Поточні методи обробки та переробки CDW можна вважати поширеними в Європі. Послідовність таких операцій включає:

- прийом, зважування та візуальний огляд;
- ручний попередній відбір (для невідокремлених потоків), відхилення та перенаправлення на альтернативні способи обробки;
- відсів великих матеріалів;
- магнітна сепарація;
- ручне розділення пластикових, дерев'яних та інших потоків відходів, якщо це необхідно;
- дроблення;
- просіювання та вторинне дроблення, яке застосовується залежно від цільової суміші продуктів.

Для того, щоб досягти нульового рівня захоронення CDW у Великій Британії, будівельна галузь зазвичай починає оцінювати загальний життєвий цикл виробництва відходів ще на етапі проектування та надає план переробки будівельних відходів. У цій країні прийняті спеціальні правила поводження з будівельними відходами, що передбачають реєстрацію типів будівельних відходів на будівельному майданчику. Уряд Великої Британії спонсорував Програму дій щодо ресурсів відходів, що включає різноманітні заходи, спрямовані на збільшення обсягів переробки CDW. Зокрема це комунікація з будівельним сектором для визначення вищих рівнів вмісту перероблених відходів, допомога компаніям у зменшенні обсягів CDW, що вивозяться на звалища, та співфінансування переробних заводів. Також у Великій Британії запроваджено податок на захоронення будівельних відходів на полігонах, і цей щорічний податок поступово зростає.

Відслідковування потоків відходів у країні забезпечується веб-системою WasteDataFlow, що використовується для звітності про муніципальні відходи місцевими органами влади Великобританії. На основі даних WasteDataFlow формується статистика по країні, дані є доступними на веб-сайті кожного департаменту. Система містить у тому числі показник – коефіцієнт утилізації

нешкідливих будівельних відходів і відходів під час знесення. Такий інтегрований підхід стимулює розвиток системи переробки відходів.

В Австралії найбільшими компонентами потоку CDW і матеріалами, що найчастіше переробляються, є бетон, цегла, асфальт, ґрунт, деревина та чорні метали, оскільки вони зазвичай утворюються при знесенні у великих кількостях і мають діючий ринок для повторного використання та переробки (наприклад, бетон, цегла та асфальт), або відносно високу комерційну цінність (наприклад, метали). В Австралії також прийнято низку законів і нормативно-правових актів, спрямованих на посилення управління та переробки будівельних відходів.

Японія займає лідируючі позиції у сфері обробки та повторного використання будівельного сміття. В країні існує більше 20 підвидів «будівельних побічних продуктів», які обробляються. Основним принципом обробки CDW в Японії є зменшення утворення відходів на будівельному майданчику та повторне їх використання, наскільки це можливо.

Японія була першою країною в Азійському регіоні, яка сформулювала правила поводження з будівельними відходами. Шляхом постійного доповнення та вдосконалення вона сформувала правову систему, яка відповідає її національним умовам. Також Японія створила систему переробки будівельних відходів, розробила технології класифікації та переробки, а також впровадила стратегію нульових викидів для будівельних відходів, що значно сприяло їх відновленню, причому рівень відновлення збільшився з 42 % у 1995 році до 97 % у 2011 році [4]. В Японії достатньо високим є рівень утилізації відходів бетонних блоків, які, як правило, використовуються як заповнювач для асфальтобетону після дроблення і сепарації. Що стосується відходів деревини, то відповідно до їх якості, вони можуть бути використані як сировина для виробництва паперу, плит для гарячого пресування, паливо тощо. Відходів пластику, за винятком невеликої частини, що переробляють, спалюється у спеціальних умовах.

Сполучені Штати також є однією з країн з найбільшим виробництвом будівельних відходів. У деяких штатах діє норма обов'язкової утилізації не менше половини відходів під час будівництва споруд площею понад 500 м².

У Сполучених Штатах також існують деякі політики сприяння переробці будівельних відходів:

- уряд чітко визначив вимоги до переробки будівельних відходів, включаючи вимоги та пропорції переробки матеріалів, специфічні вимоги до «зелених» будівель тощо;
- створення ринкових стимулів, включаючи податкові пільги, субсидії на переробку, податкові знижки тощо;
- проведення просвітницької роботи серед будівельних компаній та широкої громадськості з метою підвищення обізнаності про переробку будівельних відходів.

Більшість штатів та органів місцевого самоврядування США заохочують підприємства та населення до переробки будівельних відходів. Існують також національні проекти, наприклад, Агентство з охорони навколишнього середовища США створило веб-сторінку з утилізації твердих побутових відходів, щоб надати зацікавленим сторонам інформацію про переробку будівельних відходів у проектах знесення, реконструкції та нового будівництва [3].

Наразі переробка будівельних відходів у Китаї [15] базується переважно на використанні інертних будівельних відходах. Відповідно до «Правил поводження з міським будівельним сміттям та залишками відходів», затверджених Міністерством будівництва у 2003 році, відповідно до класифікації джерел, відходи будівництва можна поділити на знесення старих будівель, будівництво та виробництво будівельних матеріалів, в основному з використанням осаду, щебеню, відходів будівельного розчину, уламків цегли та черепиці, бетону, асфальту, пластику, металобрухту, відходів деревини, тощо. Різні споруди та типи будівельних конструкцій утворюють відходи, компоненти яких відрізняються. Середній рівень відновлення будівельних відходів у Китаї становить близько 5 %. На основі огляду літератури та опитування було проаналізовано проблеми поводження з CDW у Китаї. Інтерв'ю проводилось з відповідними зацікавленими сторонами, включаючи дослідників, проєктувальників будівель, працівників будівельних та демонтажних компаній,

а також менеджерів компаній, що займаються переробкою та утилізацією CDW. Автори [16] дослідили проблеми поводження з будівельними відходами в Китаї на основі принципу 3R циркулярної економіки та узагальнили деякі з наступних існуючих проблем переробки будівельних відходів у Китаї:

- бар'єри для зменшення обсягів: відсутність стандартів проектування для зменшення CDW, низька вартість утилізації CDW, невідповідне міське планування;

- бар'єри для повторного використання: відсутність рекомендацій щодо ефективного збору та сортування CDW, відсутність стандартів для повторного використання CDW;

- бар'єри для переробки: неефективне державне регулювання, недосконалість технології переробки, відсутність стандартів на перероблену продукцію.

На основі цих висновків були запропоновані пропозиції щодо сприяння управлінню CDW на основі принципу 3R:

- розробка ефективних моделей циркулярної економіки в будівництві та інших суміжних галузях. Щоб примусово скоротити CDW, необхідно посилити контроль над джерелом. Наприклад, зацікавлені сторони, які займаються проектуванням і будівництвом, повинні підписати угоду про розробку програм зеленого будівництва, в рамках якої вони спільно керують CDW;

- посилений нагляд та управління для реалізації повторного використання та переробки CDW. Підходи до цього аспекту включають створення узгодженої системи регулювання «зверху вниз», здійснення моніторингу процесу CDW та впровадження суворого покарання за незаконне поводження с CDW;

- використання інноваційних технологій для просування циклічної економіки CDW. Уряд має заохочувати економічні заходи стимулювання, такі як скорочення періоду подання заявки на отримання кредиту та зниження орендної плати за землю для підприємств, що використовують CDW. Нові ринкові моделі, такі як державно-приватне партнерство, також слід заохочувати для полегшення економічного тиску на компанії з обробки/переробки CDW [17].

Сучасний європейський підхід до розвитку будівельної галузі також базується на принципах циркулярної економіки, в якій будівлі та ресурси використовуються якомога довше, відходи зводяться до мінімуму, а витрати первинних матеріалів мінімізуються за рахунок їх повторного використання. Циркулярні будівлі проектуються гнучкими та адаптивними, з можливістю легкої модернізації, перепрофілювання або деконструювання в кінці їхнього життєвого циклу, що виходить за рамки традиційних процесів будівництва та знесення. Циркулярні будівлі включають в себе стійкі матеріали, енергоефективні системи та низьковуглецеві технології для зменшення впливу на навколишнє середовище протягом усього життєвого циклу [18].

Європейський Союз взяв на себе зобов'язання стати кліматично нейтральним до 2050 року і досягти економіки з нульовим рівнем викидів парникових газів. Рамкова директива про відходи (WFD) 2008/98, яка запровадила «ієрархію відходів», поставила перед державами-членами ЄС мету до 2020 року повторно використовувати, переробляти та утилізувати близько 70 % безпечних CDW. Видатні зусилля ЄС щодо енергетичного впливу будівництва мають на меті зменшення вуглецевого сліду будівель.

У відповідь на законодавчі та політичні ініціативи ЄС багато країн впровадили принципи циркулярності на національному рівні, зокрема:

– Данія: Національна данська стратегія сталого будівництва починаючи з 2023 року встановлює вимоги щодо викидів CO₂ на 1 м² для будівель площею понад 1000 м² на основі оцінки життєвого циклу;

– Франція: Закон про боротьбу з відходами та циркулярну економіку, прийнятий у 2020 році передбачає нову розширену відповідальність виробника та обов'язкову діагностику будівель перед знесенням.

На рисунку 3.1 наведено циркулярний потік ресурсів, що охоплює потік матеріалів від існуючої будівлі, що підлягає (частковому) знесенню, до використання вторинних матеріалів у новій будівлі.

Традиційне знесення будівель включає процес знесення та утилізації будівельних відходів за найнижчою ціною без можливості використання перероблених матеріалів.

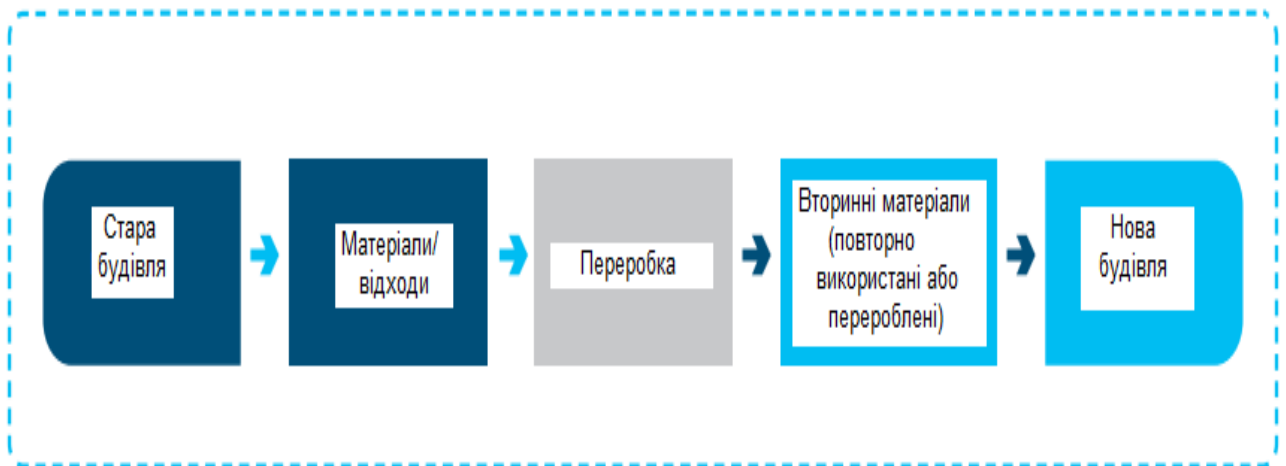


Рисунок 3.1 – Ланцюжок створення вартості через переробку ресурсів зі старої будівлі та використанні при будівництві нової будівлі [19]

Створення циркулярного потоку означає включення процесу запобігання утворенню відходів шляхом збереження існуючих будівель, відновленню та утилізації відходів шляхом перетворення матеріалів з відходів на ресурси та/або вторинні матеріали. При цьому необхідним є врахування:

- ієрархії відходів (це означає, наприклад, що краще спочатку розглянути можливості повторного використання, а вже потім – переробки);
- економічного балансу;
- захист довкілля та сталого розвитку.

До основних етапів формування циркулярного ланцюжка відносяться:

а) знесення та реновація:

1) планування – це етап, на якому розглядаються альтернативи новому будівництву та/або знесенню, наприклад, краще використовувати існуючі активи шляхом реконструкції та модернізації; цей етап також включає оцінку потенційного використання матеріалів, що будуть утворюватися при знесенні, шляхом визначення їхнього майбутнього використання та власників і передбачає:

– аудит перед знесенням: інвентаризація компонентів і матеріалів, що підлягають повторному використанню, можливості їх переробки; ця інформація може бути інтегрована в паспорт матеріалу, де наведені дані про матеріали, включаючи походження, склад/забруднення, якість, придатність до повторного використання та очікуваний термін служби;

– оцифрування інформації для можливості відстежування і переробки матеріалів для їх подальшого використання;

– проведення тендеру та укладання контракту на проведення робіт, у т.ч. з переробки відходів і вторинного використання.

2) вибіркове знесення: на основі аудиту, що передує знесенню, цей етап включає демонтаж компонентів і матеріалів, а також поетапне розділення фракцій на місці для максимального збереження їхньої цінності та функціональності.

б) ринок вторинних матеріалів:

1) фізичні матеріальні банки: тимчасові або постійні місця для перетворення, обробки та зберігання матеріалів з метою їхнього подальшого продажу для другого життя;

2) цифровий маркетплейс: онлайн-платформа для реклами наявних матеріалів, що включає в себе опис властивостей матеріалу, місцезнаходження, часу, вартість тощо.

3) оцінка якості вторинних матеріалів: розробка достовірної інформації про матеріали, що можуть повторно використовуватись, для забезпечення їхньої придатності до повторного використання в новому будівництві;

в) нове будівництво:

1) планування: спрямоване на включення конкретних відновлених матеріалів на етапі проектування;

2) закупівлі: проведення тендеру та укладання контракту, включаючи вимоги, що визначені на етапі планування та управління ризиками;

3) цифровий паспорт: створення паспорта будівлі з документацією всіх матеріалів будівлі, включаючи інформацію про склад, технічні характеристики, дані про життєвий цикл, а також можливості для поводження з відходами та їх переробки.

4) експлуатація та технічне обслуговування: для продовження терміну служби будівлі слід зосередитися на оптимізації технічного обслуговування, яке можна покращити шляхом надання пріоритету високій довговічності матеріалів та будівельних елементів, а також проектування з урахуванням ремонтних робіт.

Вибіркове знесення. Дозволить зберегти цінність будівельних компонентів та матеріалів з потенціалом повторного використання або переробки, виконуючи демонтаж компонентів або матеріалів без їх пошкодження. Цей метод забезпечує найкращі можливості для сортування небезпечних матеріалів та вторинних ресурсів. Видаляючи шкідливі речовини та будівельні матеріали, що придатні для повторного використання, досягають зменшення утворення відходів на будівельному майданчику та створюють вторинну пропозицію будівельних матеріалів. Етап так званого м'якого демонтажу повинен бути виконаний оперативно після того, як останній користувач приміщення виїхав.

Після того, як будівельні матеріали будуть вибірково вилучені, з ними слід поводитися і управляти ними таким чином, щоб зберегти їхню цінність і корисність. Вибіркове знесення може бути дорожчим, ніж традиційне, оскільки потребує більше часу та робочої сили. Водночас, це покривається економією коштів на утилізацію відходів та відновлення матеріалів.

На основі рекомендацій аудиту перед знесенням, тендери та контракти на вибіркові роботи з демонтажу повинні також включати планування та логістику для підготовки майданчика та вибіркового знесення, з м'якою зачисткою та розділенням матеріалів на місці (рисунок 3.1).

Селективне знесення. Для ефективного селективного знесення важливо зазначати в контракті на знесення фракції відходів, які мають бути відсортовані на місці під час виконання робіт.



Рисунок 3.2 – Демонтаж черепиці для повторного використання

Більшість європейських країн надають допомогу у пошуках шляхів вирішення проблеми з відходами руйнації в Україні, оскільки на теперішній час вже реалізуються пілотні проєкти за участі міжнародних партнерів.

Японське агентство міжнародного співробітництва (JICA) надало обладнання для подрібнення та сепарації будівельних відходів у Київській області. Планується запуск стаціонарної лінії переробки будівельних відходів у Бородянці та двох мобільних ліній в інших населених пунктах [20].

Зруйновані будівлі та споруди необхідно спочатку розібрати та розсортувати. Адже до таких відходів належать металопластик та скло, фасадні оздоблювальні матеріали, армуючі сітки, мінеральна вата, матеріали внутрішнього оздоблення, стінові матеріали, покрівля, уламки деревини, а також предмети побуту: одяг, побутова техніка та меблі, побутова хімія, посуд, небезпечні відходи у вигляді аптечок, термометрів, люмінесцентних ламп тощо [21, 22].

Також можуть бути тіла людей та тварин, залишки вибухових речовин та снарядів. Всі ці предмети важко відсортувати. Тому ситуація з відходами від

руйнувань значно складніша, ніж з будівельним, але все одно вирішувана (рисунок 3.3).



Рисунок 3.3 – Огляд зруйнованого приміщення військовими фахівцями

Бригади починають розчищення території (рисунок 3.4), дотримуючись усіх необхідних заходів безпеки.



Рисунок 3.4 – Робота бригад міжнародних партнерів по розчищенню території

У великих містах наразі поширена практика первинного сортування відходів на місці їх знищення. Цим займаються комунальні підприємства або приватні підрядники [21, 22].

Рециклінг матеріалів активно використовується для відновлення багатьох фракцій будівельних відходів та відходів знесення [23]. Зруйнований бетон та інші відходи, що містять негідратований цемент, можуть бути використані для виробництва вторинного цементу за допомогою ряду операцій переробки, без шкоди для довкілля зокрема [24]:

- початковий етап – включає збір відходів, що містять негідратований цемент;
- подрібнення до меншого розміру частинок;
- подрібнення на дрібні частинки;
- очищення шляхом просіювання для видалення домішок, забруднень та будь-яких інших залишкових речовин.

Отримання бетонного щебню та дрібнозернистих відсівів для їх подальшого використання є завершальною стадією замкнутого циклу переробки бетонних і залізобетонних відходів, що включає етапи «зношення – вивезення – переробка – реалізація» [25, 26]. Цьому етапу передують кілька інших важливих стадій, які забезпечують якість кінцевої продукції.

На першому етапі здійснюється підготовка будівлі до знесення. Від'єднаний від комунікацій та електроживлення будинок звільняють від столярних виробів, лінолеуму, паркету, труб, м'якого даху та інших елементів, не виготовлених з бетону. Після цієї підготовки залишається лише каркас з бетонних, залізобетонних та цегляних елементів. Проте, навіть після підготовки, у конструкціях будівлі залишається близько 20 % будівельного сміття, яке важко відокремити від бетону і яке знижує якість бетонного щебеню: утеплювач, гіпсобетонні перегородки, шлакобетонний наповнювач панелей, стара сантехніка тощо.

Другий етап включає демонтаж збірних та руйнування монолітних елементів з подальшим сортуванням за розмірами і транспортуванням до місць

утилізації. Цей процес здійснюється з використанням спеціальної будівельної техніки, алмазних пилок, бурильних агрегатів та невибухових розширювальних цементів.

Третій етап полягає у подрібненні бетону, залізобетону та цегли з подальшою класифікацією отриманої суміші. Внаслідок класифікації отримують щебінь, метал, деревину та пластик. Усі ці матеріали можуть бути утилізовані для отримання вторинної продукції.

Щебінь розділяється на фракції та використовується як заповнювач при виготовленні бетону та залізобетону [27]. Відсів з частинками менше 5 мм доцільно використовувати як наповнювач для виготовлення ніздрюватих бетонів та будівельних розчинів.

Відходи деревини переважно використовуються для отримання тепла.

Металеві відходи після класифікації передаються підприємствам з переробки вторинних металів для переплавлення та виготовлення вторинної продукції [28].

Переробка певних видів відходів, таких як лінолеум чи м'яка покрівля, супроводжується виділенням значної кількості токсичних газів, що потребує встановлення складних очисних систем. Тому доцільним є їх подрібнення та спалювання у цементних печах, де, завдяки високим температурам (1300-1450 °C), відбувається повне розкладання на нетоксичні компоненти та згоряння з виділенням додаткового тепла.

Скло та його відходи у вигляді склобою можуть бути передані на переробку відповідним підприємствам, що займаються виробництвом скла.

Вторинний щебінь може замінити від 20 % до 60 % від загального обсягу гранітного щебню в залежності від типу будівельного проекту, що дозволяє суттєво скоротити витрати на придбання дорогих будівельних матеріалів (до 40 %). При використанні високотехнологічних методів переробки, якість вторинного щебню мало поступається якості природного.

Основним критерієм оцінки доцільності переробки і утилізації будівельно-демонтажних відходів є їх економічна ефективність. Енерговитрати на

видобуток природного щебню у 8 разів вищі, ніж на отримання щебню з бетону, а собівартість бетону, виготовленого на вторинному щебні, знижується на 25 % [29].

Вибір на користь вторинного щебню є очевидним: його вартість залежно від фракції в 4 рази нижча від вартості природного матеріалу. Промислова переробка відходів дозволяє мінімізувати транспортні та інші витрати. Переробка відходів повинна вирішуватися з метою отримання максимального прибутку для компенсації капітальних вкладень у їх промислову переробку. Сортування відходів і подальша переробка їх у вторинну сировину значно скорочує кількість відходів, що підлягають спалюванню або захороненню на полігонах.

Завданням дослідження утилізації будівельних відходів є розробка прогресивних технологій утилізації та оцінка техногенного впливу на довкілля. Технічно правильно обрані методи підготовки і переробки відходів є економічно рентабельними та екологічно обґрунтованими.

Цегельний рециклат. Виготовляється за допомогою дробильно-сортувального комплексу з розміром частинок до 80 мм у різних фракціях. Найчастіше використовується для виробництва бетону. Такий бетон може бути використаний при зведенні стін, для виробництва збірних елементів або будівельних сумішей. Іншим можливим використанням є виробництво бетону для дренажу. Останнім часом також були виготовлені пресовані пінобетонні блоки із суміші переробленої цегли і глини.

Бетонний рециклат. Найчастіше використовують як наповнювач у бетон, який можна використовувати під шпали або як заміну щебня конструкційного бетону нижчих класів.

Переваги рециклінгу:

- переробка, промивання, сортування та вторинне використання інертних матеріалів та залишків розчиненої частини;
- відсутність витрат на вивезення та утилізацію залишків за межі підприємства;

В таблиці 3.1 наведені операції з виробництва вторинного цементу.

Таблиця 3.1 – Короткий опис процесу виробництва вторинного цементу методами механічної та хімічної активації [29]

Джерело виробництва переробленого цементу	Вік джерела	Прийнятий метод	Етапи обробки
1	2	3	4
Невикористаний цемент	1 рік	Механічна активація	Дроблення, подрібнення, просіювання
Цементне тісто	7 днів	Механічна активація	Дроблення, суха/мокра карбонізація
Бетон зі старої залізничної шпали	20 років	Механічна активація	Відділення сталі, дроблення, подрібнення
Відходи бетону	20 років	Механічна активація	Дроблення, подрібнення
Відходи бетону із залізобетонного будівництва	-	Механічна активація	Дроблення, просіювання, подрібнення
Відходи бетонні	-	Механічна активація	Дроблення, подрібнення, повітряна сепарація
Відходи бетону	-	Механічна активація	Мокре подрібнення
Відходи бетону	-	Механічна активація	Дроблення, подрібнення, просіювання
Відходи бетону	-	Механічна активація	Дроблення, подрібнення, просіювання
Відходи бетону	20 років	Хімічна активація	Дроблення, подрібнення, хімікати
Відходи бетону із залізобетонного будівництва	-	Хімічна активація	Дроблення, просіювання, подрібнення, хімікати

- захист довкілля від забруднення залишками промислового виробництва;
- зниження витрат на будівельні матеріали;

відсутність необхідності в механічному очищенні міксерів, що продовжує їх експлуатацію та полегшує технічне обслуговування [30].

Рециклінг залишків будівельних сумішей є екологічно та економічно ефективним методом управління виробничими матеріалами, що значно скорочує часові та фінансові витрати.

ВИСНОВКИ

У результаті виконання кваліфікаційної роботи було визначено, що будівельний сектор є одним з важливих елементів Європейського Зеленого курсу. Відходи, що утворюються під час будівництва, реконструкції та знесення мостів, доріг і будівель, складаються з різних матеріалів, що використовуються в будівництві (бетон, цегла, скло, дерево, метали, гіпс, пластик, розчинники тощо та небезпечні речовини) і є найбільшим потоком відходів в ЄС. Їх обсяги вдвічі перевищують обсяги утворення твердих побутових відходів. На типовому будівельному майданчику відходи оцінюються в обсязі близько 30 % від загальної ваги будівельних матеріалів, що доставляються на нього.

Внаслідок військової агресії РФ в Україні утворилась нова категорія відходів, яку називають відходи від руйнування, обсяги яких щоденно зростають, адже щоденно під час обстрілів руйнується інфраструктура українських міст та сіл, особливо у прифронтових районах, включаючи об'єкти житлового і нежитлового фондів, промисловості, енергетики, сфер освіти та охорони здоров'я тощо. Для врегулювання цього питання 27 вересня 2022 р. була прийнята постанова Кабінету міністрів України № 1073 «Про затвердження Порядку 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 та внесення змін до деяких постанов Кабінету Міністрів України».

В умовах повоєнного відновлення країна буде мати величезну кількість відходів руйнування та знесення, адже не всі частково вцілілі будинки буде доцільно реконструювати. Проведений у роботі аналіз досвіду розвинутих країн показує, що ці відходи можуть бути оброблені та успішно використані повторно в будівельній галузі. На даний момент цьому заважає низка проблем, зокрема це недоліки правового регулювання, відсутність інфраструктури та технологій,

недоліки в регулюванні, стандартизації, статистиці таких відходів, слабкі економічні стимули, невирішені соціальні аспекти.

Для подолання цих проблем і формування системи обробки відходів знесення та руйнації пропонується узгодити Порядок поводження з відходами від руйнувань із Законом України «Про управління відходами» щодо визначення даної категорії відходів, а також видів та юридичного значення операцій з управління відходами; створити інфраструктуру з передовими технологіями обробки та повторного використання (рециклінгу) складних потоків відходів знесення та руйнування. Розробити та затвердити стандарти якості та безпеки будівельних матеріалів із вторинної сировини. Доповнити статистику по відходах інформацією про відходи від руйнування, знесення та їх повторного використання. Реформувати системи ціноутворення на природні ресурси, щоб забезпечити конкурентоспроможність вторинних матеріалів на ринку сировини. А також проводити інформаційно-роз'яснювальні кампанії серед населення та бізнесу щодо необхідності поводження з відходами як з вторинною сировиною з максимальним рециклінгом у будівельній галузі.

Визначені в роботі кращі практики побудови системи рециклінгу відходів знесення та руйнації представляють собою симбіоз інноваційних технологій з цифровізацією та побудовою галузі з повторного використання відходів на засадах циркулярної економіки. Створення циркулярного потоку означає включення процесу запобігання утворенню відходів шляхом збереження існуючих будівель, відновленню та рециклінгу відходів.

Кращими практиками формування циркулярного ланцюжка визначено реновації, цифровий паспорт будівлі, вибіркове знесення, ринок вторинних матеріалів та рециклінг. Найбільш ефективним на даний час для України є рециклінг будівельних відходів безпосередньо в будівельній галузі, зокрема це отримання з відходів вторинних матеріалів, таких як бетонний та цегельний рециклат, перероблений асфальт.

ПЕРЕЛІК ДЖЕРЕЛ ПОСИЛАННЯ

1. European commission. Communication from the commission. The European Green Deal. – Brussels, 2019. – Режим доступу: <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/HTML/?uri=CELEX:52019DC0640&from=ET> (дата звернення 23.05.2024).
2. Chiara Coluccia. Cityloops circular construction handbook / Chiara Coluccia, Leslie Petitjean. – Elsevier, 2023. – Режим доступу: <cityloops.eu.file:///C:/Users/PC/Desktop/%D0%93%D0%BD%D0%B0%D0%BF%D0%91%D1%83%D0%B4%D1%96%D0%B2%D0%BB%D1%96/City-Loops-Circular-Construction-handbook.pdf> (дата звернення 24.05.2024).
3. Current Applications of Recycled Aggregates from Construction and Demolition / G. S. Reis, M. Quattrone, W.M. Ambrós, etc. // A Review. Materials. – 2021. – № 14. – Режим доступу: <https://doi.org/10.3390/ma14071700> (дата звернення 24.05.2024).
4. Trevor Letcher. Waste. Handbook for Management / Trevor Letcher, Daniel A. Vallero. – Elsevier, 2011. – 565 p.
5. Advances in Construction and Demolition Waste Recycling. Management, Processing and Environmental Assessment / F. Pacheco-Torgal, Francesco Colangelo, Rabin Tuladhar, Yining Ding. – Elsevier, 2020. – 573 p.
6. Salah El Hagggar. Sustainable Industrial Design and Waste Management. Cradle-to-Cradle for Sustainable Development / Salah El Hagggar. – Elsevier, 2007. – 401 p.
7. Про затвердження Порядку класифікації відходів та Національного переліку відходів: Постанова Кабінету Міністрів України від 20.10.2023 № 1102. – Режим доступу: <https://www.kmu.gov.ua/npas/pro-zatverdzhennia-poriadku-klassifikatsii-vidkhodiv-ta-natsionalnoho-pereliku-vidkhodiv-i201023-1102> (дата звернення 27.05.2024).
8. Закон України від 20.06.2022 р. № 2320-IX «Про управління

відходами». – Режим доступу: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/2320-20/print> (дата звернення 29.05.2024).

9. Попович О. Р. Проблеми утилізації та переробки будівельних відходів / О. Р. Попович, Я. М. Захарко, М. С. Мальований // Вісник Національного університету «Львівська політехніка». Теорія і практика будівництва. – 2013. – № 755. – С. 321-324. – Режим доступу: http://nbuv.gov.ua/UJRN/VNULPTPB_2013_755_60 (дата звернення 1.06.2024).

10. Екологія. Право. Людина. Офіційний сайт ГО. – Режим доступу: <https://epl.org.ua/announces/stan-povodzhennya-z-vidhodamy-vid-rujnuvan-v-ukrayini-stanom-na-kviten-2024-roku> (дата звернення 1.06.2024).

11. Київська школа економіки. Офіційний сайт. – Режим доступу: <https://kse.ua/ua/about-the-school/news/zagalna-suma-zbitkiv-zavdana-infrastrukturi-ukrayini-zrosla-do-mayzhe-155-mlrd-otsinka-kse-institute-stanom-na-sichen-2024> (дата звернення 1.06.2024).

12. Звіт про прямі збитки інфраструктури від руйнувань внаслідок військової агресії росії проти України за рік від початку повномасштабного вторгнення. Київська школа економіки. Офіційний сайт. – Режим доступу: https://kse.ua/wp-content/uploads/2023/03/UKR_Feb23_FINAL_Damages-Report-1.pdf (дата звернення 1.06.2024).

13. Трегуб О. Правові аспекти управління відходами від руйнування будівель та споруд, що утворюються внаслідок бойових дій / О. Трегуб // Law. State. Technology. – 2023. – №4. – С. – 16-22. – Режим доступу: <https://journals.politehnica.dp.ua/index.php/lst/article/view/489/428> (дата звернення 1.06.2024).

14. Токарчук Д. М. Особливості утворення і поводження з відходами під час воєнних дій: досвід України / Д. М. Токарчук // Економіка, фінанси, менеджмент: актуальні питання науки і практики. – 2022. – № 2. – С. 109-122.

15. Ірина Коссе. Перероблення будівельних відходів: виклики та можливості для України / Ірина Коссе. – Аналітична платформа «Вокс Україна», 2024. – Режим доступу: <https://voxukraine.org/pereroblennya-budivelnih-vidhodiv>

vyklyky-ta-mozhlyvosti-dlya-ukrayiny (дата звернення 2.06.2024).

16. Willingness to pay for higher construction waste landfill charge: A comparative study in Shenzhen and Qingdao, China / Jingru Li, Jian Zuo, Hong Guo, etc. // *Waste Management*. – 2018. – Vol. 81. – P. 226-233.

17. Construction and demolition waste management in China through the 3R principle / Beijia Huang, Xiangyu Wang, Harnwei Kua, etc. // *Resources, Conservation and Recycling*. – 2018. – Vol. 129. – P. 36-44.

18. A review of performance assessment methods for construction and demolition waste management / Huanyu Wu, Jian Zuo, Hongping Yuan, etc. // *Resources, Conservation and Recycling*. – 2019. – Vol. 150. – P. 104-107.

19. Luís Bragança. BAMB-CIRCPATH: Building As Material Banks – A Pathway for a Circular Future / Bragança Luís. – Brussels, 2019. – 83 p.

20. Ореханова Юлія. Аналіз проблеми переробки відходів від руйнувань: воєнний вимір [Електронно-друковане видання] / Юлія Ореханова, Анна Амбросова, ГС «Досить труїти Кривий Ріг», Кривий Ріг, 2023. – 32 с.

21. Якимечко Г. Я. Аспекти рециклінгу будівельних відходів / Г. Я. Якимечко, О. Р. Попович // *Вісник Національного університету «Львівська політехніка»*. – 2011. – № 700. – С. 279-282.

22. Лялюк О. Г. Оцінка екологічного життєвого циклу будівельної продукції / О. Г. Лялюк, О. Г. Ратушняк // *Сучасні технології, матеріали і конструкції в будівництві*. – 2014. – № 1. – С.136-140.

23. Березюк О. В. Математичне моделювання прогнозування обсягів продукування будівельних відходів в різних країнах світу / О. В. Березюк, М. С. Лемешев, С. В. Королевська // *Вісник Вінницького політехнічного інституту*. – 2021. – № 3. – С. 41-46.

24. Відходи руйнації в Україні вже можна порівняти з кількістю твердих побутових відходів, що в середньому утворюються в країні за рік. Міністерство захисту довкілля та природних ресурсів України. Офіційний сайт. 10.02.2023. – Режим доступу: <https://mepr.gov.ua/vidhody-rujnatsiyi-v-ukrayini-vzhe-mozhna-porivnyaty-z-kilkistyutverdyh-pobutovyh-vidhodiv-shho-v-serednomu->

utvoryuyutsya-v-krayini-za-rik/ (дата звернення 5.06.2024).

25. Проєкт 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: <https://www.kmu.gov.ua/storage/app/sites/1/recoveryrada/ua/construction-urban-planning-modernization-of-cities-and-regions.pdf> (дата звернення 5.06.2024).

26. Гафурова О.В. Інформація про відходи, що утворюються внаслідок війни: питання правового забезпечення / О. В. Гафурова, Т. С. Новак // Науковий вісник Ужгородського Національного Університету. Серія Право. – 2023. – Вип. 79: Ч.1. – С. 349-355.

27. Потіп М. М. Правове регулювання використання відходів війни як ресурсу для відновлення України / М. М. Потіп // Нове українське право. – 2023. – Вип. 3. – С. 106-114.

28. Уваров П. Є. Сучасні проблеми рециклінгу вторинних будівельних ресурсів / П. Є. Уваров, Г. О. Татарченко, М. Є. Шпарбер. // Наукові вісті Далівського університету. – 2019. – № 16. – Режим доступу: http://nbuv.gov.ua/UJRN/Nvdu_2019_16_22 (дата звернення 9.06.2024).

29. Kadepalli Nagendra Shivaprasad. A path to carbon neutrality in construction: An overview of recent progress in recycled cement usage / Kadepalli Nagendra Shivaprasad, Hyun-Min Yang, Jitendra Kumar Singh // Journal of CO₂ Utilization. – 2024. – Vol. 83. – Режим доступу: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2212982024001513> (дата звернення 06.06.2024).

30. Ossa A. Use of recycled construction and demolition waste (CDW) aggregates: A sustainable alternative for the pavement construction industry / A. Ossa, J. L. García, E. Botero // Journal of Cleaner Production. – 2016. – Vol. 135. – Р. 379-386. – Режим доступу: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S095965261630765X> (дата звернення 16.06.2024).