МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ЗАПОРІЗЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
ІНЖЕНЕРНИЙ НАВЧАЛЬНО- НАУКОВИЙ ІСТИТУТ ім. Ю.М. ПОТЕБНІ

Кафедра Промислове та цивільне будівництво
(повна назва)

Кваліфікаційна робота

рівень вищої освіти Магістр
(рівень вищої освіти)

на тему: Аналіз ефективного використання вторинної сировини для використання у сучасному будівництві

Виконав: студент 2 курсу, групи 8.1923-пцб-д
Дашков Артур Олександрович
(прізвище та ініціали)

Спеціальность
192 Будівництво та цивільна інженерія
(шифр і назва напряму підготовки, спеціальності)

освітньо-професійна програма
промислове і цивільне будівництво
(шифр і назва)

Керівник проф., д.т.н Арутюнян І.А
(посада, вчене звання, науковий ступінь, прізвище та ініціали)

Рецензент
(посада, вчене звання, науковий ступінь, прізвище та ініціали)

м. Запоріжжя – 2024 року

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ЗАПОРІЗЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
ІНЖЕНЕРНИЙ НАВЧАЛЬНО-НАУКОВИЙ ІНСТИТУТ ім. Ю.М. ПОТЕБНІ

Кафедра Промислового та цивільного будівництва
Рівень вищої освіти магістерський
Спеціальність 192 «Будівництво та цивільна інженерія»
(код таі назва)
Освітня програма «Промислове і цивільне будівництво»
(код та назва)

ЗАТВЕРДЖУЮ
Завідувач кафедри _____
«___» _____ 20___ року

З А В Д А Н Н Я
НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ СТУДЕНТОВІ

Дашков Артур Олександрович
(прізвище, ім'я, по батькові)

1 Тема роботи (проекту) Аналіз ефективного використання вторинної сировини для використання у сучасному будівництві
керівник роботи Арутюнян І.А., д.т.н., проф.
(прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання)
затверджені наказом ЗНУ від «30» 09 2024 року
№ 1486-с
2 Строк подання студентом роботи грудень 2024
3 Вихідні дані до роботи нормативно-технічна документація
4 Зміст розрахунково-пояснювальної записки (перелік питань, які потрібно розробити) 1. Характеристика будівельних відходів та утилізація. 2. Розробка математичної моделі визначення системи комплексного управління потоками відходів (СКУПВ) будівельної галузі. 3. Аналіз використання вторинної виробини в будівництві.
5 Перелік графічного матеріалу (з точним зазначенням обов'язкових креслень) 8 аркушів

6 Консультанти розділів роботи

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис завдання видав
Розділ 1	Арутюнян І.А.	
Розділ 2	Арутюнян І.А.	
Розділ 3	Арутюнян І.А.	

7 Дата видачі завдання _____

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів кваліфікаційної роботи	Строк виконання етапів роботи
1	Характеристика будівельних відходів та утилізація	з 01.10 по 24.10.2024
2	Розробка математичної моделі визначення системи комплексного управління потоками відходів (СКУПВ) будівельної галузі	з 25.10 по 15.11.2024
3	Аналіз використання вторинної вировини в будівництві	з 16.11 по 06.12.2024

Студент _____ (підпис) _____ А.О. Дашков (ініціали та прізвище)

Керівник роботи (проекту) _____ (підпис) _____ І.А. Арутюнян (ініціали та прізвище)

Нормоконтроль пройдено

Нормоконтролер _____ (підпис) _____ Даш

АНОТАЦІЯ

Дашков А.О. Аналіз ефективного використання вторинної сировини для використання у сучасному будівництві.

Кваліфікаційна випускна робота для здобуття ступеня вищої освіти магістра за спеціальністю 192 – Будівництво та цивільна інженерія, науковий керівник І.А. Арутюнян, Інженерний навчально-науковий інститут Запорізького національного університету, 2024.

Кваліфікаційна робота присвячена аналізу ефективного використання вторинної сировини в сучасному будівництві. В умовах зростання екологічної свідомості та посилення вимог до раціонального використання природних ресурсів, важливість вторинної сировини, як альтернативного будівельного матеріалу, значно зростає. У роботі розглядаються основні типи вторинної сировини, їхні фізико-механічні властивості, а також технологічні процеси, що забезпечують їх ефективну інтеграцію в будівельну галузь. Проаналізовано переваги і недоліки застосування таких матеріалів з точки зору екологічної безпеки, економічної ефективності та довговічності. Результати дослідження можуть бути використані для розробки рекомендацій щодо більш широкого впровадження вторинної сировини в будівництві, що сприятиме зниженню впливу будівельної індустрії на навколишнє середовище.

Ключові слова: Сучасне будівництво, ефективне використання сировини, оптимізація виробництва,.

REPORT

Dashkov A. Analysis of the effective use of secondary raw materials for use in modern construction.

Qualifying thesis for obtaining a master's degree in the specialty 192 - Construction and civil engineering, scientific supervisor I. Arutiunian, Engineering Educational and Scientific Institute of Zaporizhzhya National University, 2024.

The qualification work is devoted to the analysis of the effective use of secondary raw materials in modern construction. In conditions of growing environmental awareness and increasing requirements for the rational use of natural resources, the importance of secondary raw materials as an alternative building material is growing significantly. The work examines the main types of secondary raw materials, their physical and mechanical properties, as well as technological processes that ensure their effective integration into the construction industry. The advantages and disadvantages of using such materials from the point of view of environmental safety, economic efficiency and durability are analyzed. The results of the research can be used to develop recommendations for the wider implementation of secondary raw materials in construction, which will contribute to reducing the impact of the construction industry on the environment.

Keywords: Modern construction, efficient use of raw materials, optimization of production.

Зміст

Вступ..... 7

1 Характеристика будівельних відходів та утилізація……..9

1.1 Особливості процесу утворення будівельних відходів …….……....9

1.2 Класифікація будівельних відходів та законодавство у галузі поводження з будівельними відходами.....12

1.3 Загальні аспекти утилізації будівельних відходів.....16

2 Розробка математичної моделі визначення системи комплексного управління потоками відходів (СКУПВ) будівельної галузі.....22

2.1 Розробка алгоритму програмного модулю визначення системи комплексного управління потоками відходів (СКУПВ) будівельної галузі…….....22

2.2 Визначення структури функціональних можливостей інформаційно-аналітичної системи управління відходами будівництва…….....34

2.3 Математична моделі визначення системи комплексного управління потоками відходів (СКУПВ) будівельної галузі ……..40

3 Аналіз використання вторинної вировини в будівництві. ……..…57

3.1 Перспективні форми комплексного використання вторинної сировини на підприємствах будівельного комплексу …….....57

3.2 Екологічний менеджмент відходів будівельного виробництва 63

3.3 Сучасні проблеми рециклінгу вторинних будівельних ресурсів 72

Висновки.....84

Перелік використаних джерел..... 87

Вступ

У сучасному світі питання раціонального використання природних ресурсів та мінімізації негативного впливу на довкілля набувають все більшої актуальності. Будівельна індустрія є одним з найбільших споживачів природних ресурсів та джерелом значних обсягів відходів, що робить її одним із ключових секторів, де впровадження принципів циркулярної економіки є вкрай необхідним. Використання вторинної сировини у будівництві дозволяє не лише зменшити споживання первинних ресурсів, але й знизити кількість відходів, що потрапляють на полігони, тим самим сприяючи екологічній стійкості.

Актуальність теми дослідження обумовлена необхідністю впровадження інноваційних підходів до використання вторинної сировини у будівельній галузі. В умовах глобальних екологічних викликів та підвищених вимог до екологічної відповідальності бізнесу, використання вторинної сировини є важливим інструментом для досягнення стійкого розвитку. Крім того, розвиток технологій переробки відходів та їх повторного використання дозволяє значно зменшити витрати на будівництво та підвищити ефективність виробничих процесів.

Метою дослідження є аналіз ефективності використання вторинної сировини у сучасному будівництві з метою підвищення екологічної стійкості та економічної ефективності будівельних процесів.

Об’єктом дослідження є процеси використання вторинної сировини в будівельній галузі.

Предметом дослідження є ефективність використання вторинної сировини в будівельних матеріалах і конструкціях, а також її вплив на екологічну та економічну складові будівельного процесу.

Основні задачі:

- Провести аналіз сучасного стану використання вторинної сировини у будівництві.

- Вивчити основні типи вторинної сировини, що застосовуються в будівельній індустрії.
- Оцінити економічні та екологічні переваги застосування вторинної сировини у будівництві.
- Розробити рекомендації щодо підвищення ефективності використання вторинної сировини у будівельних процесах.
- Дослідити технологічні аспекти інтеграції вторинної сировини у будівельні матеріали.

Методи дослідження: У дослідженні використовуються такі методи: аналітичний огляд літератури, компаративний аналіз, методи математичного моделювання, експертна оцінка, а також експериментальні дослідження для оцінки властивостей будівельних матеріалів із вторинної сировини.

Практичне значення роботи полягає у можливості впровадження розроблених рекомендацій та підходів у будівельну практику, що сприятиме зменшенню впливу на навколишнє середовище, зниженню витрат на будівництво та підвищенню якості будівельних матеріалів. Результати дослідження можуть бути використані як основа для подальшого розвитку екологічних стандартів у будівництві та сприяти поширенню практик сталого розвитку в галузі.

Наукова новизна роботи полягає у систематизації та узагальненні знань про вплив вторинної сировини на ефективність будівельних процесів, а також у розробці нових підходів до використання вторинних матеріалів у будівництві, що дозволяє підвищити енергоефективність та екологічну стійкість будівельних проектів.

1. Характеристика будівельних відходів та утилізація

1.1 Особливості процесу утворення будівельних відходів

Швидкість росту науково-технічного прогресу значно випереджує можливості планування та прогнозування і створюють безліч проблем на етапі ліквідації будівельних об'єктів. Фізичне та моральне старіння переважної кількості об’єктів будівництва минулих епох та інші негативні фактори роблять все більш важливою в життєвому циклі об'єктів будівництва етап їх ліквідації та переробку їх складових конструкцій та матеріалів для повторного використання (рециклінг). Прийнята країнами Євросоюзу концепція повторного використання відходів, значно впливає на розвиток екологічної складової будівельної галузі. Сукупність прийнятих теоретичних та методологічних умов створює необхідність планування на етапі проектування об’єктів будівництва та протягом усього їх життєвого циклу плану утилізації будівельних відходів та рекультивації порушених земель. При цьому, будівельна галузь орієнтується на концепцію повторного використання сировини та матеріалів для технологічних процесів виробництва будівельних матеріалів (рис. 1.1). Тобто, планується не лише видалення та захоронення утворених відходів, а й повернення у технологічні процеси.

У зв'язку з даної концепцію будівельна галузь зіткнулась з необхідністю розв'язувати принципово нові завдання, влаштовувати нові будівельні процеси ліквідаційного циклу об'єктів будівництва, створювати і вдосконалювати існуючі методи знесення конструкцій, будівель і споруд, віднаходити додаткові джерела фінансування, створювати нові технології, і здійснювати підготовку спеціалістів з питань утилізації відходів будівельної галузі.

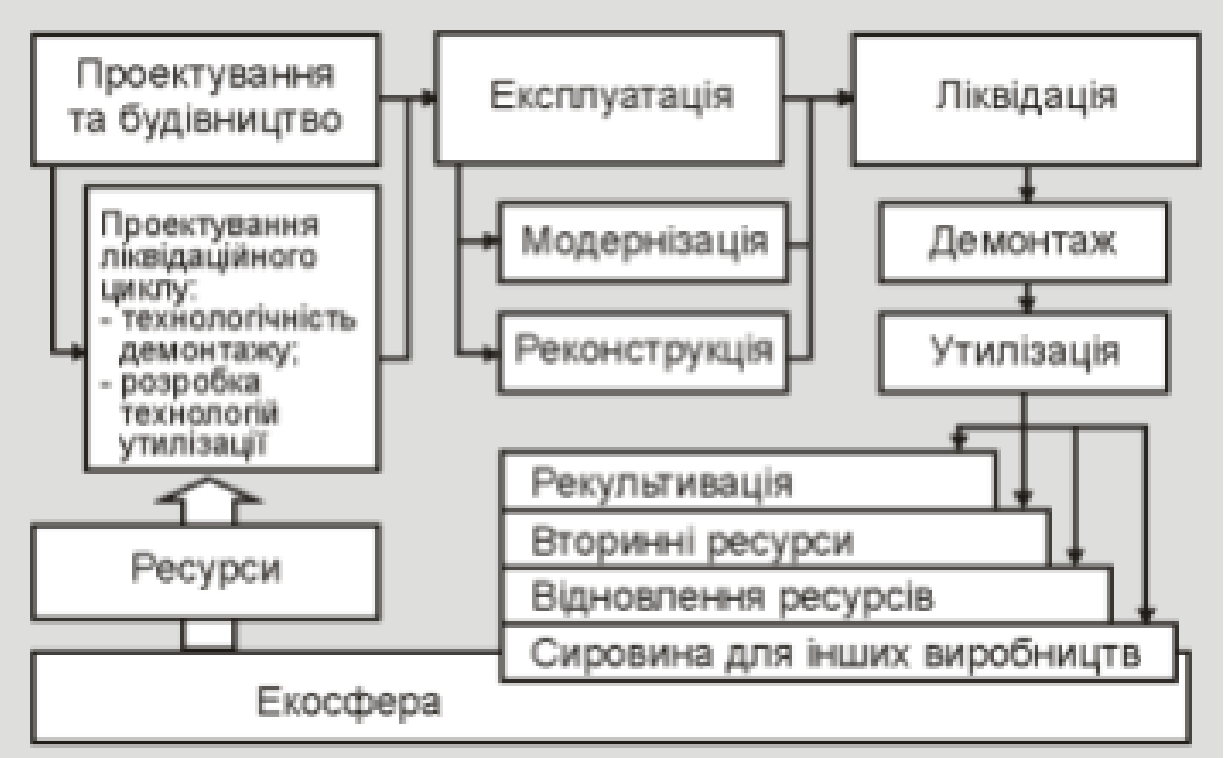


Рисунок 1.1 – Концепція замкнутого життєвого циклу проектів будівництва

Аналіз літературних джерел з даного питання показав, що існують різні підходи вирішення даного питання. Існує потреба в перейманні та впровадженні закордонного досвіду організаційно-технологічних та економічних шляхів, які відповідають концепції замкнутого життєвого циклу проектів будівництва, виведених з експлуатації будівель і споруд, утилізації будівельних відходів. [1]

Усі джерела утворення будівельних відходів, умовно можна розділити на два напрямки: будівельне виробництво та будівельна індустрія (рис. 1.2)

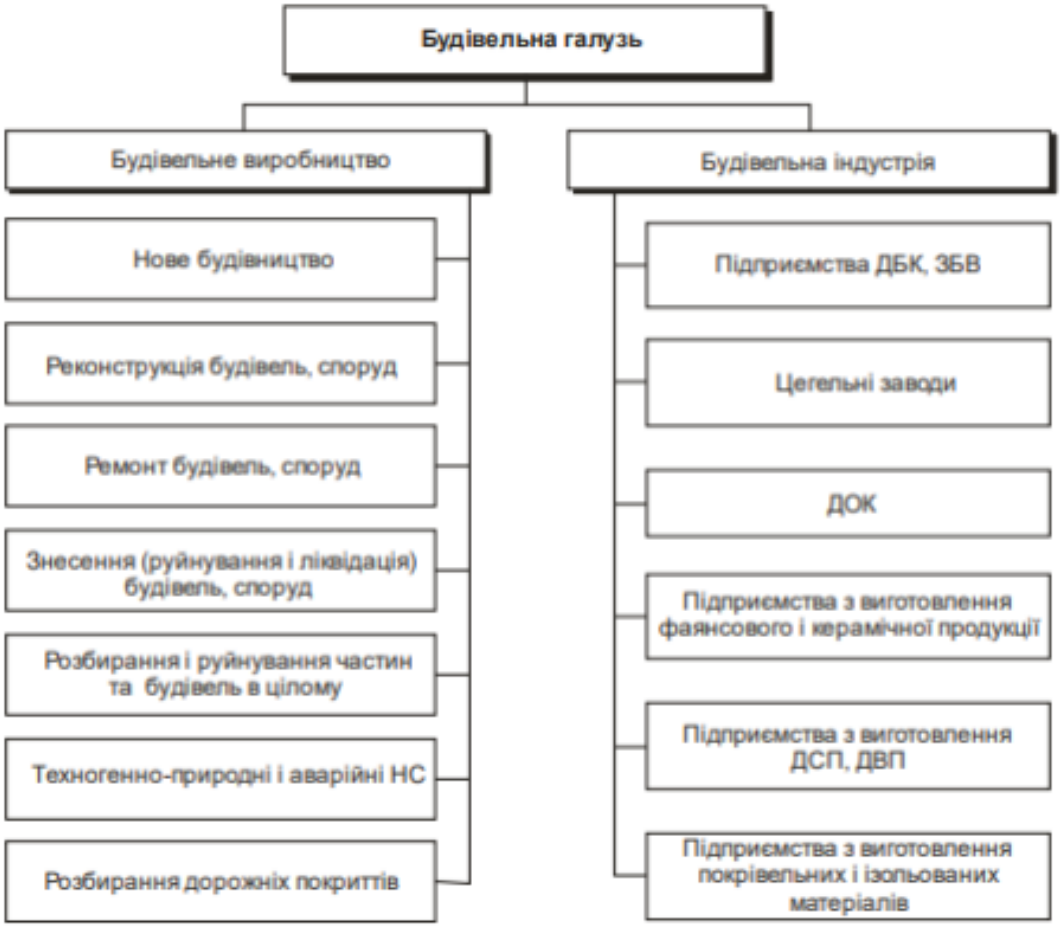


Рисунок. 1.2 – Основні джерела утворення будівельних відходів

До відходів будівельного виробництва належать залишки та уламки будівель, металевих конструкцій, фундаментів, тощо. Такі відходи є побічними продуктами будівництва нових об’єктів, реконструкції та ремонту існуючих споруд, зносу об’єктів, що виведені з експлуатації, або зруйновані в наслідок техногенних чи природних причин. Окрім, загальних характеристик, такі відходи мають і певні особливості, в залежності від природи утворення. Так, при будівництві чи ремонті утворюються наступні відходи, що не будуть характерними для інших сфер будівельної галузі: залишки затверділого бетону та будівельного розчину, залишки лакофарбових матеріалів, зіпсована чи забруднена пластикова та металева тара, бита цегла, мінеральна вата, тощо.

До відходів будівельного виробництва також відносять тверді побічні продукти процесу розбирання дорожніх покриттів. Це дроблений бетон з дорожньо-шляхового покриття, частини асфальтобетонного покриття, які в переважній більшості захороняються на звалищах.

Відходами будівельної індустрії називають відходи промислового виробництва будівельних матеріалів. До цього виду відходів належать до відсіви щебеневих кар'єрів, склобою, цегляний брак, неконвенційні залізобетонні конструкції, відпрацьовані гіпсові форми керамічних заводів тощо.

У складі будівельних відходів можна найчастіше зустрічаються бетон та залізобетон, цегла, метал, ґрунт, пісок, забруднений глиною, сантехнічна кераміка, дерево, скло, гіпсокартон, пластмаса, асфальтобетон. За даними літературних джерел, близько половини будівельних відходів містять у своєму складі бетон та залізобетон, чвертю - кам'яні стінові матеріали (цегла, стінові блоки, піно- та газобетон), іншими, найбільш поширеними складниками відходів є побічні продукти асфальту та будівельних розчинів, дерев'яні та скляні відходи, некондиційні керамічні вироби, гіпсокартон, скло та інші відходи. [2,7-10]

1.2 Класифікація будівельних відходів та законодавство у галузі поводження з будівельними відходами

На об'єктах будівництва, демонтажу чи ремонту можуть утворюватися наступні категорії будівельних відходів:

– великогабаритні відходи (елементи споруд і конструкцій, що утворюються в результаті знесення будівель)

– пакувальне сміття (плівка, папір і інші вироби, в які упаковані будматеріали)

– інше сміття (пил, уламки, крихти, все, що з'являється в результаті обробки)

Існує ще одна класифікація відходів за сировиною:

– металеві вироби;

– бетонні конструкції;

– блоки залізобетонні;

– скло – незбиране, бите;

– деревина;

– елементи комунікацій і т.д.

Усі відносини у сфері поводження з відходами регулюються, в тому числі й будівельними відходами, регулюються Законом України «Про відходи». До складу нормативного документу входять 10 розділів, в яких викладено усі аспекти діяльності щодо зменшення обсягів утворення відходів, їх збиранню, зберіганню, знешкодженню чи утилізації. Закон України регулює не лише відносини, що на території нашої держави, а ті, що є частиною транскордонного перевезень (тобто ввозяться, вивозяться чи перетинають кордон України).

Закон України «Про відходи» має на меті контролювати та сприяти зменшенню негативного впливу на довкілля під час процесу поводження з відходами. Для досягнення поставленої мети , встановлено ряд задач:

– визначення основних принципів та засад державної політики у сфері поводження з відходами;

– врегулювання правових відносин у галузі поводження з відходами;

– встановлення основних норм і вимог стосовно процесів, що пов’язані з поводженням відходів;

– сприяння процесам зменшення обсягів утворення відходів та процес рециклінгу відходів;

Основними напрямками державної політики щодо реалізації вищезазначених задач належать:

– гарантування повного збирання, своєчасного знешкодження чи видалення відходів та дотримання правил і вимого екологічної безпеки від час поводження з ними;

– мінімізація обсягів утворюваних відходів та зменшення їх класу небезпеки;

– створення таких умов, що б сприяли повторному використанню і рециклінгу відходів, що містять у своєму складі цінні ресурси;

– гарантування процесу безпечного видалення відходів, що не підлягають утилізації шляхом створення нових екологічно безпечних технології та шляхів поводження з відходами

– контроль за організацією та підтриманням у відповідному стані місця розміщення відходів з метою зменшення їх негативного впливу на навколишнє середовище

– проведення досліджень з метою визначення нових ресурсоцінних відходів для сприяння їх утилізації та повторного використання

– підтримання створення нових об’єктів поводження з відходами

– гарантування соціальної захищеності працівникам галузі поводження з відходами

– проведення обов’язкового обліку на основі їх класифікації та паспортизації

Основними принципами державної політики у галузі поводження з відходами є пріоритетність та першочерговість захисту навколишнього природного середовища від негативного впливу відходів, гарантування раціонального використання ресурсів, наукове обґрунтування узгодження екологічних, економічних та соціальних інтересів громади.

Закон України «Про відходи» передбачає притягнення до дисциплінарної, адміністративної, цивільної та кримінальної відповідальності за прошення правил та вимог, що викладені у законодавчому акті.

Відносини у сфері поводження з відходами визначені і регламентуються іншими законодавчими документами, а саме: Закон України «Про Основні засади (стратегію) державної екологічної політики України на період до 2030 року», "Про охорону навколишнього природного середовища", "Про забезпечення санітарного та епідемічного благополуччя населення", "Про поводження з радіоактивними відходами", "Про металобрухт", "Про хімічні джерела струму", "Про ветеринарну медицину", "Про вилучення з обігу, переробку, утилізацію, знищення або подальше використання неякісної та небезпечної продукції", Кодексу України про надра та інших нормативно-правових актів.

Національна стратегія управління відходами в Україні до 2030 року базується на принципах зменшення процесів та систем, що направленні на утворення відходів та перехід до економіки замкненого циклу.

В Законі України «Про охорону навколишнього природного середовища» наведені правові, економічні та соціальні основи у сфері організації охорони довкілля.

Закон України «Про забезпечення санітарного та епідеміологічного благополуччя населення» регулює відносини у сфері гарантування санітарно-епідеміологічного благополуччя населення, покладає обов'язки на установи, підприємства та організації по контролю за безпекою використання небезпечних речовин та матеріалів, а також відходів, що є результатом їх діяльності.

Закон України «Про металобрухт» регулює відносини у сфері поводження з брухтом чорних та кольорових металів і спрямований на захист природного середовища.

Постанова Уряду № 1120 "Про затвердження Положення про контроль за транскордонними перевезення небезпечних відходів та їх утилізації / захоронення, а також відходів з Жовтого і Зеленого списку", від 13.07.2000 р., регулює умови ввезення і вивезення відходів в Україні відповідно до Базельської конвенції.

Окрім законодавчих актів, ряд нормативних документів регламентує відносини у сфері поводження з відходами, а саме:

– ДБН В.2.4-2-2005 "Полігони твердих побутових відходів. Основи проектування"

– Державні санітарні правила та норми ДСанПіН 2.2.7. 029-99 «Гігієнічні вимоги щодо поводження з промисловими відходами та визначення їх класу небезпеки для здоров'я населення»

– Постанова Кабінету Міністрів України № 2034 від 01.11.1999 р. «Про затвердження порядку ведення державного обліку та паспортизації відходів»

– Постанова Кабінету Міністрів України № 1360 від 31.08.1998 р. «Про затвердження порядку ведення реєстру об'єктів утворення, оброблення та утилізації відходів»

– Постанова Кабінету Міністрів України № 1216 від 03.08.1998 «Про затвердження порядку ведення реєстру місць видалення відходів»

– Постанова Кабінету Міністрів України № 1120 від 13.07.2000 Про затвердження Положення про контроль за транскордонними перевезеннями небезпечних відходів та їх утилізацією/видалення і Жовтого та Зеленого переліків відходів [1,3].

1.3 Загальні аспекти утилізації будівельних відходів

Існує два напрямки утилізації будівельних відходів:

– повторне використання без переробки. Так, деякі елементи споруд (колони, балки та елементи стін) можуть бути використані в новому будівництві, за умови цілісності та відповідності їх стану, правильно виконаному демонтажу та транспортуванню;

– переробка будівельних відходів (рециклінг). Переробка включає в себе такі етапи: вилучення відходів, їх обробка та використання в якості вторинних сировинних матеріалів. Так, вторинній переробці, найчастіше, піддається залишки залізобетонних виробів, бій цегли, склобій, пластик, деревина.

При демонтажі будівель та споруд за допомогою екскаваторів відбувається поділ великих і габаритних кусків будівельних відходів на менші сегменти. Великі частини залізобетонних конструкцій попередньо розділяються на менші за допомогою екскаватора або розрізаються, використовуючи спеціальне навісне обладнання – гідромолот або гідроножиці. Розмір будівельних відходів впливає на подальшу утилізацію: так, менші за розмірами шматки значно зручніші при транспортуванні та сортуванні. Так, наприклад, поблизу зруйнованих будівель розташовують дробильну установку, за допомогою якої бетон переробляють на щебінь. Дроблення відходів економить час, ресурси і фінансові витрати на процес переробки. [1, 4]

Один з найпоширеніших будівельним відходів, який підлягає утилізації є залізобетон. Відпрацьовані залізобетонні конструкції утворюються в процесі демонтажу будівель та споруд, що й зумовило поширення даного напрямку. Вторинний щебінь різних фракцій, який отримують з бетону демонтованих будівель та споруд, цілком може бути повноцінною заміною щебню. У процесі видобування вихідної сировини та виробництва природного щебню затрати енергії у 8 разів більше, ніж під час подрібнення бетонних відходів

Вторинний щебінь може цілком замінити від 20 до 60% суцільного обсягу гранітного щебню. Даний факт значно зменшує затрати на придбання свіжих будівельних матеріалів (до 40%), оскільки за сучасних методів переробки якість кінцевого продукту (вторинного щебню) не поступається природному. Фінансові затрати на виробництво вторинної сировини у два рази менші у порівнянні з виробництвом природного. Крім того, у процесі приготування бетону з наповнювачем із вторинної сировини, зменшується потреба у в'яжучих речовинах на 25 %.

Процес дроблення та сортування залізобетонних конструкцій представляє сукупність технічних операцій до яких входять:

– прийом будівельних відходів;

– попередня підготовка;

– попереднє сортування, що має на меті відділення дрібної фракції та її вилучення з техпроцесу;

– безпосередньо процес дроблення;

– транспортування на дільницю складування або на подальше просіювання;

– вилучення стальної арматури методом магнітної сепарації.

Стальна арматура підлягає утилізації наступним чином: відбувається повне руйнування конструкції (для цієї задачі використовується спеціальне обладнання), потім іде відділення самої арматури та подрібнення.

Вибір технологічного обладнання для подрібнення залежить від необхідності певної фракційності кінцевого продукту. В залежності від цього обирають кількість, потужність і послідовність установок, проектують технологічну лінію.

Дробильно-сортувальні комплекси, що призначені для переробки будівельних відходів, в залежності, від обсягу відходів, розташування об’єкту демонтажу можуть бути стаціонарними (комплексна технологічна лінія) та мобільними (агрегати на єдиному шасі), що полегшує процес транспортування.

До переваг стаціонарних установок належить високий рівень якості організації технологічного процесу. Стаціонарні майданчики сприяють кращому контролю якості перероблених матеріалів та схожі до дробильно-сортувальних комплексів, що встановлюються на кар’єрах. Це дозволяє мінімізувати негативний вплив процесу переробки на навколишнє природне середовище. Наявність в асортименті різноманітного запасу перероблених матеріалів (подрібнений бетон, плитка, кераміка, асфальт) надає значну перевагу на ринку будівельних матеріалів. Такий постійний майданчик вторинних матеріалів може розглядатися як «місцевий гравійний кар’єр», де відбувається виробництво високоякісних наповнювачів для будівництва доріг та виготовлення бетону. Серед недоліків стаціонарних установок слід виділити потребу у фінансовому забезпечені на етапі будівництва та необхідність значних територій для розташування виробничого майданчика. Стаціонарність технологічного процесу потребує постійних поставок будівельних відходів, з метою забезпечення прибутковість утилізаційної діяльності. Збільшення відстаней між майданчиком демонтажу та виробничим майданчиком збільшує затрати на транспортування [4, 5].

Процес утилізації будівельного сміття не вимагає спеціального обладнання, достатнім буде використання звичайного дробильно-сортувальних установок, що використовуються в гірничо-добувній промисловості (рис. 1.3)



Рисунок 1.3 – Стаціонарний дробильно-сортувальний комплекс для переробки будівельних відходів

Проте, в останнє десятиліття, з ростом потреби у підвищенні ефективність переробки різнорідних матеріалів, які входять до складу будівельного брухту, було створено спеціалізоване обладнання. На світовому ринку існує більше двох десятків компаній, що спеціалізуються на виробництві такого обладнання.

До складу стаціонарної лінії подрібнення будівельних відходів входять:

– агрегат завантаження

– агрегат крупного дроблення з щоковою дробаркою,

– залізовідділювачі

– агрегат сортування з трьохситовим грохотом

– агрегат середнього дроблення з роторною дробаркою,

– блок управління

– конвеєри.

Така технологічна лінія може гарантувати високу якість кінцевого продукту за рахунок двоступеневого подрібнення: перший етап призначений для розділення

крупних кусків будівельних відходів до значно менших; другий етап призначений для доведення таких кусків до необхідного гранулометричного складу, що гарантує їх повторне використання. Щебінь поділяється на фракції 10–20, 20–40, 40–80 мм та застосовується в якості як наповнювача під час виготовлення бетону та залізобетону. Відсів з розмірами частинок менше 5 мм необхідний у процесі виготовлення пористих бетонів та будівельних розчинів.

Мобільні установки здійснюються переробку бетону одразу на місці демонтажу будівель на споруд на єдиному колесному шасі (рис. 1.4).



Рисунок 1.4 – Мобільний дробильно-сортувальний комплекс для переробки будівельних відходів

Окрім подрібненого асфальту та бетону, в якості твердого наповнювача шляхового покриття, застосовують подрібнену покрівельну плитку, биті стінові вироби, черепицю, тощо. Технологія їх подрібнення така ж, як і описано вище, але кінцевий продукт більш подрібнений, тому його застосовують як аналог піску чи гравію. Наприклад, у Німеччині сировиною під час будівництва доріг у 70 % являються продукти переробки відходів будівництва.

Окрім прокладання доріг, вторинні наповнювачі можуть використовуватися в процесі укладання будь-яких покриттів (покриття стадіону, тенісних кортів, тощо). Досить ефективною буде за якою виробництво вторинних наповнювачів буде відбуватися поряд з місцем їх утворення (наприклад, на заводі з виробництва цегли чи черепиці облаштувати установку подрібнення браку чи не кондиції).

2 Розробка математичної моделі визначення системи комплексного управління потоками відходів (СКУПВ) будівельної галузі

2.1 Розробка алгоритму програмного модулю визначення системи комплексного управління потоками відходів (СКУПВ) будівельної галузі

Проблему комплексного використання вторинних будівельних ресурсів слід розглядати в контексті поширення світової практики використання, переробки та залучення у повторний господарський оборот усіх цінних відходів в якості вторинних ресурсів, що обумовлено глибокими змінами у світовій економіці, пов’язаними із обмеженістю природних ресурсів, загрозами екологічній та соціальній безпеці, збільшенням кількості відходів та техногенних звалищ.

Комплексне управління потоками будівельних відходів з використання логістичного підходу, передбачає, що об'єктом управління виступає наскрізний потік оборотних відходів, а відокремленість джерел утворення відходів (першого рівня) і об'єктів, що приймають ці відходи, як вторинну сировину, коригується шляхом організації єдиної системи управління і регулювання потоками відходів. Рух такого потоку по всьому ланцюгу при використанні логістичного методу сприятиме мінімізації витрат на транспортування.

На виході системи, параметри потоків відходів можуть бути визначені, як прогнозовані, контрольовані екологічні, технічні та економічні показники, відображені в єдиній системі баз (системі) комплексного управління відходами (Алексанін А. В., 2014).

Структурно-логічна комплексна модель відображає взаємозв’язок інформаційних модулів, повних функцій управління та очікуваних станів системи (І. Д. Павлов, М. О. Полтавець & Ф. І. Павлов, 2020).

У контексті управління відходами будівельної галузі, необхідно використовувати інструменти, що включають інформаційні (включаючи статистичні та моніторингові), аналітичні та прогностичні засоби.

Управління вторинними ресурсами на рівні окремого будівельного підприємства може мати певний екологічний та економічний вплив, але без комплексного управління на рівні галузі це може бути лише формальним. Таке управління часто базується на суспільній та екологічній відповідальності забудовника. Тому ключем до ефективного управління будівельними відходами є комплексність та системність на рівні всієї будівельної галузі.

Для прийняття рішень та підвищення ефективності загального управління відходами будівельної галузі, необхідно створення єдиної системи комплексного управління потоками вторинних ресурсів на основі логістичного та раціонального підходів. Ця система повинна максимізувати використання вторинних ресурсів у будівельних процесах з урахуванням економічної доцільності та відповідно до нормативних, технічних, екологічних та санітарних вимог.

Ключовим завданням такої системи комплексного управління відходами будівельної галузі є розв'язання проблеми техногенного навантаження на екосистему міст, де активно ведеться будівельна діяльність. Крім того, ця система допоможе вирішити ряд соціально-економічних проблем і підвищити ефективність будівельної галузі, знизивши витрати на будівельні матеріали та утилізацію відходів будівництва. Державна підтримка може забезпечити певні пільги та преференції для мотивації будівельних та переробних підприємств.

Система комплексного управління потоками відходів будівельної галузі має відповідні підсистеми відповідно до організаційної моделі управління та структури інформаційних потоків в системі:

Вхідні потоки інформації складаються з бази даних про підприємства, їх типи та обсяги будівельних відходів. Ця інформація охоплює можливі способи використання будівельних відходів як вторинних ресурсів, такі як технології, інновації, нормативи, інструкції, регуляторні акти, правові обмеження та стимули, а також оцінку потенціалу вторинних ресурсів.

Внутрішня інформація включає дані про обсяги будівельних відходів, які використовуються як вторинна сировина, обсяги готової продукції з використанням вторинної сировини, кон'юнктуру ринку будівельних матеріалів та попит на матеріали з вторинної сировини. Також проводиться аналіз собівартості таких матеріалів, оцінка доцільності та вартості перероблення відходів і оптимізація логістичних витрат системи.

Вихідні потоки інформації включають оцінку екологічного та соціально-економічного ефекту системи комплексного управління потоками відходів будівельної галузі, формування переробної галузі та реалізацію бізнес-проектів в галузі управління відходами будівництва.

Це свідчить про те, що ефективне управління потоками будівельних відходів передбачає наявність всеосяжної інформаційної бази даних, яка б збирала та систематизувала інформацію про будівельну галузь, включаючи результати аудиту споруд, дані про обсяги та типи відходів на об'єктах, моніторинг цін та попиту на вторинну сировину та готові продукти з неї.

Отже, інформація щодо аудиту та аналізу окремих об'єктів має бути централізованою в єдиній інформаційній системі, яка відповідає єдинообразним вимогам і стандартам. Це можливо лише завдяки комплексній системі управління потоками відходів будівельної галузі. Наразі результати аудиту та аналізу потенціалу будівельних відходів як вторинної сировини використовуються ізольовано. Це означає, що рішення щодо управління відходами будівництва приймаються без належної інформації про можливий попит на вторинний ресурс .

Поточний підрядник не має достатньої інформації про потреби ринку у вторинних ресурсах, які можуть виникнути поза межами його проекту. Крім того, відсутність мотивації та технічних можливостей для здійснення повного аналізу потенціалу використання відходів ускладнює розробку рішень. Виникають організаційні труднощі у пошуку потенційних споживачів вторинних ресурсів, а також у встановленні зв'язків з переробниками відходів будівництва через недостатньо розвинену інфраструктуру.

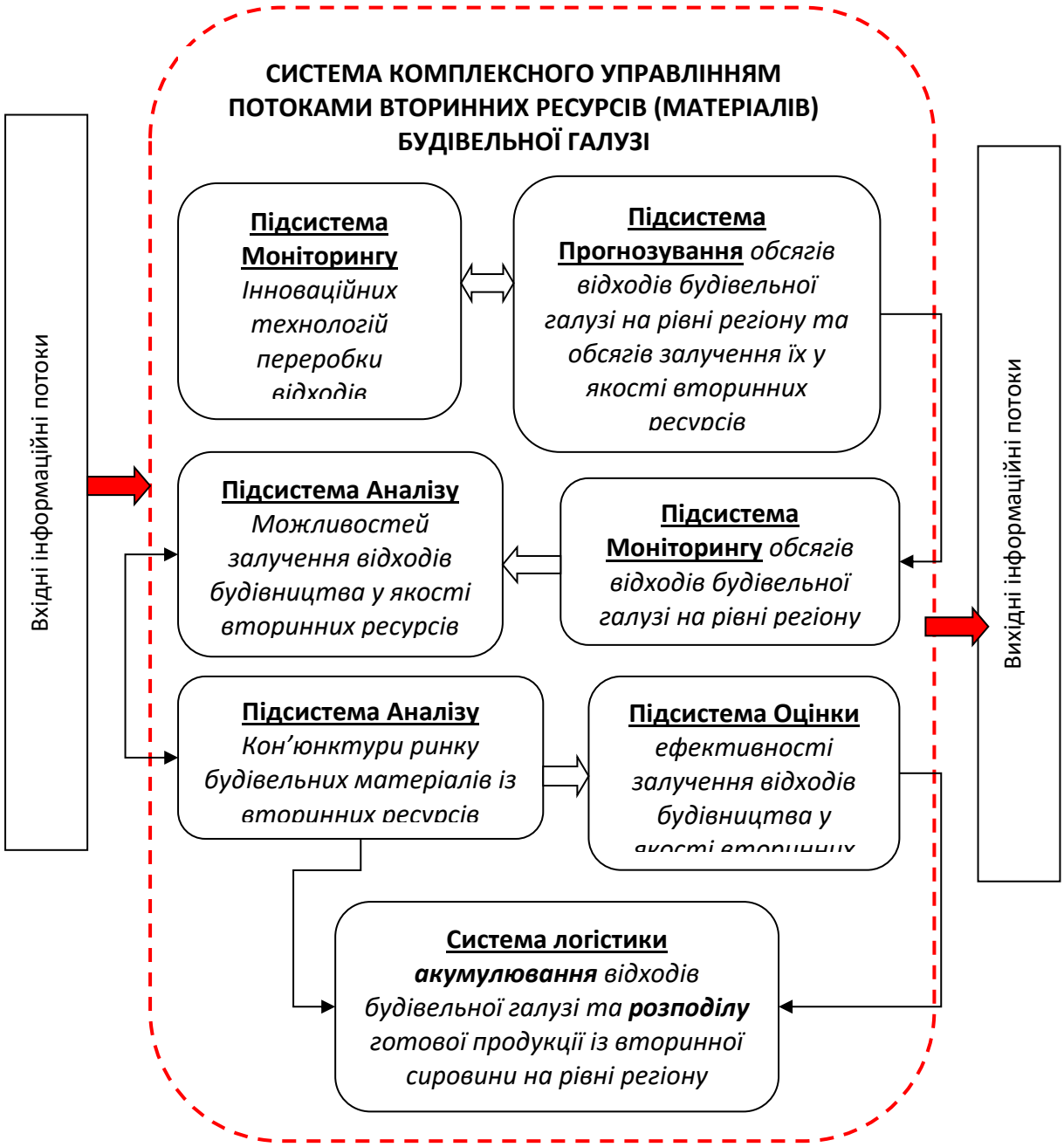


Рисунок 2.1 – Схема теоретичного складу системи комплексного управління потоками відходів (СКУПВ) у будівництві

Головною метою функціонування СКУПВ є максимальне використання потоків відходів будівельної галузі як вторинних ресурсів для виробництва будівельних матеріалів, а також інших матеріалів та методів їх використання у циклічному обігу. Критерієм ефективності СКУПВ на рівні регіону буде мінімізація кількості відходів будівельної галузі, що потребують захоронення на сміттєзвалищах. На рівні окремого будівельного підприємства критерієм

ефективності буде максимальний загальний виграш від залучення відходів до будівельних процесів.

Окремо необхідно визначити мету та критерій ефективності логістичної системи, що входить до СКУПВ. Це передбачає досягнення ефективності системи як на регіональному рівні, так і на рівні окремого будівельного підприємства, з мінімальними логістичними витратами.

Ключовою умовою успішного функціонування СКУПВ є розробка науково-методичного, нормативно-технічного забезпечення, яке включає в себе:

- регламентацію процесів у системі, стандарти та вимоги до якості як будівельних відходів, так і готової продукції з перероблених відходів;
- функціонально-організаційну структуру системи;
- екологічні норми та вимоги;
- систему законодавчого захисту та мотивації учасників системи, відповідно до стратегічних завдань щодо управління відходами, як на регіональному, так і на державному рівні.

Така база системи повинна передбачати технічну та організаційну взаємодію кожної окремої підсистеми, що входить до складу СКУПВ.

Ключовим кроком у створенні оптимальної моделі управління потоками будівельних відходів та їх використання як вторинних ресурсів є обґрунтування та застосування оптимізаційного планування. Під час оптимізаційного планування необхідно враховувати технологічні можливості та методи переробки будівельних відходів. Важливо відзначити, що оптимальність у цьому контексті є змінною і динамічною, оскільки вона визначається впливом підсистеми Моніторингу інноваційних технологій переробки відходів будівельної галузі. Моніторинг інноваційних технологій сприяє виникненню та впровадженню нових способів переробки, матеріалів та застосування вторинних ресурсів, які є ефективними та екологічно безпечними. Однак це також передбачає постійне вдосконалення системи та внесення змін до самої моделі управління потоками відходів [43-46, 88-94].

У контексті технологічних методів підприємств-виробників будівельних матеріалів можна виділити три способи виробництва готової продукції: традиційний (з використанням первинних ресурсів), часткова заміна первинної сировини на вторинну та випуск продукції виключно із вторинної сировини.

Слід також відзначити, що на рівні підприємства можна виявити лише окремі закономірності управління потоками відходів, з метою максимізації сукупного ефекту від їх залучення у будівельні процеси. Потрібно окремо розглядати підприємства-виробники будівельної продукції та підприємства-забудовники, які є постачальниками та споживачами вторинних ресурсів. Взаємозв'язки між цими типами підприємств формують систему логістики управління потоками відходів.

Для формалізації задачі оптимального управління потоками будівельних відходів на рівні окремих підприємств у регіоні, як економіко-математичної моделі, необхідно визначити основні параметри:

n – номер ресурсу, що використовується при виробництві будівельних матеріалів;

i – номер готової будівельної продукції;

l – номер підприємства – виробника будівельних матеріалів;

t – номер технологічного способу виробництва будівельних матеріалів;

N_1 – множина первісних ресурсів (природна сировина та матеріали);

N_2 – множина вторинних ресурсів (відходи будівництва), їх збільшення може бути пов’язане із розширенням можливостей та технологій переробки відходів;

N_3 – множина лімітованих локальних ресурсів підприємств (кількість персоналу, виробничі площі, фонд часу технологічного обладнання, енерговитрати та інше);

L – підприємства (виробники будівельних матеріалів) галузі, на території регіону $l \in L$;

I – множина будівельних матеріалів, що виробляються на території регіону;

T_l – множина технологічних способів функціонування l – го підприємства (переробника будівельних відходів),

$$T_l = T_l^1 \cup T_l^2 \cup T_l^3, \qquad (2.1)$$

де T_l^1 – випуск продукції на основі первинних ресурсів;

T_l^2– випуск продукції із частковою заміною первинної сировини на вторинну;

T_l^3– випуск продукції виключно із вторинної сировини, тобто повна заміна первинної сировини на відходи будівельної галузі;

c_{il}^t – витрати n – го ресурсу на одиницю продукції на l – ом підприємстві за умови t – ого способу виробництва будівельних матеріалів;

v_{il}^t – випуск і - го продукту на l- ом підприємстві за умови t – ого способу виробництва будівельних матеріалів.

Q_l^t – показник ефективності t – ого способу виробництва будівельних матеріалів на l- ом підприємстві;

P_n – ринкова пропозиція первинних та вторинних n – их ресурсів;

$$n \in N_1 \cup N_2 \qquad (2.2)$$

P_{nl} – загальний обсяг лімітованого ресурсу n – го виду, що є в наявності на l- ом підприємстві, $n \in N_3$;

M_i – ринковий попит на будівельну продукцію і - го виду;

G_l^t – інтенсивність t-го способу функціонування l-го підприємства (тобто частка кожного з трьох t способів в обсязі виробництва),

$$0 \le G_l^t \le 1, \qquad \sum_{t \in Tl} G_l^t = 1 \qquad (2.3)$$

В умовах прийнятих параметрів, необхідно знайти таке значення інтенсивності способу функціонування конкретного підприємства ($G_l^{t,}$), при якому величина цільової функції буде максимальною, при заданих для СКУПВ, обсягів первинних, вторинних та лімітованих ресурсів (N_1, N_2, N3), заданому попиті на готову продукцію системи (M_i), ($i \in I$); витратам ресурсів системи (c_{il}^t), та загальному обсягу (v_{il}^t) виробленої продукції за способами функціонування підприємств P_n ($n \in N_1 \cup N_2 \cup N_3$) і відповідних їм, показниками ефективності (Q_t^l). Відповідно функція такої умови має вигляд:

$$F(x) = \sum_{l \in L} \sum_{t \in T} Q_l^t \; G_l^t \; \rightarrow \max \qquad (2.4)$$

Крім того, повинні дотримуватись обмеження:

1) потреба в первинній та вторинній сировині усіх підприємств – виробників будівельних матеріалів, обмежена розміром їх ринкової пропозиції:

$$\sum_{l\in L}\sum_{t\in T} c_{il}^{t}\, G_l^t \;\le\; P_n \;,\; n \in\; N_1 \cup N_2 \cup N_3 \qquad (2.5)$$

2) кожен виробник будівельних матеріалів може використовувати локальні лімітовані ресурси у межах їх наявних обсягів:

$$\sum_{l\in L}\sum_{t\in T} c_{il}^{t}\, G_l^t \;\le\; P_{nl} \;,\; n \in\; N_3,\; l \in L \qquad (2.6)$$

3) усі виробники будівельних матеріалів повинні виробити продукції в обсязі не меншим за попит на неї:

$$\sum_{l\in L}\sum_{t\in T} v_{il}^{t}\, G_l^t \;\ge\; M_i \;,\; i \in\; I \qquad (2.7)$$

4) повинна зберігатися умова позитивності усіх змінних. Тобто інтенсивність способу функціонування змінних завжди є більшою за нуль, або дорівнює йому, якщо певний спосіб виробництва не використовується, якщо наприклад розділити окремо підприємства виробники будівельних матеріалів, які не займаються переробкою відходів, та окремо підприємства – переробники, що виготовляють продукцію із вторинної сировини (повністю, або частково):

$$G_l^t \ge 0 \,,\; l \in L,\; t \in T \qquad (2.8)$$

У межах системи управління потоками будівельних відходів (СУПБВ) розглядається різноманітність можливих планів рециклінгу відходів будівництва (позначених як G_l^t), які відповідають умовам обмежень. З цих варіантів обирається той, який має максимальну інтенсивність і відповідає вимогам СУПБВ щодо максимального використання відходів як вторинної сировини для виробництва будівельних (і можливо інших) матеріалів.

Доцільним вважається додати до умов обмежень цільової функції обмеження щодо обсягів включення відходів до повторного використання (позначенням N_2). Мета системи полягає у максимізації об'єднаного ефекту включення будівельних відходів у повторний виробничий цикл (позначеного як $T_l^2 \cup T_l^3$, що можливо досягти шляхом встановлення стандартів, технологій та законодавчих регуляторних нормативів. Наприклад, у більшості країн світу не більше 20% відходів не використовуються повторно, що означає, що 80% відходів мають бути включені до

повторного виробничого циклу. На жаль, в Україні таких нормативів поки що немає, тому обсяг відходів, що включаються у повторний цикл, може визначатися лише з точки зору економічної доцільності та доступності технологій переробки відходів.

Кінцевою метою СУПБВ є досягнення загального економічного ефекту від використання будівельних відходів у повторному виробничому циклі. Цей ефект включає не лише економічний аспект, а й соціально-екологічний, і визначається різними потенційними можливостями та перевагами в еколого-економічній сфері.

Загалом, економічна ефективність управління потоками будівельних відходів може бути визначена як сума уникнутих збитків для екосистеми (регіону), що виникають внаслідок повного захоронення відходів будівництва, та ефекту від включення відходів у повторний виробничий цикл.

Проте варто зауважити, що на рівні запропонованої системи СУПБВ, важливо розглядати сумарний ефект, який включає як ефект від уникнутих збитків, так і ефект від використання вторинних ресурсів у виробничому циклі.

Отже, ефект підприємств, які переробляють будівельні відходи, і підприємств, що використовують їх у повторному виробничому циклі для виробництва будівельних матеріалів (позначений як E_{proc}), може бути визначений так:

$$E_{proc} = \left(P_{pr} - C_{sec} * k_{ef}\right)N_y \quad , \tag{2.9}$$

P_{pr} – середньорічна ринкова вартість первинної сировини;

C_{sec} – собівартість отримання одиниці вторинної сировини (сума закупівельної вартості (P_{fs}) та витрат на організацію процесів переробки, транспортування будівельних відходів (логістичні витрати), витрат на локальні лімітовані ресурси підприємства – переробника.

k_{ef} – коефіцієнт ефективності залучення вторинної сировини у порівнянні із первинною (враховує якість параметрів сировини та її витрати на виготовлення готової продукції, або відношення собівартості продукції з первинної до собівартості з вторинної сировини)

N_y – річна потреба в сировині.

Ефективне управління потоками будівельних відходів виробників (забудовників) включає різноманітні аспекти, що залежать від різних факторів на

рівні держави та регіону. Передбачення результатів від такого управління відповідає прийнятим на рівні держави та регіону правилам і стандартам, а також технологічним та законодавчим нормативам, що стосуються утилізації та переробки відходів.

По-перше, ефект від управління відходами безпосередньо залежить від вартості їх захоронення на полігоні, транспортування та інших витрат. Також він пов'язаний з умовами співпраці з підприємствами переробниками (виробниками будівельних матеріалів) з вторинної сировини, включаючи закупівельну вартість та ринкові ціни на первинні матеріали, що можуть бути альтернативою деяким видам відходів.

Крім того, підвищення ефективності для виробників відходів нерозривно пов'язане з удосконаленням системи управління будівельними відходами на рівні регіону та держави.

Очевидно, що відсутність економічно обґрунтованої мотивації може ускладнити забезпечення ефективності системи СКУПВ. Якщо виробники відходів не мають достатньої мотивації, такої як загроза штрафів або виправданість витрат на переробку та утилізацію, це може ускладнити їх включення до повторного виробничого циклу. Само по собі свідоме екологічне ставлення виробників відходів, хоча і важливе, може бути недостатнім для забезпечення умов максимального використання будівельних відходів у виробництві. Відповідно розрахунок ефекту для продуцента будівельних відходів (E_{man}), буде мати вигляд:

$$E_{man} = F_{pen} + (P_{fs} - L_c - C_d) \quad (2.10)$$

F_{pen} – потенційні прямі платежі та штрафи за забруднення оточуючого середовища, за порушення законодавчих вимог щодо поводження з відходами (у разі якщо продуцент порушить ці вимоги);

P_{fs} – вартість реалізації відходів за ринковими цінами;

L_c – логістичні витрати, пов'язані із управлінням потоками відходів;

C_d – вартість захоронення відходів на полігонах, відвалах.

У рамках системи СКУПВ ми окремо розглядатимемо вплив управління потоками відходів будівельної галузі на рівні регіону. З одного боку, цей вплив має

економічний аспект, який включає в себе зменшення витрат на утримання полігонів та звалищ, створення нових робочих місць, а отже, збільшення податкових надходжень і додаткові інвестиції. Проте пріоритетним є екологічний ефект, який не виключає економічну привабливість СКУПВ, але спрямований на досягнення екологічно-соціальних довгострокових цілей, таких як збереження природного капіталу та зменшення негативного впливу на земельні, лісові, водні та інші природні ресурси. Відповідно ефект від управління потоками будівельних відходів на рівні регіону (E_{rig}), може бути виражений:

$$E_{rig} = \Delta V_{nc} + \Delta M_p + \Delta R_{lr} + \Delta T_r + \Delta D_l + \Delta D_f + \Delta D_w \quad , \quad (2.11)$$

ΔV_{nc} – зміна вартості збереженого природного капіталу в часі, тобто можливість отримати пряму (або непряму) вигоду від використання екологічних ресурсів у майбутньому;

ΔM_p – скорочення витрат, пов'язаних із захворюваністю населення від екологічних проблем;

ΔR_{lr} – ефект відтворення трудових ресурсів (від створення нових робочих місць, та відповідно збільшення податкових надходжень);

ΔT_r – ефект збільшення податкових надходжень (поява нових підприємств – переробників за рахунок інвестиційних надходжень до регіону);

ΔD_l – зменшення шкоди земельним ресурсам;

ΔD_f – зменшення шкоди лісним ресурсам;

ΔD_w – зменшення шкоди водним ресурсам.

Відповідно показник ΔV_{nc}, може бути визначений за формулою:

$$\Delta V_{nc} = \left(P_{nc} * I_{rp} - P_{pr}\right) N_r \quad , \quad (2.12)$$

P_{nc} – ціна одиниці капіталу в момент часу (у майбутньому);

I_{rp} – індекс зростання ціни природного капіталу в часі;

P_{pr} – ціна одиниці капіталу фактична, на розрахунковий час;

N_r – обсяг збереження первинних матеріалів, за рахунок заміни їх вторинними.

У рамках системи СКУПВ ми будемо аналізувати загальний вплив, який охоплює ефекти на рівні виробництва будівельних відходів, їх переробки та використання у виробництві будівельних матеріалів і на рівні регіону (галузевого

об'єднання в регіоні), де знаходяться ці підприємства. Варто також зазначити, що загальнодержавний вплив буде розраховуватися аналогічно, як сумарний ефект усіх регіонів. Варто відзначити, що ця модель є дещо спрощеною, оскільки деякі ефекти можуть бути взаємозалежними між регіонами. Наприклад, якщо в одному регіоні відсутні підприємства, що займаються переробкою, і логістичні зв'язки процесу управління будівельними відходами можуть охоплювати декілька регіонів. Проте принцип оцінки ефективності процесу залишається незмінним з деякими уточненнями щодо розподілу певних складових впливу. Таким чином сукупний ефект від залучення вторинних ресурсів будівельної галузі в наступний виробничий цикл (E_{tot}), має вигляд:

$$E_{tot} = E_{proc} + E_{man} + E_{rig} \quad , \qquad (2.13)$$

Важливо відзначити, що ефекти управління потоками відходів мають ієрархічний принцип та умовності їх настання. Наприклад, якщо будівельне підприємство вважає, що управління відходами є менш ефективним, ніж традиційний метод (захоронення відходів), і вирішує не направляти їх до підприємств-переробників (з економічних міркувань), це також впливає на результати процесу у підприємстві-переробнику, що в свою чергу зменшує або анулює ефект на рівні регіону. Тому ключовим фактором є формування мотиваційної складової на рівні галузі та державна підтримка та стимулювання процесу управління потоками відходів.

Основою порівняльного аналізу використання будівельних відходів та прийняття рішень щодо їх управління на всіх рівнях системи має бути розрахунок сукупного ефекту від раціонального використання та залучення відходів у повторний виробничий цикл. Цей розрахунок повинен включати оцінку всіх альтернативних варіантів управління відходами будівельної галузі. Вибір найефективнішого варіанту, як на рівні підприємств-виробників, підприємств-переробників, так і на рівні регіону, може бути здійснений за допомогою оптимізаційної матриці, наприклад, за критерієм Вальда.

2.2 Визначення структури функціональних можливостей інформаційно-аналітичної системи управління відходами будівництва

Активний розвиток концепції інтегрованої (комплексної) системи управління відходами будівництва, пов’язаний із технологічно обґрунтованим зростанням потенціалу використання вторинних ресурсів (відходів будівництва та зносу). Згідно цієї концепції, в першу чергу, необхідним є скорочення кількості відходів (джерел відходів), тобто зменшити потенційно небезпечні відходи до того, як вони стануть потоками відходів, а потім вже здійснити доцільну та раціональну переробку відходів (тобто повернути відходи до виробничого ланцюга). В більшості західних країнах, застосовується ця концепція, як 3R концепція (reduce, reuse, recycle), застосування якої безпосередньо пов’язано із реалізацією задач підвищення ефективності інвестиційних проектів в сфері будівництва. Ефективність реалізації 3R концепції в сфері управління потоками відходів будівництва та зносу, може бути значно підвищено за рахунок застосування логістичних методів управління.

Інтеграція інфраструктур з управління потоками відходів будівництва та зносу в регіональні (міжрегіональні) логістичні центри, здатна забезпечити наступні переваги:

- забезпечить максимальне залучення обсягів відходів будівництва, як потенційної вторинної сировини до централізованого управління;
- полегшить процес контролю за екологічними нормами переробки та утилізації відходів будівництва та зносу;
- підвищить ефективність переробки відходів та їх залучення у повторний господарський обіг (за рахунок оптимізації логістичних витрат, зниження собівартості переробки);
- дозволить оптимізувати транспортні потоки перевезення. В тому рахунку крупно габаритних відходів;

− забезпечить активізацію розвитку переробної галузі, створення додаткової вартості, створення робочих місць та збільшення податкових надходжень;

− знизить навантаження на екосистему, шляхом вибору найбільш екологічних організаційно - технологічних рішень.

Основними завданнями розроблення інформаційної підтримки створення логістичної системи управління потоками відходів будівництва є:

1) інформаційний супровід процесів збору та транспортування відходів будівництва та зносу (на підставі акумулювання статистичних даних щодо обсягів утворення відходів за видами від продуцентів відходів; даних щодо виробничих потужностей та технологічних можливостей підприємств – переробників відходів будівництва; даних, щодо можливостей транспортування – транспортних компаній; даних, щодо існуючих обмежень на утилізацію, захоронення та переробку відходів будівництва за класами небезпеки – регулюючі органи влади);

2) диспетчеризація управління процесом транспортування (контроль та моніторинг);

3) автоматизація формування маршрутів транспортування (геоінформаційні системи) та планування графіків та розкладів транспортування;

4) розрахунок фінансових витрат з урахуванням забезпечення принципів ефективності управління потоками відходів для кожного окремого стейхолдера системи та системи в цілому (на підставі обмежень, критеріїв прийняття рішень);

5) забезпечення динамічного розвитку системи у випадку настання ситуації невизначеності (інформаційних ризиків), що передбачає коригування управлінських рішень, з метою забезпечення цільових показників ефективності;

6) оцінка екологічного збитку, в тому числі розміру екологічного збитку, що можна запобігти за умови оптимізації та ефективного управління потоками відходів будівництва та зносу (з метою його врахування, як складової оцінки ефективності СКУПВ).

Реалізація визначених завдань можлива за умови використання автоматизованої інформаційної системи управління логістикою потоків відходів

будівництва та зносу і відповідно, основною метою інформаційної системи повинно стати забезпечення підвищення ефективності інформаційного забезпечення управління в межах СКУПВ, з урахуванням обмежень системи, норм та стандартів управління відходами будівництва та зносу, пріоритетності екологічних параметрів та показників ефективності. Виходячи з цього, функціональними можливостями, які повинна забезпечувати інформаційна система логістичного управління потоками відходів будівництва та зносу, є: планування ресурсів для реалізації логістичного підходу; розрахунок економічних витрат (вартість збору та транспортування); коригування планів на підставі оцінки інформаційних ризиків; формування статистики даних; оцінка екологічних збитків (в тому числі відвернених екологічних збитків у разі оптимального логістичного рішення); формування звітності; планування оптимальних маршрутів; врахування дорожньої обстановки; моніторинг руху автотранспорту в реальному часі .

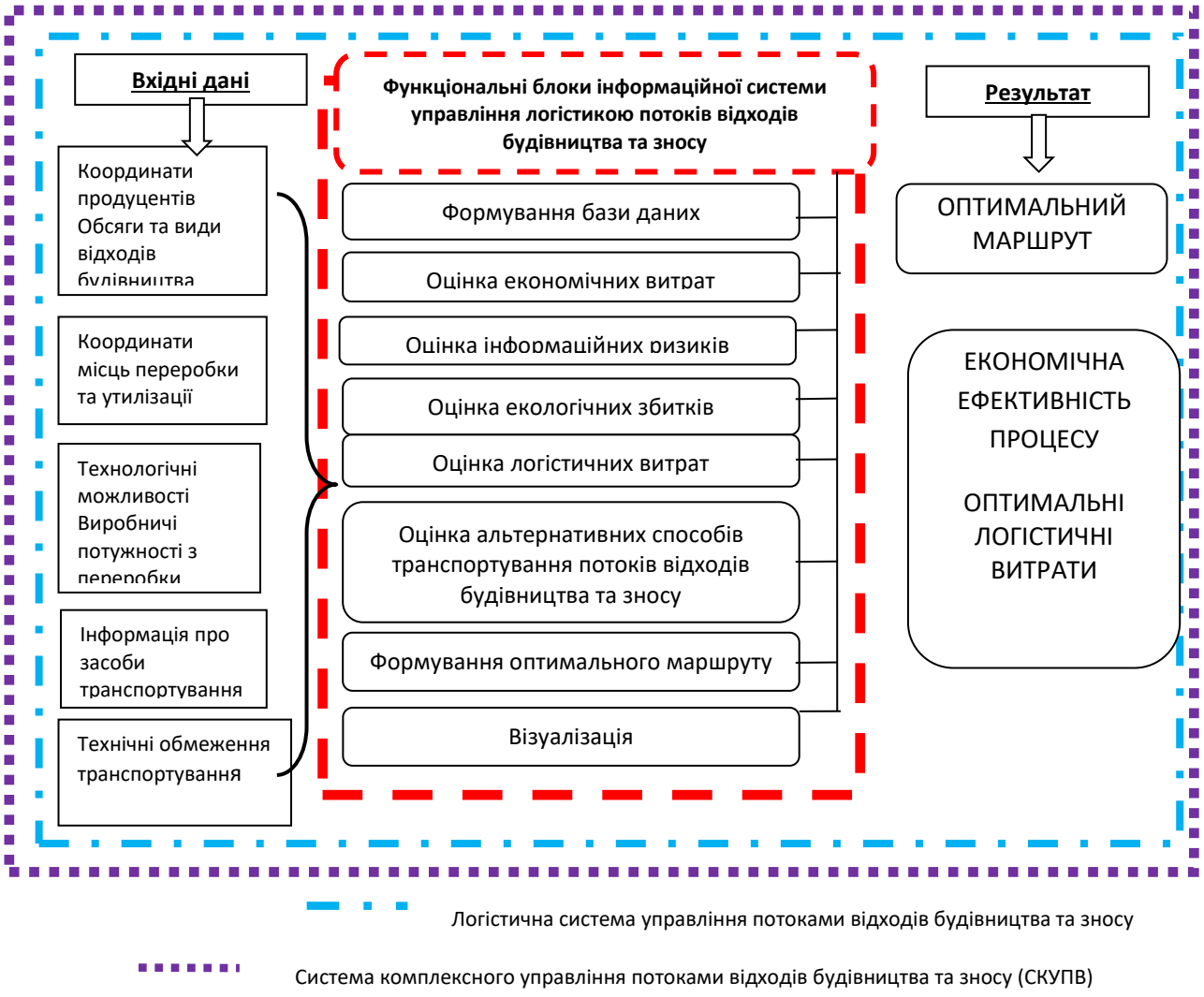


Рисунок 2.2 – Оптимальна модель управління потоками відходів

Серед можливих для застосування інформаційних систем, які б задовольняли поставленим завданням перед логістичною системою управління потоками відходів, слід виділити: ANTOR Logistics Master – програмний комплекс для транспортної логістики; Top Logistic – програмна система планування та управління перевезенням вантажів; Magenta Systems – мультиагентні системи для моделювання і планування логістики, забезпечуючих бізнес – процесів; системи підтримки прийнятих рішень (СППР) для управління транспортною системою міста та система контролю мобільних об’єктів (СКМО).

Таблиця 2.1 – Порівняльні характеристики управління потоками відходів

Функціональні можливості	Програмні рішення				
	ANTOR Logistics Master	Top Logistic	Magenta Systems	СППР	СКМО
Планування ресурсів для реалізації логістичного підходу	так	так	так	так	ні
Розрахунок економічних витрат (вартість збору та транспортування)	ні	так	так	так	ні
Формування статистики даних	так	ні	так	так	так
Оцінка екологічних збитків	ні	ні	ні	ні	ні
Формування звітності	так	так	так	так	так
Планування оптимальних маршрутів	так	так	так	так	так
Врахування дорожньої обстановки	так	так	ні	так	так
Моніторинг руху автотранспорту в реальному часі	так	так	так	ні	так

Відповідно ANTOR Logistics Master, Top Logistic та Magenta Systems, мають функціональні можливості, що здебільшого задовольняють вимогам логістичної системи управління потоками відходів будівництва та зносу, крім того вони успішно застосовуються в управлінні побутовими відходами в межах міст. Але жодна з інформаційних систем не забезпечена функцією оцінки екологічних збитків (відвернених екологічних збитків). Важливість цієї функціональної можливості, пояснюється включенням розміру екологічних збитків (за різними альтернативами спрямування потоків будівництва та зносу) до сукупного показника ефективності СКУПВ, що дає можливість обирати варіант спрямування потоків відходів будівництва з найбільшим екологічним та економічним ефектом.

Обґрунтування принципів, функціональних вимог та завдань реалізації інформаційно–аналітичної підтримки управління потоками вторинних ресурсів відходів будівництва передбачає процедуру формалізації процесів управління потоками відходів будівництва, створення логічних та функціональних моделей досліджуваної системи, що в свою чергу вимагає комбінації певних спеціальних методик в межах системного підходу і відповідної оптимальної послідовності їх застосування.

Системний підхід в розробці інформаційно–аналітичних систем управління, передбачає вирішення наступних задач: розробка функціональної моделі системи управління потоками відходів будівництва та зносу; побудову матриць взаємодії автоматизованих процесів та процесів маршрутизації даних; моделювання логічної архітектури сховища даних; розробку комплексу програмних та технічних засобів. Відповідно, узагальнюючи системні результати вимог та можливостей деяких проаналізованих за функціональністю інформаційно-аналітичних систем, та вимог, які б задовольняли забезпеченню ефективності управління потоками відходів будівництва в межах СКУПВ, пропонуємо наступну організаційно-функціональну структуру системи інформаційно-аналітичного управління потоками відходів будівництва (рис.2.3).

Слід зауважити, що в запропонованій організаційно-функціональній структурі інформаційно-аналітичної системи управління потоками відходів будівництва, геоінформаційні технології виступають не лише, як інструмент візуалізації, але і як комплексне інформаційно–аналітичне забезпечення процесів управління потоками відходів, бо забезпечують ефективні засоби для вирішення задач зберігання, обробки та використання просторової інформації. Також є інструментами для створення цифрових моделей карт, розробки Гіс - додатків, для забезпечення управління інформаційними ресурсами та організації доступу до геоданих.



Рисунок 2.3 – Склад організаційно-інформаційної моделі управління відходами у будівництви

Критерії прийняття рішень виконують функцію підвищення ефективності функцій управління, шляхом пошуку оптимального рішення в експертній базі даних. База даних системи складається з правил аналізу інформації, яка міститься в інформаційно–аналітичній системі управління відходами будівництва; крім того передбачається, що система повинна аналізувати ситуацію (в залежності від спрямованості і задач управління потоками відходів будівництва в певних умовах) і в автоматичному режимі із дотриманням встановлених критеріїв визначає рекомендації з прийняття рішення.

Запропоновані підходи, принципи, вимоги до розробки інформаційно–аналітичної системи управління потоками відходів будівництва, дозволять покращити ключові характеристики системи такого управління, а саме підвищать оперативність та інформативність прийняття управлінських рішень, щодо потоків відходів будівництва, як потенційно вторинних ресурсів. Особливістю запропонованої організаційно-функціональної структури системи інформаційно-аналітичного управління потоками відходів будівництва, яка має стати основою створення інформаційної платформи, є включення в структуру функціональних блоків та обґрунтування необхідності здійснення оцінки екологічних збитків (як складової оцінки ефективності управління потоками відходів будівництва) та оцінки інформаційних ризиків (як інструменту логістичного підходу).

2.3 Математична моделі визначення системи комплексного управління потоками відходів (СКУПВ) будівельної галузі

В сучасних умовах, будівельна галузь вимушена ставати більш орієнтованою на застосування інноваційних методів скорочення відходів в будівельних процесах, що обумовлено: впровадженням державних механізмів управління відходами в межах централізованих систем; орієнтацією галузі на енергозберігаючі та

екологічно безпечні технології процесів будівництва та зносу; збільшенням вартості будівельних матеріалів та підвищенням ресурсозалежності галузі; успішним досвідом впровадження інноваційних методів управління потоками відходів будівництва та зносу (C&DW) в багатьох країнах [1]. Більшість європейських країн забезпечує економічну доцільність переробки 80 – 90% від загального обсягу утворення C&DW [2,3].

Ефективне управління, спрямоване на мінімізацію та повторне використання відходів будівництва та зносу стає важливим аспектом в будівельних процесах. Основною тенденцією вирішення проблеми управління C&DW в світовій практиці, є їх залучення в промислову переробку на підставі застосування інтенсивних ресурсозберігаючих – маловідходних (в перспективі – безвідходних) технологій, що забезпечують одночасне знешкодження, утилізацію та ліквідацію; організація управління потоками C&DW з найменшими витратами та максимальною ефективністю за умови мінімізації негативного впливу на довкілля [4]. Вирішення цих задач можливо шляхом застосування комплексного підходу, який передбачає забезпечення ефективності управління потоками C&DW лише в межах об’єднаних територіальних систем, які охоплюють різні рівні такого управління, та відповідно різні механізми та інструменти [5].

Механізм координації руху потоків відходів будівництва та зносу може бути реалізований в межах єдиного логістичного центру (Єдиної інформаційної платформи), яка має стати складовою системи комплексного управління потоками відходів будівництва та зносу (СКУПВ) і центром акумулювання інформаційних потоків, які забезпечать прийняття оптимальних за відповідними критеріями, в тому числі рішень, щодо оптимізації логістичних витрат [6].

Реалізація логістичного підходу в процесі управління відходами будівництва, здійснюється шляхом визначення об’єктом управління – логістичні інформаційні потоки, що дозволяють забезпечити чітку координацію діяльності окремих об’єктів системи (стейхолдерів), на кожній стадії руху потоку відходів. Своєчасне постачання відходів будівництва на переробку, забезпечення ефективності переробки, є одними з ключових задач логістики, в межах удосконалення системи

управління потоками вторинних ресурсів (відходів будівництва та зносу) і пов'язані з використанням в просторі та часі.

В логістичному управлінні вторинні матеріальні ресурси розглядаються як зворотні (реверсивні) потоки, тобто в нашому випадку, потоки відходів будівництва та зносу, тому вважаємо доцільним розглядати усі організаційні аспекти складових СКУПВ, на основі принципів, концепцій і методів логістики. Відповідно, з точки зору логістики, вторинні ресурси створюють вторинні, або зворотні (реверсивні) матеріальні потоки, які повинні бути залучені у повторний господарський обіг, відповідно максимізація використання відходів будівництва визначає інтенсифікацію цих потоків, що досягається шляхом максимально можливого кругообігу матеріальних ресурсів.

Розвиток комунікаційних засобів та серверних систем надає можливість здійснення регулярного обміну інформаційними потоками між учасниками системи, на якому повинна базуватися інформаційна платформа комплексної системи управління потоками відходів будівництва.

Умовою функціонування системи, є забезпечення мінімально допустимого рівня ефективності для кожного стейхолдера системи. Відповідно оптимізація логістичних витрат, є одним із резервів досягнення ефективності управління потоками будівельних відходів [7]. Це пов'язано із тим, що частка логістичних витрат (в тому числі транспортних) в загальній вартості витрат на управління потоками відходів будівництва та зносу, поступово збільшується, через неминуче зростання відходів з одночасним зменшенням вільних територій для їх захоронення. Також здебільшого, розміщення інфраструктури з переробки та захоронення відходів здійснюється на значній відстані від джерел їх утворення, маршрутизація спеціалізованих транспортних засобів, неминуче проходить через міські вулиці та магістралі з обмеженим рухом. Відповідно це вимагає оптимізації транспортних потоків, яка дозволить досягти істотного зниження частки транспортних витрат, і збільшити ефективність системи комплексного управління потоками відходів будівництва [8].

Слід також зауважити, процес управління потоками відходів неминуче буде здійснюватися в умовах невизначеності, що пов’язано із виникненням інформаційних ризиків, наслідками яких в свою чергу, є збитки та втрати, і відповідно – зниження ефективності. Тому проблему невизначеності слід вирішувати, шляхом планування та прогнозування: обсягів ресурсів, необхідних для управління потоками відходів будівництва; обсягів виникнення відходів будівництва; динаміки випуску продукції із вторинної сировини та рівня логістичного інформаційного ризику [43-46, 88-94].

Для забезпечення ефективності процесів управління потоками C&DW, що передбачає скорочення витрат і негативного впливу на екологію, необхідним є впровадження ефективних методів, моделей та стратегій управління, спрямованих на: скорочення кількості, повторне використання потенціалу вторинних ресурсів та переробку, мінімізацію обсягів C&DW, заборонених на полігонах та сміттєзвалищах [9].

Постанова задачі:

Проблематику управління C&DW досліджено в роботах багатьох науковців, що визначається їх значним потенціалом, як вторинних ресурсів, з метою уникнення виснаження ресурсів, що є сировиною для будівельної галузі [10]. Якщо систематизувати за спрямуванням проаналізовані дослідження з цієї тематики, то екологічне спрямування, а саме обґрунтованість необхідності управління C&DW та використання їх потенціалу вторинної сировини, як умова підвищення екологічності та ресурсозбереження будівельної галузі, найбільш досліджене [11-14]. Економічний аспект управління C&DW розглядався, в контексті вартості створення об’єктів (технологій) переробки, вартості матеріалів, ресурсів та енергії, отриманих від переробки C&DW, розроблення методичних підходів до визначення ефективності використання C&DW, як вторинних ресурсів в будівництві [15-17]. Також багато досліджень присвячено визначенню залежності між підвищенням рівня переробки C&DW та покращенням соціальних і екологічних аспектів розвитку регіонів [18,19], проблемам проектування та вимогам до розміщення об’єктів з утилізації [20,21], розробленню мотиваційних факторів для представників

будівельної галузі, до впровадження управління потоками C&DW [22,23], аналізу існуючих технологій використання потенціалу вторинної сировини C&DW [24,25] та ін.

Але незважаючи на ефективність більшості досліджуваних технологій з переробки окремих видів будівельних відходів, управління їх переробкою об'єктивно може стати безперспективним з позиції економічної, виробничої та соціальної вимог, що визначається не окупністю сумарних витрат на процес управління C&DW [26] та інвестицій на створення інфраструктури з переробки та виробництва будівельних матеріалів із вторинних ресурсів [22, 27]. Тому, наукові дослідження, спрямовані на обґрунтування необхідності застосування комплексного підходу в управлінні C&DW [27,28], дослідження умов забезпечення ефективності управління потоками C&DW в межах об'єднаних територіальних систем [29,30], зараз є найбільш перспективними в цьому напрямі. Відповідно моделювання процесів та розробка методів і інструментів реалізації комплексного підходу управління C&DW, в межах системи комплексного управління, мають перспективи у вирішенні проблеми забезпечення ефективності процесів управління C&DW.

Метою дослідження є обґрунтування необхідності впровадження інструментів, методів управління та економіко-математичного моделювання, які повинні стати основою системи комплексного управління потоками C&DW за логістичними принципами та здатні забезпечити доцільність, економічну та екологічну ефективність такого управління.

Досягнення мети дослідження, передбачало розроблення та обґрунтування ефективності застосування математично-економічної моделі, яка здатна забезпечити вирішення наступних задач: визначення загального обсягу ресурсів, необхідних для управління потоками відходів будівництва, із керуючою роллю в системі, логістичного центру; прогнозування та планування обсягів C&DW, в межах СКУПВ; оцінка інформаційного ризику, що має враховуватись при прийнятті рішення, щодо спрямування потоків C&DW; одночасної мінімізації загальних витрат (вартості) на управління, які забезпечать максимальне включення усіх потоків C&DW до СКУПВ та розміру екологічного збитку [43-46, 88-94].

В межах визначеної проблематики обґрунтування механізмів та інструментів управління C&DW, вважаємо необхідним застосування методів економіко-математичного моделювання, що дозволять: планувати загальний обсяг ресурсів, необхідних для управління потоками C&DW; прогнозувати та планувати обсяги відходів C&DW; приймати рішення продуцентами про напрями спрямування потоків C&DW, з позиції забезпечення цільових рівнів ефективності, з урахуванням оцінки інформаційного ризику. Крім того, для одночасної мінімізації загальних витрат (вартості) на управління, які забезпечать максимальне включення усіх потоків C&DW до СКУПВ та розміру екологічного збитку, застосовується двох цільова динамічна модель, що спрямована на оптимізацію довгостроково планування C&DW з одночасною мінімізацією витрат на систему та екологічного збитку [43-46,88-92,94].

Для визначення загального обсягу ресурсів, необхідних для управління потоками відходів будівництва, із керуючою роллю в системі, логістичного центру (інформаційної платформи системи СКУПВ), пропонуємо математичну модель з наступною цільовою функцією (3.14):

$$TR_t^n = \sum_t \left(\sum_{v\in V,n\in N,g\in G}(CR_{(v,n,g,t)} * \sum_{g\in G} x_{(v,n,e,g,t)}) + \right.$$

$$\sum_{v\in V,n\in N,g\in G} (LR_{v,n,e,t)} * \sum_{e\in E} x_{(v,n,e,g,t)}) + \sum_{v\in V,e\in E}(SR_{(v,e,t)} * \sum_{n\in N} x_{(v,n,e,g,t)}) =$$

$$min\ cost, \qquad (2.14)$$

де: TR^n_t – загальний обсяг ресурсів (витрат, інвестицій), необхідний підприємству (n) в t – періоді;

CR (v,n,g,t) – витрати ресурсів на введення в експлуатацію потужностей з переробки, сортування, захоронення будівельних відходів v – виду на підприємстві (n) по (g) технології в певний період часу (t);

LR (v,n,e,t) – логістичні витрати, необхідні для транспортування будівельних відходів певного виду (v) від продуцента відходів (e) до підприємства (n) в певний період часу (t);

SR (v,e,t) – загальний обсяг необхідних ресурсів (витрат) для забезпечення процесу управління обсягами C&DW (v) виду у продуцента їх утворення (e) в певний період часу (t);

x (n,e,g,t) загальний обсяг будівельних відходів, спрямованих від продуцента відходів (e), (v) виду, на підприємство з переробки (n), з використанням (g) технології переробки.

Якщо говорити, про необхідні ресурси для забезпечення безперебійної роботи цієї моделі, які можуть мати різну вартість в часі, то таку похибку можна врахувати, шляхом приведення грошових потоків до базисного періоду часу (дисконтування) [43-46,88-92,94].

В межах комплексного управління потоками відходів будівництва, аналіз динаміки обсягу випуску готової продукції із вторинної сировини (на підставі статистичних методів та методів прогнозування) безпосередньо впливає на ефективність СКУПВ, шляхом оптимізації витрат на створення та обслуговування експлуатаційних потужностей; оцінки обсягів створення додаткової вартості. Крім того, метод прогнозування та планування обсягів утворення відходів будівництва, є запорукою обґрунтованості визначення усіх показників роботи системи (від ефективності кожного стейхолдера системи, до прогнозування необхідних обсягів витрат ресурсів на переробку відходів будівництва, а також планування і прогнозування обсягів готової продукції із вторинної сировини). Відповідно цільова функція прогнозування та планування обсягів C&DW, матиме вигляд (3.15):

$$\sum_{\mathrm{v=1}}^{\mathrm{V}} \mathrm{W\ gen} = \sum_{\mathrm{v=1,n=1}}^{\mathrm{V,N}} W_{in} + \left(\sum_{\mathrm{v=1,e=1}}^{\mathrm{V,E}} W_d + \sum_{\mathrm{v=1,e=1}}^{\mathrm{V,E}} W_{nc} \right) * \mathrm{k}, \qquad (3.15)$$

де: W_{gen} – прогнозний (загальний) обсяг відходів будівництва, що може бути залучений до повторного господарського циклу; v – вид відходів будівництва, що підлягає переробці; V – загальна кількість видів відходів, які підлягають повторній переробці, згідно можливостей та існуючих технологій в межах СКУПВ на даний час, відповідно мета системи: $V \rightarrow max$; її досягнення можливе шляхом

запровадження нових технологій та розширення потужностей з переробки [43-46,88-92,94].

W_{in} – загальний обсяг кожного виду відходів будівництва (v) залучених до СКУПВ, що не було перероблено та утилізовано на початок періоду, які знаходяться у кожного стейхолдера системи управління відходами (n), (n∈N) на регіональному рівні;

W_d – загальний обсяг будівельних відходів, кожного виду (v), що утворилися в результаті планового зносу споруд та будівель на рівні кожного продуцента відходів (e), серед усіх залучених до системи продуцентів відходів (E);

W_{ud} – загальний обсяг будівельних відходів, кожного виду (v), що утворилися в результаті незапланованого зносу споруд та будівель на рівні кожного продуцента відходів (e), серед усіх залучених до системи продуцентів відходів (E);

W_{nc} – загальний обсяг будівельних відходів, кожного виду (v), що утворилися в результаті нового будівництва на рівні кожного продуцента відходів (e), серед усіх залучених до системи продуцентів відходів (E);

k – коефіцієнт повторного використання відходів будівництва, що не потребує додаткової переробки, або перероблення може бути здійснено локально (на місці виникнення відходів).

Слід зауважити, що визначення цього коефіцієнту, шляхом відношення усього обсягу відходів будівництва, що надходить на переробні підприємства, до загального обсягу будівельних відходів, як зазначено у деяких дослідження з цієї проблематики [31], є не зовсім коректним, бо не враховує також обсяги відходів в процесі переробки, тому більш доцільним є визначення цього коефіцієнту, як (3.16):

$$k = \frac{W_{gen} + W_l - W_f}{W} \leq 1 \rightarrow max \qquad (2.16)$$

це передбачає визначення коефіцієнту переробки будівельних відходів (k), як відношення суми (W_{gen}) прогнозного (загального) обсягу відходів будівництва, що може бути залучено до повторного господарського циклу і відповідно спрямовано на переробні підприємства та (W_l) обсягу відходів, що можуть бути перероблені локально, за мінусом (W_f) відходів отриманих від процесу переробки (потенційних

відходів для захоронення), до загального обсягу відходів будівельної галузі (W) на рівні регіону (держави).

Наступною задачею, вирішення якої забезпечить врахування інформаційних ризиків в процесі логістичного управління потоками C&DW (це впливає як на точність оцінки логістичних витрат, на оптимальність прийняття рішень, так і на ефективність системи управління), є імплементація в систему моделі оцінки інформаційних ризиків. Вважаємо, що функціонування будь-якої системи матеріальних потоків пов'язано із впливом факторів ризику, вплив яких обов'язково необхідно враховувати в процесі управління потоками відходів, бо це безпосередньо впливає на ефективність, а відповідно і доцільність системи СКУПВ [43-46,88-92,94].

Інформаційні ризики пов'язані із потоками інформації, що спрямовується від продуцентів відходів будівництва (обсяги та види відходів будівництва та зносу), переробників (технічні можливості та технологічні потужності) до єдиної інформаційної платформи та відповідно у зворотному напрямі (інформація щодо оптимізації логістичних витрат, розподілу матеріальних потоків, прогнозні обсяги ресурсів). Умовою прийняття рішення, щодо спрямування потоків відходів будівництва, буде економічна доцільність та мінімізація екологічного збитку від C&DW та процесу управління (перевезення, утилізації, захоронення та ін.), шляхом вибору як мінімум з двох альтернатив: сортування та спрямування відходів на підприємство – переробник (відповідно повернення до повторного господарського циклу, що є ключовою метою СКУПВ), або вивезення на полігон для захоронення (що є негативним сценарієм управління потоками відходів будівництва).

Тому в даному випадку інформаційним ризиком будемо вважати розмір збитків за умови економічної недоцільності першого варіанту. І відповідно це потребує розробки математичної моделі оцінки інформаційного ризику, шляхом вирішення транспортної задачі на базі диференційованих рівнянь Колмогорова [32,43-46,88-92,94].

Постановка задачі, передбачає, що існують певні маршрути від продуцента відходів будівництва, до місць переробки, утилізації, захоронення відходів

будівництва, та від достовірності інформації з єдиної інформаційної платформи, залежать: оптимальність логістичних витрат, вартість, час доставки потоків відходів. Передбачаються, що у відповідністю із існуючою мережею місць переробки (захоронення) відходів, певні маршрути доставки та їх пропускна здатність. Для досягнення цільового рівня ефективності системи в цілому (так і окремих стейхолдерів), логістичні витрати на спрямування потоків відходів до переробників (LR_{pr}), повинні бути або меншими, або дорівнювати логістичним витратам на спрямування потоків до полігонів для захоронення відходів (LR_b). $LR_{pr} \leq LR_b$. [43-46,88-92,94].

Негативними вважаються сценарії, коли $LR_{pr} > LR_b$, при цьому визначається максимальний збиток (D_{max}), як максимально можлива різниця між LR_{pr} та LR_b. Відповідно, визначивши допустимий рівень ризику (IR_a), що не критично вплине на загальну ефективність управління потоками C&DW, прийняття рішення щодо спрямування потоку відходів буде здійснюватись на підставі визначення фактичного рівня ризику (IR_f) і їх порівняння.

Передбачається, що інформаційно-логістична система (централізовано) повинна вирішувати проблеми збору, транспортування та розподілу потоків відходів будівництва та зносу, відповідно транспортна задача є важливим компонентом інформаційно-логістичної системи [33]. В даному випадку транспортна задача повинна вирішувати проблему доставки відходів, як потенційно вторинної сировини на підприємство-переробник, що має технологічні можливості, потужності та попит споживачів (в певний час) на певний вид продукції із перероблених відходів (в конкретне місце та визначений час). Максимально можливим збитком (D_{max}), (тобто перевищенням вартості логістичних витрат на доставку відходів від продуцента (вибачається, що він несе ці витрати) до підприємства – переробника, над логістичними витратами до міста захоронення відходів (без сортування та утилізації), буде вважатися збиток, що є максимально можливим для забезпечення оптимального рівня ефективності процесу управління потоками відходів, як потенційно вторинної сировини для продуцента (E_{man}). Прийняття рішення буде передбачати альтернативу прийняти, або відхилити замовлення на поставку

відходів, як потенційно вторинної сировини. Алгоритм побудови та розрахунок математичної моделі, що передбачає оцінку та врахування інформаційного ризику в процесі управління C&DW, в межах системи СКУПВ, складаються з чотирьох етапів (рис.3.4) [43-46,88-92,94].

Формалізація постановки задачі передбачає, що є N пунктів, куди можуть бути спрямовані потоки відходів будівництва та зносу (переробні підприємства за різними технологіями, місця захоронення відходів та ін.), що входять до системи СКУПВ (як в межах певного регіону, так і різних регіонах, містах). Один пункт – це пункт відправлення (продуцент відходів), а всі інші N – 1, пункти доставки (відповідно це можуть бути переробні підприємства, сортувальні станції, полігони), у разі необхідності розглядати k – пунктів відправлення (що об'єктивно для СКУПВ), задача повинні вирішуватись k – разів). Також враховуються напрями можливого руху (одностороннє, або двостороннє), функція пропускної здатності між вершинами (пунктами) – $f_{throughput}$ ij(t)), значення якої – безрозмірні величини в діапазоні від 0 до 1 [43-46,88-92,94].

На практиці, це передбачає: якщо у певного продуцента є певний обсяг, певного виду відходів будівництва та зносу, та згідно інформації єдиного логістичного центру, є запит на цей обсяг підприємством (декількома підприємствами) з переробки цього обсягу відходів, із чітко заданими параметрами часу відвантаження та доставки в n – пунктів (n<N), то з урахуванням допустимого рівня інформаційного ризику (IR_a), узгодженого із цільовим рівнем ефективності процесу управління потоками відходів (E_{man}), продуцент повинен прийняти рішення про доцільність спрямування цих обсягів відходів на підприємства – переробники. Це і є рішенням такої задачі, що передбачає формування та розрахунок математичної моделі в декілька етапів.

Інший аспект, що також впливає на загальну ефективність процесу управління потоками C&DW, це екологічний, що може оцінюватись, шляхом визначення індикатора забруднення оточуючого середовища, який в свою чергу пов'язаний із розподілом, обробкою та розміщенням C&DW та лінійно збільшується із

збільшенням обсягів C&DW, і зменшується із відстанню пунктів та об'єктів переробки та захоронення відходів [43-46,88-92,94].

Це обумовлює існуючі протиріччя в функціонуванні логістичної системи комплексного управління C&DW, бо збільшення відстані від місця екологічного впливу, з одного боку – підвищує екологічний ефект, з іншого – збільшує логістичні витрати. Тому необхідним є застосування моделі, що формулюється за допомогою багатомірного лінійного програмування для одночасної мінімізації загального обсягу ресурсів на управління потоками C&DW та показника екологічного збитку від функціонування СКУПВ.

Якщо уточнити цільову функцію (2.14), шляхом врахування у сумарних витратах на СКУПВ, витрати за кожним об'єктом можливого спрямування C&DW: регіональні пункти збору та транспортування (d), об'єкти локальної переробки (l), підприємства – переробники (pr), полігони для захоронення (b), то отримаємо наступну цільову функцію моделі (2.17):

$$\min cost = TR_t^n = \sum_1^t \sum_1^d (CR_{d(t)} + (LR_{d(t)} + TC_{d(t)}) \times W_{d(t)}) + \sum_1^t \sum_1^l (CR_{l(t)} + (LR_{l(t)} + TC_{l(t)}) \times W_{l(t)}) + \sum_1^t \sum_1^{pr} (CR_{pr(t)} + (LR_{pr(t)} + TC_{pr(t)}) \times W_{pr(t)}) + \sum_1^t \sum_1^b (CR_{b(t)} + (LR_{b(t)} + TC_{b(t)}) \times W_{b(t)}) \quad (2.17)$$

Тобто, загальний обсяг ресурсів (в т.ч. інвестицій) (TR), необхідний для функціонування усіх (n) об'єктів СКУПВ, що задіяні в процесі збору та сортування (d), локальної переробки (l), утилізації (переробці) (pr), захороненні (b), в певний період часу (t), має мати оптимально мінімальну вартість, та є сумою: витрат ресурсів на введення в експлуатацію (CR) та суми логістичних витрат (LR) і витрат на процес поводження з C&DW, з урахуванням обсягу відходів, залученого до СКУПВ (W).

Обов'язковою умовою застосування цієї математичної моделі є повна переробка, або утилізація усіх обсягів C&DW, утворених в певний період часу

(тобто максимальне включення потоків C&DW, до СКУПВ) і відповідно врахування усіх витрат на логістичне та операційне управління цього обсягу.

Відповідно метою забезпечення ефективності системи з управління потоками C&DW, є мінімізація загальних витрат (вартості) на таке управління, в тому числі сукупних інвестицій, логістичних та операційних витрат, які забезпечать максимальне включення усіх потоків C&DW до СКУПВ.

Наступною метою створення СКУПВ, має стати забезпечення мінімальної шкоди оточуючому середовищу, та мінімізація шкоди від процесів переробки та захоронення C&DW, для населення, що проживає в межах територій впливу та визначається наступним рівнянням (2.18).

$$min\, damage = ED_t^n = \sum_1^t \sum_1^z P_{z(t)} \left(\sum_1^d \frac{IEP_{d(t)} * W_{d(t)}}{S_{\frac{d}{z}}} + \right.$$

$$\left. \sum_1^l \frac{IEP_{l(t)} * W_{l(t)}}{S_{\frac{l}{z}}} + \sum_1^{pr} \frac{IEP_{pr(t)} * W_{pr(t)}}{S_{\frac{pr}{z}}} + \sum_1^d \frac{IEP_{b(t)} * W_{b(t)}}{S_{\frac{b}{z}}} - \sum_1^{ft} \sum_1^n \frac{IEP_{ft(t)} * W_{n(t)}}{S_{\frac{ft}{z}}} \right), \quad (2.18)$$

Показник забруднення оточуючого середовища (ED) – екологічний збиток, охоплює рівень забруднення від кожного об’єкта і відповідно процесу, що забезпечує цей об’єкт, з урахуванням кількості жителів на території впливу, відстані об’єкта від житлових пунктів. (ED) лінійно збільшується із зростанням обсягу C&DW, залученого до СКУПВ та зменшується із збільшенням відстані об’єкту СКУПВ від зони впливу (населеного пункту), а також створення об’єктів екологічного захисту і впровадження технологічної модернізації очисних споруд, екологічних бар’єрів та ін [43-46,88-92,94].

Відповідно коригування цих факторів впливу на показник екологічного збитку, дають можливість покращувати показник та визначати цільові орієнтири напрямів зниження ризиків екологічного впливу по кожному об’єкту СКУПВ.

Як вже зазначалося вище, метою СКУПВ має стати поєднання цілей мінімізації витрат та мінімізації екологічного збитку, і так, як поставлена задача використовує різні міри одиниць цих двох цільових функцій, для її вирішення

застосовуємо метод корисності, розроблений Nema и Gupta [25] та метод поєднання багатокритеріальних функцій із різними одиницями [36], визначивши для кожного з показників індикатор важливості, що визначає певну пріоритетність між мінімізацією загальних витрат на систему (I_{TR}) та мінімізацією негативного впливу на зовнішнє середовище (I_{ED}). Залежність між ними визначається функцією (2.19):

$$I_{ED} = 1 - I_{TR} \tag{2.19}$$

Модель формулюється за допомогою багатоперіодного лінійного програмування для одночасної мінімізації загальної вартості системи та збитків (рівня забруднення) оточуючому середовищу, які об'єктивно пов'язані із процесом управління потоками C&D, що визначається відношенням $\frac{cost\ objective\ TR_t^n}{\min cost\ TR_t^n}\ and\ \frac{damage\ objective\ ED_t^n}{\min damage\ ED_t^n}$.

Оптимальне рішення одночасної мінімізації витрат на систему управління потоками C&D та мінімізації екологічного збитку від її функціонування, можливо шляхом вирішення цільової лінійної функції (3.20):

$$min\ objective = I_{TR} * \frac{TR_{cost\ objective}}{TR_{\min cost}} + I_{ED}\frac{ED_{\text{damage } objective}}{ED_{\min \text{ damage}}} \tag{2.20}$$

де: $TR_{\text{cost objective}}$ – об'єктивна (фактично можлива з урахуванням фактичних обсягів та потужностей) вартість загального обсягу ресурсів для процесів управління C&DW; $TR_{\text{min cost}}$ – мінімальна вартість (цільовий показник);

$ED_{\text{damage objective}}$ – об'єктивний (фактично можливий з урахуванням фактичних обсягів, потужностей об'єктів СКУПВ, потужностей очисних та захисних споруд, відстані до об'єктів екологічного впливу) розмір екологічного збитку; $ED_{\text{min damage}}$ – мінімально можливий екологічний збиток.

Модель є двох цільовою, та передбачає оптимізаційні можливості для створення і вдосконалення системи управління потоками C&DW, шляхом впровадження нових об'єктів, потужностей та інноваційних технологій з переробки,

здатних забезпечити максимальне включення усіх C&DW до повторного господарського циклу та мінімально шкідливий вплив на екологію [43-46,88-92,94].

Передбачається декілька обмежень, що визначають доцільність моделі, а саме:

– обсяги C&DW, залучені до певних об'єктів СКУПВ, не можуть перевищувати їх потужні можливості для регіональних центрів збору, сортування та тимчасового розміщення рівняння (8), що вирішується за допомогою планування обсягів C&DW;

$$W_{d(t)} \leq \max Op_{d(t)}, for\ 1, \dots, d, 1, \dots, t, \quad (2.21)$$

– обсяги усіх транспортованих C&DW від продуцентів (e), повинні дорівнювати обсягам залучених до центрів збору, сортування та тимчасового розміщення, в певний період часу ($W_{d(t)}$), та сумарному обсягу C&DW, утворених у продуцентів ($Wp_{e(t)}$), за мінусом тих обсягів, що перероблені локально ($W_{l(t)}$) (наприклад дробильною установкою на будівельному майданчику), рівняння (9):

$$\sum_1^e Wt_{d}{}_{/e(t)} = \sum_1^d W_{d(t)} = \sum_1^e Wp_{e(t)} - \sum_1^l W_{l(t)}, for\ 1, \dots, d, 1, \dots, t, \quad (2.22)$$

Дотримання такого обмеження передбачає обов'язковість, розглянутого вище планування обсягів C&DW, яке можливо лише у разі повного охоплення усіх проектів з будівництва та зносу на рівні регіону (міста) системою СКУПВ, шляхом обов'язкової реєстрації на інформаційній платформі та застосування організаційно-технологічних рішень, які орієнтовані, як на мінімізацію C&DW і прогнозування їх обсягів в результаті реалізації проекту, так і на підвищення можливостей залучення C&DW, у якості вторинної сировини [43-46,88-92,94].

З одного боку, перевищення фактичних обсягів C&DW над технологічними потужностями об'єктів з утилізації, тимчасового розміщення та захоронення створює залишки відходів, що не можуть бути включені до СКУПВ, з іншого – невикористані потужності, на які були витрачені певні обсяги інвестицій, стають економічно необґрунтованими та збільшують експлуатаційні витрати на резервні

потужності, з одночасним зменшенням ефективності системи в цілому. Тобто планування обсягів C&DW, забезпечує обґрунтованість застосування даної математичної моделі [43-46,88-92,94].

Аналогічним можна вважати обмеження (2.23), (2.24), щодо локальної переробки певних видів C&DW, яке передбачає оцінку майбутніх обсягів, що безпосередньо впливає на доцільність інвестицій в техніку та технології мобільної переробки C&DW на об'єкті їх утворення [43-46,88-92,94].

$$W_{l(t)} \leq maxOp_{\,l(t)}, for\ 1, \dots, l, 1, \dots, t, \quad (2.23)$$

$$W_{l(t)} \geq minOp_{\,l(t)}, for\ 1, \dots, l, 1, \dots, t\ , \quad (2.24)$$

Обмеження (2.25), (2.26) визначають: усі обсяги C&DW, що спрямовані до переробних підприємств, не можуть бути більшими за технологічні можливості таких підприємств, але невикористані технологічні потужності також спричинять зменшення ефективності інвестицій та системи в цілому.

$$W_{pr(t)} \leq \max Op_{pr(t)}\ , for\ 1, \dots, pr, 1, .., t, \quad (2.25)$$

$$W_{pr(t)} \geq \min, Op_{pr(t)}, for\ 1, \dots, pr, 1, .., t, \quad (2.26)$$

Згідно обмеження (3.27), ті обсяги C&DW, які були транспортовані до підприємств – переробників ($Wt_{e/pr(t)}$), повинні дорівнювати обсягам, що були перероблені на них за певними технологіями в певний період часу.

$$\sum_1^e Wt_{e/pr(t)} = W_{pr(t)}, for\ 1, \dots, pr, 1, .. e, 1, .., t\ , \quad (2.27)$$

Обмеження технологічних потужностей полігонів захоронення відходів C&DW (3.28), передбачає, що сукупні обсяги C&DW, спрямовані від продуцентів до цих об'єктів, повинні бути меншими ніж максимально можлива місткість таких полігонів.

$$\sum_1^e W_{b(t)} \leq maxOp_{b(t)}, for 1,..b,1,..t\ , \quad (2.28)$$

Обмеження, щодо мінімально можливих обсягів захоронення C&DW, є недоцільним, бо це суперечить екологічному спрямуванню такої математичної моделі та стратегічній меті СКУПВ, і в ідеалі передбачає, що обсяги C&DW, спрямовані від продуцентів до полігонів з метою захоронення, без використання їх потенціалу вторинної сировини, повинні наближатися до *min*, або нуля (3.29):

$$\mathrm{Wt_{e/b(t)}} \rightarrow min, \quad (2.29)$$

А усі обсяги транспортованих C&D від продуцентів до полігонів, повинні бути захороненні саме на спеціалізованих та санкціонованих для певного рівня безпеки видів C&DW (3.30):

$$\sum_1^e Wt_{e/b(t)} = W_{b(t)}, for\ 1,..b,1,..,t, \quad (2.30)$$

$$\sum_1^e (Wte_{/d(t)} + Wte_{/pr(t)} + Wte_{/b(t)} + Wte_{/l(t)}) = \sum_1^n W_{t(n)}\ ,$$

$$for\ 1,...d,1,..,pr,1,...b,1,...,l,1,..t, \quad (2.31)$$

Обмеження (3.31), передбачає, що логістична система СКУПВ, повинна охопити усі обсяги C&DW, що були спрямовані від продуцентів до регіональних центрів збору та сортування, об'єктів локальної переробки, переробних підприємств, санкціонованих полігонів захоронення [43-46,88-92,94].

3. Аналіз використання вторинної вировини в будівництві.

3.1 Перспективні форми комплексного використання вторинної сировини на підприємствах будівельного комплексу

Основним завданням будівельної галузі є створення належної інфраструктури щодо задоволення потреб суспільства в жит-лових та промислових об’єктах, формування комфортного середовища, що забезпечує належні умови для життєдіяльності людини. Але існує зворотній процес впливу будівель-ної діяльності на навколишнє природне ото-чення.

Антропогенний вплив будівництва різнома-нітний за своїм характером і відбувається на всіх етапах виробництва будівельної продукції. Видобуток сировини, виробництво будівельних матеріалів та конструкцій, а також знесення старих споруд і будівель пов’язані з виникненням різних видів відходів, що супро-воджується як втратами від нераціонального використання ресурсів, так і збільшенням навантаження на довкілля.

Зміни в економіці, пов’язані зі зростанням ціни на енергоресурси, вичерпаність первинних мінеральних сировинних матеріалів і суттєвий прогрес в області створення ефек-тивних технологій з переробки промислових, будівельних і міських відходів створюють передумови для широкого використання вто-ринної сировини у будівельному комплексі. Тому обґрунтування принципів функціонування підприємств з комплексного використання відходів за умов підвищення їх ефек-тивності набуває для вітчизняної економіки особливої актуальності.

Питання ресурсозбереження та його впрова-дження на вітчизняних підприємствах стали предметом розгляду таких науковців, як, зокрема, Н.І.

Верхоглядова, В.А. Григор'єв, М.І. Іванов, В.С. Іфтемічук, Д.В. Липницький, М.І. Маниліч, Л.Т. Хижняк, Г.Д. Шута.

Дослідженнями використання вторинних ресурсів у будівельній галузі займались такі вітчизняні фахівці як, зокрема, Т.Є. Андрєєва, О.П. Бутенко, В.І. Борейко, Ю.В. Маковецька, В.В. Грабовчак, Н.М. Цепенюк, Б.М. Литвин, О.В. Хахльов.

Виділення не вирішених раніше частин загальної проблеми. Одним із напрямів перспективного розвитку будівельного комплексу є перехід до безвідходного виробництва. Тому питання переробки та застосування відходів, розробки енергозберігаючих технологій і заходів щодо комплексного використання як природних ресурсів, так і вторинної сировини потребує подальшого доопрацювання.

фективна діяльність підприємств будівельної індустрії є головною і визначальною умовою розширення та якісного поліпшення будівництва, що згодом впливає на соціально-економічний стан регіону та країни загалом.

В будівельному комплексі промисловість будівельних матеріалів відіграє роль, що забезпечує процес будівництва. Її розвиток залежить від сировинного і споживчого фак-торів. Підприємства цієї галузі здійснюють видобуток і виготовлення різноманітної про-дукції та виробів, необхідних для зведення та ремонту будівель і споруд. Таким чином, в структурі готових будівельних об'єктів зна-чну частину становлять матеріальні витрати. За економічним призначенням результати діяльності цих підприємств створюють основу матеріально-технічної бази будівництва, забезпечують зростання обсягів капітальних вкладень та технічний прогрес в галузі на основі впровадження ефективних матеріалів і конструкцій. Ця промисловість має велике значення для індустріалізації, зниження вар-тості будівельної продукції, економії металу і деревини, підвищення ефективності інвес-тицій у народне господарство. Галузь будівельних матеріалів споживає значну кількість природних ресурсів, які можуть бути замінені вторинною сировиною, отриманою з відходів промислового виробництва, що мають аналогічні властивості.

Сучасні ринкові умови функціонування будівельних організацій, які характеризу-ються такими негативними проявами, як зрос-тання цін на паливно-енергетичні ресурси, сировину, будівельні матеріали, зниження платоспроможного попиту споживачів, обу-мовлюють необхідність розроблення нового підходу до організації виробничого процесу та впровадження сучасних методик управління витратами. При цьому необхідно дотримува-тися принципу екологічності, який полягає в усуненні їх як забруднювачів з міської екосис-теми і перетворенні їх на джерело вторинної сировини.

Відходи будівельного виробництва можуть бути вторинною сировиною, використання якої після переробки дасть змогу знизити витрати на нове будівництво об’єктів за рахунок зменшення зустрічних потоків нерудних матеріалів і водночас зменшити навантаження на міські полігони, виключаючи ство-рення несанкціонованих звалищ, а також зберегти земляні ресурси, що відводяться під розміщення нових кар’єрів.

Переробка відходів загалом повинна вирішуватись з метою отримання максимального прибутку для компенсації капітальних вкла-день у промислову їх переробку [1]. Для цього необхідне створення безвідходних вироб-ництв, яке буде здійснюватися за рахунок зміни технологічних процесів та розробки сис-тем із замкнутим циклом, що забезпечують багаторазове використання сировини.

Дуже часто під час будівництва такий матеріал, як цегла, піддається різним впливам, в результаті яких він кришиться і ламається. Щоб запобігти отриманню збитків, бій цегли використовують для зведення тимчасових шляхів під’їзду на будівельні майданчики. Крім того, цегельний бій може застосовуватися для приготування розчину з подальшим викорис-танням в кладці печей. Після переробки на дробильній техніці бій цегли меншої фракції можна використовувати для будівництва доріг.

Під час знесення старих будівель залиша-ється багато непридатних бетонних конструк-цій, які після механічної обробки можна вико-ристовувати для створення шляхів під’їзду і для благоустрою території. Переробка бетонного лому сьогодні спрямована на здобуття вторинних заповнювачів і вивільнення арма-турної сталі.

Отримана вторинна сировина використовується переважно для пристрою щебеневої підготовки дорожнього одягу і підстав [2]. Одержаний продукт за своїми властивостями і характеристиками набагато міцніше, ніж щебінь, який одержують з граніту. Ефективною є технологія, що передбачає здобуття фракціонованого щебеню і використання його під час заводського виробництва бетону і залізобетонних конструкцій.

Під час згорання вугілля на теплових елек-тростанціях в Україні щорічно утворюються 7–9 млн. тонн золи та шлаків [3]. Використання мелених золошлакових відходів під час виробництва глиняної цегли дає змогу поліпшити її якість, підвищити морозостійкість та знизити собівартість одиниці продукції. Застосування відходів ТЕС у розробці складу бетонних та залізобетонних виробів дає змогу скоротити витрати цементу та поліпшити фізико-технічні властивості бетонів.

В процесі будівництва дорожнього полотна старе асфальтове покриття стає непридатним. Тому його переробляють і отримують асфальтову крихту, яка є відмінним матеріалом для ущільнення доріг. Асфальтова крихта завдяки з'єднанню з бітумом забезпечує хорошу непроникність і герметичність покриття.

Перспективним напрямом використання склобою є виробництво різних піноматеріа-лів. Такі матеріали застосовуються для ізоляції стін і перекриттів, покрівлі, для утеплення трубопроводів, теплового та холодильного обладнання, а також як легкий заповнювач бетону.

Відпрацьовані шини не піддаються біологічному розкладу і, накопичуючись в місцях їх експлуатації, тривалий час забруднюють навколишнє середовище. Місця їх скупчення, особливо в регіонах з жарким кліматом, служать сприятливим середовищем проживання і розмноження ряду гризунів і комах, які є розносниками різних захворювань. Крім того, шини мають високу пожежну небезпеку, а продукти їх неконтрольованого спалювання роблять украй шкідливий вплив на природне оточення.

Використання зношених шин, що містять, крім гуми, технічні властивості якої близькі до первинних, велику кількість армуючих тек-стильних і металевих

матеріалів, є джере-лом економії природних ресурсів. Крім того, ліквідація сміттєзвалищ зношених шин дасть змогу звільнити для використання за призначенням значні площі займаних ними земель.

В наш час розроблені технології з переро-блення відпрацьованих шин на гумову крихту, використання якої дає можливість суттєво знизити енергетичні та фінансові витрати підприємств на виробництво гумотехнічних виробів, тепло-, звуко- та гідроізоляційних, покрівельних, будівельних матеріалів тощо. Механічне подрібнення шин до невеликих шматків з подальшим відділенням метале-вого і текстильного корду та отримання гумо-вого «грануляту» потрібних розмірів дало змогу замінити [4]:

– дорожнє покриття;

– шумопоглинальні пластини, що використовуються на залізницях;

– покриття для спортивних, дитячих ігрових майданчиків;

– доріжки, що знаходяться поруч з басейнами тощо;

– підлогу для торгових павільйонів та інших місць, оскільки гумове покриття володіє багатьма позитивними характеристиками, такими як шумоізоляція, теплоізоляція, амор-тизуючі властивості.

Таким чином, використання у будівельній галузі вторинної сировини, що утворюється з переробки відходів, дасть змогу знизити потребу в матеріалах, запровадити технології ресурсо- та енергозбереження, зменшити екологічне навантаження на навколишнє середовище тощо.

Проте в сучасних умовах функціонування будівельного комплексу відсутня економічна зацікавленість суб’єктів підприємницької діяльності в запровадженні новітніх технологій та економії всіх видів ресурсів. На відміну від країн Європейського Союзу вітчизняна економіка залишається вкрай ресурсоєм-ною, низькотехнологічною та внаслідок цього неконкурентоспроможною на світовому і зна-чною мірою на внутрішньому ринку. Змінити цю ситуацію може формування об’єднань підприємств за принципом «технологічного ланцюжка», обов’язковою умовою побудови якого вважаємо включення в них підприємств з переробки вторинних ресурсів.

Конкретні форми побудови інтегрованої структури з участю відповідних переробних підприємств залежатимуть від галузевої при-належності її суб’єктів.

Наприклад, переробка відходів від зносу старих будівель та споруд – будівельно-монтажні роботи – будівництво доріг; переробка золошлакових відходів – виробництво цегли – будівництво низькоетажних котеджів, переробки зношених шин – виготовлення будівельних матеріалів – будівництво та облаштування придомової території та відповідної інфраструктури.

Це дасть змогу створити замкнутий технологічний цикл безвідходного виробництва в межах єдиної організаційно цілісної інтегро-ваної структури, що спричинить підвищення результатів діяльності будівельного комп-лексу і отримання економічного і соціального ефекту суспільством загалом.

3.2 Екологічний менеджмент відходів будівельного виробництва

Будівельне сміття становить 10-30 % усіх відходів світу. Щорічно в сучасному світі кількість будівельних відходів збільшується на 2,5 мільярда тонн (за даними фахівці з Європейської Асоціації, до якої входять компанії по знесенню будівель). Наприклад, у Великобританії з метою збереження природних ресурсів і стимулювання повторної переробки введено податок на застосування кожної тонни природного заповнювача у розмірі 1,6 фунта стерлінгів. У Нідерландах вже близько 10 років діє закон, що забороняє звозити на полігони будівельні відходи, які можна переробити [1]. Багато інших країн при прийомі відходів на полігони потребують офіційних доказів того, що відходи переробці не підлягають. Для повноцінного розвитку технологічних процесів необхідно потужне законодавство, при якому утворення несанкціонованих звалищ жорстко переслідується за законом, тобто вивіз відходів на полігони або економічно невигідний, або взагалі заборонений. Переробка відходів повинна бути не тільки екологічно доцільна, але і економічно ефективною.

Утворено відходів в сфері капітального будівництва України за 2015 рік 89.9 тис. т (рис. 3.1).

Щорічний обсяг будівельних відходів тільки з бетону і залізобетону в Києві складає близько 300 тис. т, міські звалища заповнені на 90%.

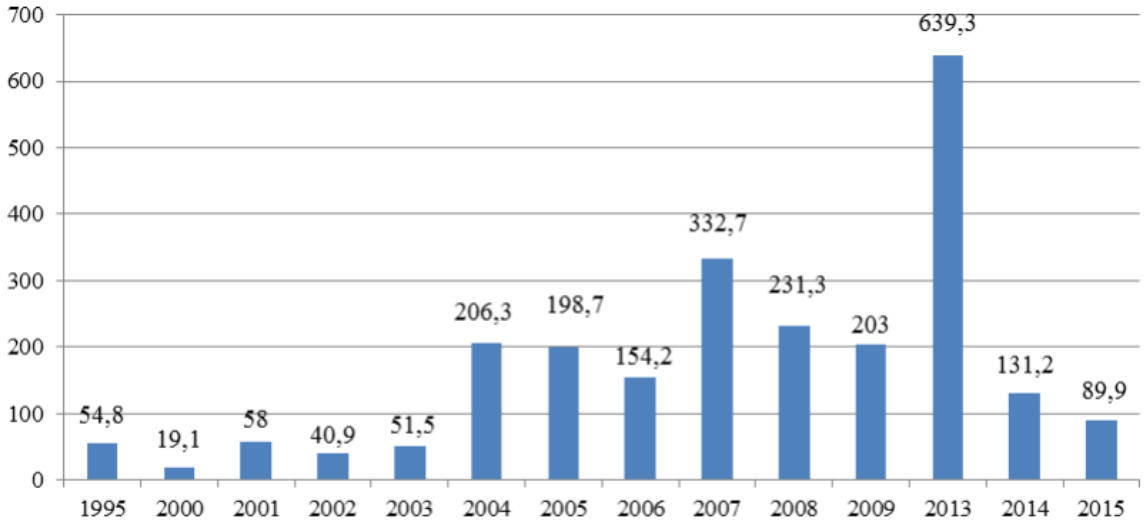


Рисунок 3.1 - Утворення відходів в будівництві, тис. т/рік

Управління відходами включає заходи з поводженням відходів та попередженням їх утворення. Основним напрямком зниження об'ємів утворення відходів є розробка та застосування на практиці ресурсозберігаючих технологій відповідно до стратегічних пріоритетних напрямках інноваційної діяльності на 2011-2021 роки, які передбачені в законі України «Про пріоритетні напрями інноваційної діяльності в Україні». Наприклад, використані пластмасові пляшки можна закладати в якості утеплювача стін. Найбільш поширеними методами вирішення проблеми збільшення відходів було депонування та спалювання, які є екологічно небезпечними. При депонуванні можуть відбуватися різні реакції між змішаними відходами із надходженням шкідливих речовин в атмосферу. Спалювання збільшує концентрацію токсичних речовин, призводить до викидів діоксинів, ртуті. Уникнути утворення відходів неможливо, тому слід кваліфіковано їх знешкоджувати: роздільний збір, рециклінг. Наприклад, біла жерсть може на 100 % підлягати рециклінгу, в Німеччині – на рівні 80 %. За допомогою переробки будівельного сміття друге «життя» знаходять багато матеріалів — це і деревина, і коріння викорчуваних дерев, і залізобетонний лом, і пластик, і скло, і старі шини, також цегельний бій і багато інших матеріалів.

Вторинна сировина не є повноцінним будівельним матеріалом, вона володіє низькою вартістю

та обмеженою сферою застосування. Після демонтажу споруд, на майданчику залишається переважно залізобетон, який сортується за допомогою спеціальної техніки. Занадто великі шматки подрібнюються на більш дрібні за допомогою гідромолота або гідроножиць.

Бетон, перероблений в щебінь, служить для засипки боліт і котлованів, а також для створення тимчасових доріг. Асфальт повторно застосовують у будівництві доріг, але спочатку його термічно обробляють при дуже високій температурі. Арматура так само повторно використовується в будівництві. Брак і склобій можна відправляти на переплавлення. Можливе застосування склобою в якості наповнювача в дорожньому будівництв для одержання будівельної кераміки, ударна міцність якої складає 0,83 кг/см2. Цегла з використанням склобою (до 50-90 %) може застосовуватися в суворих кліматичних умовах.

Відходи з дерева (на сьогодні 15 % піддаються переробці) можна використовувати після роздрібнення для одержання деревинно-цементної маси, із якої виробляють деревинно-цементні плити. З 1 м3 відходів з дерева можна одержати 169 кг штучного шовку, 150 кг паперу, 20 кг сухих дріжджів, 170 кг тучної вовни, 90 л спирту [1]. Пресовану деревину осики, берези, вільхи і тополі - для виготовлення деталей машин, підшипників, прокладок, що раніше виготовлялися з металу. Деталі з пресованої деревини служать у декілька разів довше, а їх вартість у 3-20 разів нижча.

Макулатура в сполученні з органічними і неорганічними складниками використовується у виробництві різноманітних плит, теплоізоляційних панелей на основі перліту, порошкоподібного твердого, газоподібного палива, етанолу, азотного добрива з додаванням калію і кальцію.

Відповідно до прав європейських країн є ієрархія принципів поводження із відходами: 1) уникнення появи відходів; 2) переробка та вторинне використання; 3) знешкодження з урахуванням інтересів довкілля [4].

На законодавчому рівні повинні бути сформовані еколого-економічних інструменти для стимулювання утилізації, рециклінгу відходів, а саме:

1. Впровадження податкових пільг:

- на виробництво будівельних матеріалів екологічного призначення;

- на види діяльності, що спрямовані на підтримання екології (переробка відходів);

- зменшення податку на власність, на землю для економічних суб'єктів, що займаються

екологічно обґрунтованими видами діяльності.

2. Штрафні грошові покарання за недотримання екологічного законодавства.

3. Надання субсидій за рахунок державних, спеціальних державних та недержавних фондів: на здійснення природоохоронних програм по утилізації відходів; фінансування науково – дослідних робіт.

4. Дотації на підтримання в разі ризику піонерської еко-будівельної продукції з використанням відходів виробництв.

5. Впровадження екологічного податку на конкретні групи товарів, комунального податку на утилізацію відходів.

6. Гранди – грошові засоби, які виділяються в порядку доброчинності для фінансової підтримки наукових досліджень, вчених безкоштовно.

7. Надання кредитів для вирішення екопроблем: пільги за строками кредитування; пільги за відсотковими ставками; пільги за об'ємами кредитування; пільги за гарантіями за кредит.

8. Прискорена амортизація – система заходів, що дозволяє збільшити величину амортизаційних фондів в перші роки експлуатації. Це сприяє модернізації обладнання, інноваціям.

9. Сприяння, обмеження на ринку – комплекс організаційних заходів, які надають додаткові економічні переваги екологічно орієнтованим будівельним підприємствам, чи створення економічних обмежень несприятливим суб'єктам:

- присудження нагород (звання, призів);

- маркетингові сприяння екологічно перспективним суб’єктам (безкоштовна реклама);

- надання додаткових видів ресурсів (території) лімітів на електроенергію, воду, газ під

розвиток екологічно сприятливих видів діяльності;

- інформаційна підтримка підприємства (безкоштовно власним підприємствам – технічна документація на виготовлення нових видів продукції);

- державна протекція для екологічно орієнтованих видів будівельної продукції в зовнішній торгівлі.

10. Цінові інструменти – система заходів впливу на економічні інтереси суб’єктів зі зміною вигідності різних видів діяльності (товарів) шляхом збільшення чи зменшення цін: • методи прямого регулювання цін: диверсифікація цін з часом; диверсифікація цін за споживачами на природні ресурси; диверсифікація цін за споживачами; встановлення завищених цін на екологічно чисту продукцію; адміністративний контроль цін на відходи; • методи непрямого регулювання: збільшення рівня цін споживання на екологічно благо приємну продукцію, на види продукції, виробництво і споживання якої пов’язано з процесами порушення природного середовища (знижує вигідність виробництва та споживання продукції); зниження рівня цін споживання на екологічно несприятливу продукцію, на ті види продукції, які сприяють зниженню екологічного тиску на різних стадіях виробництва і споживання продукції(збільшення вигідності виробництва та споживання продукції); створення цінових гарантій рішення екологічних проблем (в ціну продукції входить вартість її утилізації після використання).

Недосконалі методи планування будівельних матеріалів під час будівництва створюють надлишок відходів на будівельному майданчику [5]. Для уникнення цього ефективно організована логістика уникнення відходів на будівельному виробництві дозволить знизити витрати на управління відходами, збільшить доходи від первинних і вторинних залишків матеріалів. Логістика передбачає диференціацію відходів, їх вторинне використання, знищення, проблеми транспортування, складування, розробку ресурсозберігаючих та маловідходних

технологій. Незважаючи на примусовий характер впровадження на підприємстві таких дій, вони є ефективними та економічними.

Впровадження ресурсозберігаючих технологій в системах менеджменту відходів потребує оцінювання їх ефективності на кожній фазі життєвого циклу інвестиційного проекту. Розв'язання цієї задачі можливе за результатами моделювання управління показниками динамічного оточення проекту. Обґрунтування економічної доцільності одного із альтернативних інноваційних проектів утилізації відходів в системі логістики на кожній фазі життєвого циклу проекту доцільно здійснювати відповідно до запропонованої структурно-логічної моделі управління будівельними відходами (рис. 3.2).

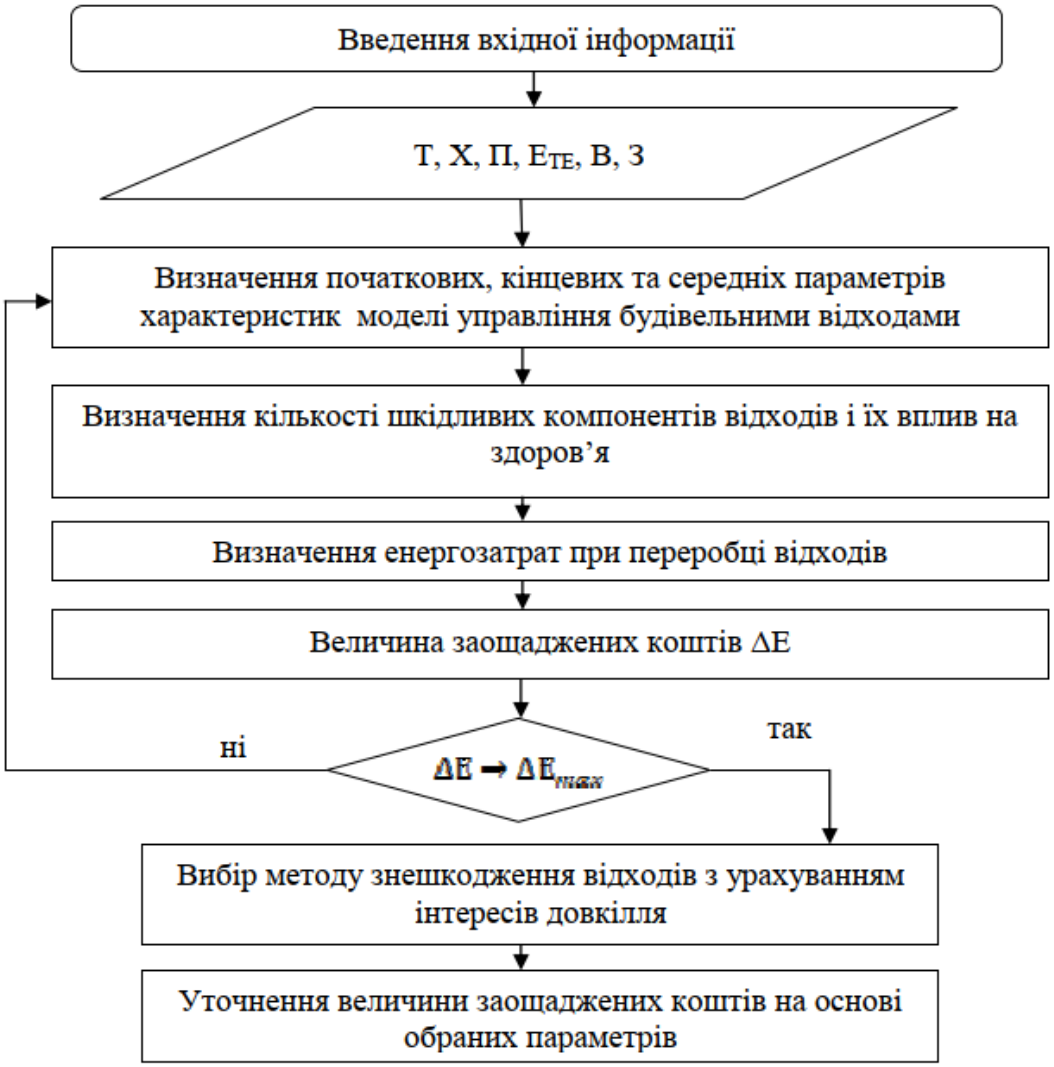


Рисунок 3.2 - Структурно-логічна модель управління будівельними відходами при регулюванні витрат в системі логістики

Вхідними змінними параметрами в структурно-логічній моделі управління будівельними відходами є витрати при транспортуванні твердих компонентів (Т), економічний ефект запобіганню втрат за час хвороби(Х) при шкідливому впливі на здоров'я, попит на вторинну сировину та споживча вартість (П), вартість розміщення відходів у навколишньому середовищі (Р), отримання теплоенергії та електроенергії (Ет) при термічній переробці, витрати на перетворення відходів на вторинну сировину (В), вартість, яка включає компенсацію віддалених екологічних збитків від розміщення або ліквідацію відходів (З).

Величина заощаджених коштів при раціональному підході утилізації будівельних відходів:

$$\Delta E = f(T, X, П, ЕТЕ, В, З) \rightarrow \Delta Емах. \quad (3.1)$$

За результатами чисельного моделювання, варіюючи змінними параметрами динамічного оточення інноваційно-інвестиційного проекту управління будівельними відходами, уточнюються чинники впливу на навколишнє середовище і обирається оптимальний ресурсозберігаючий варіант.

Часто нешкідливий на перший погляд будівельний матеріал, насправді має істотний екологічний вплив, якщо враховувати всі стадії його життєвого циклу: добування, підготовку сировини, виробництво й транспортування до місця реалізації. Тому на всіх етапах життєвого циклу створення будівельної продукції повинно бути передбачено заплановане та послідовне здійснення організаційних, правових та технічних заходів природоохоронного, ресурсозберігаючого та ресурсо-відтворюючого характеру на основі моделі інтегрованого еколого-економічного управління [6, 7]. Головною метою цієї моделі є забезпечення мінімальних екологічних витрат при даному й існуючому технічному розвитку будівельного виробництва.

Впровадження та розвиток територіально-муніципальної, галузево-бізнесової, інноваційно-інвестиційної моделей [8] утилізації відходів є вагомим засобом стимулювання соціальної, економічної та екологічної ефективності утилізації відходів на будівельному виробництві. Територіально-муніципальна модель дозволить здійснювати жорсткий контроль місцевих муніципальних служб

відповідності санітарно-епідеміологічним вимогам усім будівельним відходам і сприятиме впровадженню еколого-економічних інструментів для стимулювання утилізації, рециклінгу відходів. Галузево-бізнесова модель розширить ринок створенням нових виробництв, заснованих на використанні вторинних ресурсів. Інноваційно-інвестиційна модель надасть можливості оновлення будівельних виробництв зі застарілими багатовідходними виробництвами, підвищити конкурентоспроможність вітчизняної продукції на внутрішньому та зовнішньому ринках. Прийому інноваційного менеджменту (бенчмаркінг, інжиніринг інновацій, франчайзинг) прискорять планування, продаж інноваційних проектів утилізації відходів. Бенчмаркінг дозволить систематично знаходити і оцінювати всі позитивні гідності західного досвіду і організовувати їх використання у власній діяльності будівельних виробництв. Інжиніринг інновацій - це комплекс робіт і послуг зі створенню інноваційного проекту, що включає:

1) проведення попередніх досліджень;

2) встановлення мети та завдань, які постають перед інноваціями;

3) техніко-економічне обґрунтування інноваційного проекту;

4) розробка рекомендацій по створенню нового продукту чи операції;

5) визначення обсягу необхідних витрат всіх видів ресурсів, строків виконання робіт за проектом та економічної ефективності інноваційного проекту в цілому;

6) оформлення проекту у вигляді документа;

7) консультації працівників-виконавців заходів за цим проектом.

Впровадження на будівельних підприємствах вибагливих міжнародних стандартів з екологічного менеджменту ISO 14001та ISO 14010 «Загальні вказівки з екологічного аудиту» поліпшать систему керування відходами [9, 10]. Плани екологічного менеджменту мають охоплювати такі заходи, які спрямовані на поліпшення еколого-економічних показників виробництва:

• зниження ресурсоємності та енергоємності технологічних процесів;

• зниження токсичності сировини, що використовується;

• підвищення ефективності наявних та впровадження сучасних систем очищення викидів шкідливих речовин в атмосферу та скидів стічних вод у водні об'єкти;

• утилізація й перероблення виробничих відходів;

• організація й проведення поточного контролю джерел та обсягів надходження шкідливих речовин у навколишнє середовище;

• впровадження сучасних "екологічно чистих" технологій і технологічного обладнання.

3.3 Сучасні проблеми рециклінгу вторинних будівельних ресурсів

Щорічно в життєвому циклі інвестиційно-будівельного комплексу України з різних джерел освіти формується понад 50 млн. т. матеріалів - потенційних будівельних відходів різної номенклатури, які вимагають різних видів їх утилізації, переробки матеріалів і вторинного використання ресурсів, що законодавчо визначено державної нормативно-правовою базою.

Основними джерелами утворення будівельних відходів є ІБД, як будівельних організацій, так і функціонування підприємств будівельної індустрії. У будіндустрії відходи утворюються при виробництві будівельних матеріалів і виробів, в результаті некондиції і браку при виготовленні конструкцій і т.п.

Найбільший обсяг будівельних відходів за сучасними даними становитимуть такі джерела їх утворення в житлово-комунальній сфері, як капітальний ремонт і реконструкція (санація) житлових будинків і споруд, їх знесення (розбирання), реконструкція, технічне переоснащення та будівельно-ліквідаціонний цикл виробничих об'єктів.

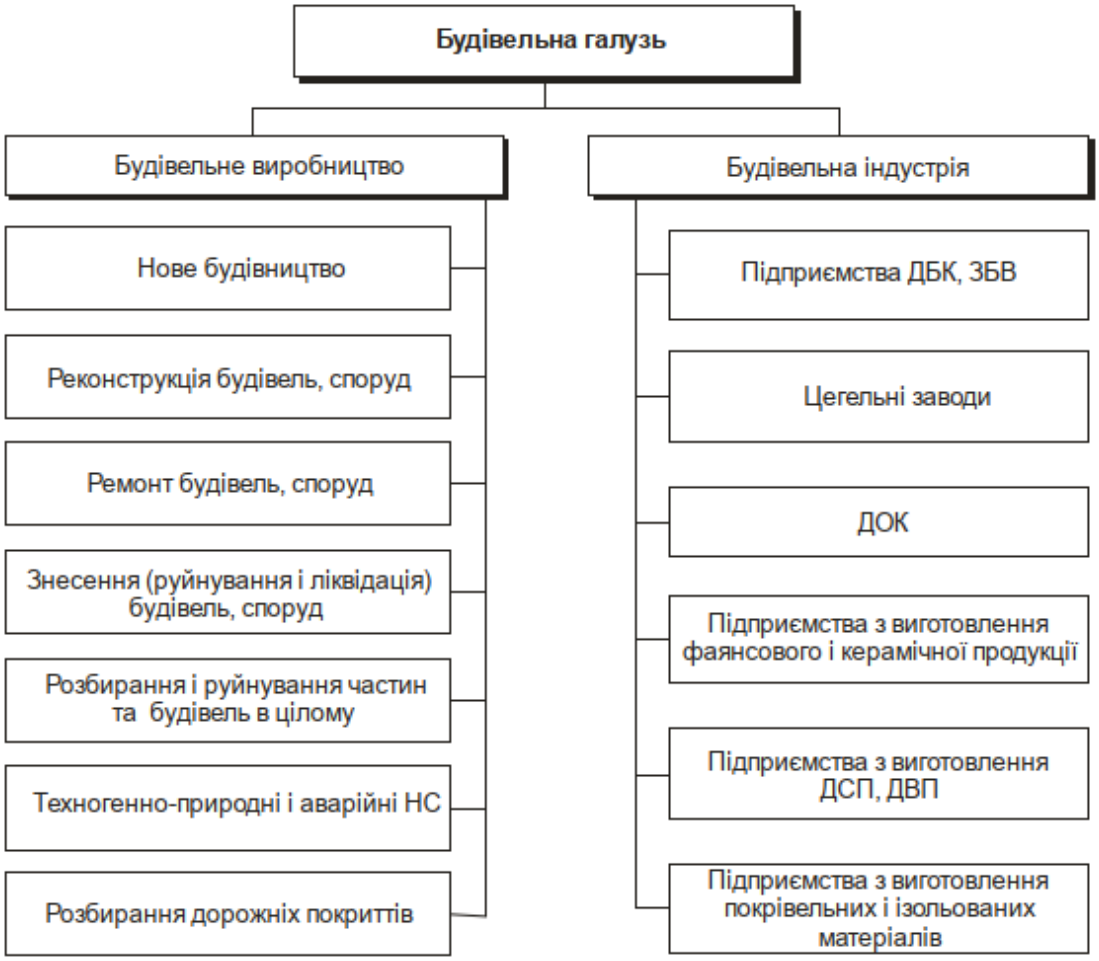
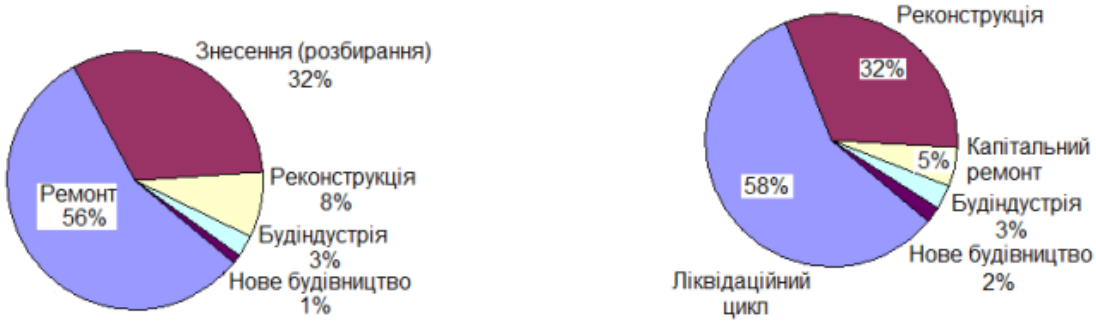


Рисунок 3.3 - Основні джерела утворення будівельних відходів (вітчизняна практика)



а) б)

Рисунок 3.4 - Спрощена структура утворення будівельних відходів: а) житлових будинків першого покоління типових проектів; б) промислових будівель і споруд з з/б конструкцій міжгалузевих уніфікованих типових секцій (УТС) і уніфікованих типових прольотів (УТП).

Розрахунки показують, що в найближчі роки тенденція до скорочення життєвого циклу об'єктів промислового і цивільного будівництва залишиться за рахунок постійних технологічних і нормативних ризиків функціонування виробництв, викликаних відсутністю планово-попереджувальних ремонтів, відмовах штатних ситуацій технічних систем, які інтенсивно посилюються (до 6-10%), природних, техногенних і антропогенних впливів, прискорення фізичного і морального зносу залишкового ресурсу конструкцій будівель і споруд, також за рахунок впливів, що перевищують потенціал стійкості геотехнічної і геоекологічної безпеки компонентів природного середовища і скорочення життєздатності (рентабельності) П-ОБ [6,11].

Регіональна концепція прогнозування реноваційно-експлуатаційного циклу базових галузей гірничо-металургійного, нафтохімічного, енергетичного, житлово-комунального і будівельних комплексів а також досвід минулих років індустріального періоду розвитку дозволяють припустити, що сучасні біфуркації (роздвоєння, розгалуження) економіки України, негативні умови і обставини сучасного глобального фінансово-економічного кризового стану привели до ситуації прискореного активного закриття, виведення з експлуатації і ліквідації основних фондів. Що викликає необхідність організації в складі життєвого циклу ІБД нової галузі інвестиційно-будівельної діяльності, вбудованої в структури будівельного виробництва і підприємств системи будіндустрії, по ліквідації старих будівель і споруд. У комплекс вирішуваних завдань галузі будуть входити: розбирання, руйнування, знесення будівельних об'єктів, переробка будівельних відходів і вторинне їх використання. За приблизними підрахунками величина будівельних відходів може скласти до 15-20 млн.т. на рік. При цьому в класифікаційних ознаках будівельних відходів (табл. 1.) бетонний (залізобетонний) лом і бій цегли досягнуто 75-80% від загального обсягу будівельних відходів ліквідаційного циклу будівель і споруд.

Таблиця 3.1 - Класифікаційні ознаки будівельних відходів.

№ п.п.	Номенклатура будівельних відходів	Джерела утворення						Характеристика стану				Оцінка якості і власти-востей		Технологія утилізації			
		знесення	розбирання	ремонт	реконструкція	нове будівництво	будіндустрія	розсипний	кусковий	лістовий	цілісний	полна втрата	часткова	механічний	енергетичний	хімічний	поховання
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18
1	Відходи бетону	+	+	+	+	+	+	+	+		+	+	+	+			
2	Відколи асфальту	+		+	+				+			+		+	+		
3	Відходи керамзитобетону	+	+	+	+		+		+		+	+	+	+			
4	Відходи деревини	+	+	+	+	+	+	+	+				+	+	+	+	+
5	Брухт чорних металів	+	+	+	+	+	+			+			+		+		
6	Відходи руберойду	+	+	+	+	+			+				+	+	+	+	+
7	Відходи бітуму	+	+	+	+	+		+	+				+	+		+	
8	Мінвата використана	+	+	+	+	+			+			+				+	
9	Відходи лінолеуму	+	+	+	+	+			+	+			+	+	+	+	+
10	Асбошифер	+	+	+	+	+			+	+	+	+	+	+			
11	Оргаліт, макулатура	+	+	+	+	+	+		+	+		+	+	+		+	+
12	Склобій	+	+	+	+	+			+	+	+	+	+	+	+		
13	Санфаянс використаний	+	+	+	+				+		+	+	+	+		+	
14	Бій цегли	+	+	+	+	+	+		+		+	+	+	+			
15	Розчин відпрацьований			+	+	+			+			+		+			
16	Відходи лакофарбові	+	+	+	+	+			+	+		+				+	+
17	Шлаки, зола, азбест	+	+	+	+	+		+	+			+		+			
18	Керамічна плитка	+	+	+	+	+			+			+		+			
19	Тара паперова забруднена	+	+	+	+	+	+				тара	+		+		+	+
20	Тара металева використана	+	+	+	+	+					тара		+		+		
21	Засмічений грунт	+	+	+	+	+		+	+			+					+

Така ситуація вже зараз стає типовою для підприємств, будівель, споруд індустріально розвинених, і перш за все містоутворюючих регіонів України. Що зажадає: - обґрунтувань, вироблення концепції та теоретичних основ; -дослідження проблеми індустріальної переробки будівельних відходів; - розробки методології створення єдиної ліквідаційно-функціональної системи розбирання, руйнування і знесення, організації та управління будівельними відходами; - вибору та обґрунтування технологій і обладнання ліквідаційного циклу і переробки різної номенклатури відходів; - економічних обґрунтувань доцільності переробки тих чи інших відходів для вторинного використання; -розгляду принципових схем

сполучень обсягів переробки відходів і їх захоронення; - виконання обґрунтувань і розрахунків для організації стаціонарних і пересувних переробних підприємств і установок для будівельних організацій постачальників будівельних відходів; - розкриття перспектив розвитку нової підгалузі будіндустрії, гармонізованої з нормативною базою країн Євросоюзу з переробки будівельних відходів з урахуванням вітчизняних і зарубіжних досягнень і досвіду.

При зазначеної динаміці промислові, цивільні будівельні об'єкти які виводяться з експлуатації та підлягають ліквідації після закінчення їхнього фізичного або морального терміну чи інших умов, і викликаного цим зростання будівельних відходів, існуючі в Україні полігони їх поховання, вичерпають себе через 2,5 - 3,5 років. Крім того, традиційна для інвестиційно-будівельного комплексу України не нормована технологія ліквідаційного циклу і пов'язана з нею необхідність переробки та захоронення відходів, негативно позначатиметься на екології навколишнього середовища і призведе не до повернення вторинних ресурсів в екосистему, і збереженню сировинних баз на величину отриманих матеріалів і зниження навантаження на навколишнє середовище, а до невиправданих втрат земельних територій і сировинних ресурсів, економічних втрат для будівельних організацій - постачальників будівельних відходів та вторинних ресурсів і переробних підприємств будіндустрії.

Наприклад, однією з істотних причин відмови від знесення старих «п'ятиповерхівок» у м. Київ стала проблема утилізації та переробки будівельних відходів одержуваних від розбирання, руйнування і знесення ліквідованих будівель.

В середньому на 1 м2 житла, що зноситься доводиться 1 м3 будівельних відходів, а переробка і рентабельне використання їх як вторинних ресурсів в значних обсягах не організована ні в одному з регіонів України.

У той же час, результати виконаних аналітичних досліджень і аналіз інформаційних узагальнень багаторічного прогресивного досвіду в еволюції перетворень технології знесення, підприємств і створення технологічних комплексів по індустрії переробки будівельних відходів за кордоном, і особливо, в США, Канаді, Німеччині, Франції, Швеції, Англії, Японії та ін. країнах, а в останні 15 років,

в яких наводяться основні результати науково-дослідних і проектних х робіт [5,6], де все це забезпечує позитивну мотивацію і аргументовану підхід до постановки та вирішення цієї складної проблеми для України.

У проектах і програмах регіонального розвитку та будівництва вітчизняної економіки ще не приділяється настільки необхідної уваги значущості наукового обґрунтування, формування та практичної реалізації системи розбирання, руйнування і знесення будівельних об'єктів і переробки будівельних відходів та будівельної рекультивації порушених земель, й перш за все - концептуально-методичним дослідженням і перспективному аналізу виявлення джерел утворення та організаційної структури підприємств системи управління будівельними відходами, оцінки та вибору методів енергоефективної технології та обладнання з переробки будівельних відходів, насамперед бетонного і залізобетонного брухту, бітумовмісних покрівельних та відходів деревних і полімерних матеріалів, рентабельної сфери отримання та обґрунтованого використання вторинних будівельних ресурсів.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Виконані інформаційно-аналітичні дослідження прогресивного зарубіжного і вітчизняного досвіду показали, що в країнах з розвиненою ринковою економікою вже в період з середини XX і до початку XXI століття, всі види інвестиційно-будівельної діяльності на етапах життєвого циклу П-ОБ , такі як: реконструкція, капітальний ремонт, ліквідація надзвичайних аварійних ситуацій та НС природно-техногенного характеру, експлуатаційно-ліквідаційні цикли, з процесами що мають до них відношення: знесення, розбирання і руйнування конструкцій, будівель і споруд, переробка відходів будівництва, аварійно-ліквідаційно-відновлювальні роботи поступово інтегрувалися в єдину незалежну галузь замкнутого циклу - індустрію ліквідаційно-функціональної будівельної системи (ліквідаційний цикл ↔ переробка відходів ↔ вторинне використання ресурсів). Так в 1975 році була утворена Європейська Асоціація по руйнуванню (EDA), з цілями: сприяння поширенню та гармонізації розробок і використання діючих міжрегіональних і європейських стандартів і технологічних регламентів з розбирання, руйнування і знесення будівель і споруд та повторного

використання матеріалів відходів ліквідаційного циклу; забезпечення інформаційного обміну за новими технологіями робіт і обладнання переробних підприємств в Європі і в усьому світі; гармонізація європейського законодавства з охорони здоров'я населення, безпеки, екології навколишнього середовища і повторної переробки матеріалів. До складу EDA увійшли понад 20 національних асоціацій по руйнуванню і переробці відходів. У структурі EDA є ряд комісій і комітетів: по стандартизації; по повторній переробці матеріалів; по азбесту; по технологіям знесення і руйнування та ін. При цьому в задачі одного з створених у складі асоціації технічного комітету № 37-ДРК «Рілем» «Руйнування і повторне використання бетону» входять вивчення технології руйнування, вдосконалення технологічного обладнання по переробці некондиційного залізобетону і дослідження техніко-економічних, соціальних і природних аспектів повторного використання бетону і будівельних матеріалів. Проведений в 1985 році в Нідерландах Перший міжнародний симпозіум «Механізми по руйнуванню бетону та залізобетону і повторне використання матеріалів» узагальнив накопичений досвід країн Великобританії, Данії, Нідерландів, Люксембургу, США, Німеччини, Швейцарії, Японії та багато ін. і констатував мотивацію необхідності та інтенсивного розвитку основних її напрямків.

У країнах Євросоюзу щорічно піддаються розбиранню, руйнуванню і повторної переробки близько 250 млн. т. бетонних і залізобетонних конструкцій і споруд, в США - 300 млн. т., в Японії - 60 млн. т. і т.д., а в окремих країнах (Японія , Німеччина, Данія, Нідерланди, Швеція та ін.) практично немає територій для організації характерних для України звалищ або захоронення на полігонах конструкцій і бетонного брухту і цегли, вони працюють переважно (до 65%) на привозному щебені й матеріалах переробки будівельних відходів ліквідованих об'єктів будівництва і виробництва. За період з 1950 року по 1980 рік за кордоном, як результат ліквідаційного циклу будівель і споруд, було перероблено майже 60 млрд. м3 матеріалів будівельних відходів, а з 1981 року по 1990 рік вже понад 50 млрд. м3, тобто близько 5 млрд. м3 на рік.

Тільки за останні п'ятнадцять років обсяг перероблених будівельних відходів ліквідаційного циклу збільшився в 3,0-3,5 рази. Близько 80% відходів становить важкий і легкий залізобетон (приблизно в співвідношенні 4:1), який після переробки (дроблення, сортування, фракціонування) використовується в дорожньому будівництві, монолітному житловому будівництві, при виготовленні невідповідальних з/б конструкцій та ін. Використання відходів в якості вторинних ресурсів ліквідаційного циклу промислових і цивільних будівель і споруд дає високий економічний ефект. Сировина з відходів в 2-2,5 рази дешевше, ніж сировина що спеціально виготовляється. Великий досвід ліквідації будівельних об'єктів, індустрії знесення, переробки та використання будівельних відходів серед країн Євросоюзу накопичений в Німеччині. В даний час на території Німеччини утворюється будівельних відходів понад 40 млн. т./рік, що становить близько 50% загальної кількості будівельних відходів, щорічно піддаються розбиранню, руйнуванню і знесенню від 16 до 19 тисяч будівель, з них половину становлять житлові та виробничі будівлі і споруди (до 2,5% від існуючого обсягу об'єктів). Структура і прогноз використання будівельних відходів в галузях промисловості виконані Європейським об'єднанням в рамках Європейського союзу [11], показує значне щорічне зростання обсягів розбирання, руйнування і знесення об'єктів (на прикладі Німеччини, Франції, Великобританії та ін. країн). Уже найближчим часом за рахунок розвитку галузі будіндустрії знесення, організаційних структур підприємств, розробки і застосування інноваційних технологічних схем, зарубіжних і вітчизняних зразків обладнання вторинної переробки відходів бетону та залізобетону, використання більш сучасного обладнання і поліпшення якості наповнювачів з дробленого бетону планується забезпечити його конкурентоспроможність в порівнянні з природним щебенем. В Україні до 2000 року будівельні відходи практично не утилізували, основна їх маса розподілялася по полігонах. Ситуація докорінно почала змінюватися за останні 10-13 років. У зв'язку з прийняттям законів України «Про відходи» та «Про комплексну реконструкцію кварталів (мікрорайонів) застарілого житлового фонду» [1, 2] . Також визначено правові, економічні, соціальні та організаційні вимоги до проведення комплексної

реконструкції із заміною «нежитлового та застарілого житлового фонду»; започатковано необхідності розробки національної комплексно-цільової програми та програмного рішення чотирьох цільових завдань:

- розробка технічних і організаційно-технологічних рішень по розбиранню, руйнуванню і знесенню житлових будинків першого індустріального покоління;

- розробка енергозберігаючих технологій переробки (утилізації) продуктів розбирання для повторного використання;

- формування стаціонарних і пересувних технологічних комплексів по рентабельній переробці відходів;

- будівельна рекультивація техногенно-порушених земельних ділянок та територій, перераховані

завдання повинні бути забезпечені програмним комплексом НДР і ОКР.

Техніко-економічні розрахунки, фактори високої вартості землі, відсутність інвесторів і інші причини

схилили переважну кількість вчених і фахівців до думки про необхідність знесення аварійно небезпечних і старих житлових і громадських будівель перших масових типових серій. Понад 55 тис. будинків, в яких проживає близько мільйона чоловік, віднесені до категорії ветхих та аварійних. Вторинна забудова на їх місці сучасними багатоповерховими житловими будинками дозволить позитивно вирішити при цьому питання з інвесторами, оскільки одна частина нового житла може передаватися під міське житло колишнім мешканцям «п'ятиповерхівок», а інша частина - піде на ринок нерухомості. Необхідно відзначити, що в цілому досвід останніх десяти років підтвердив соціально-економічну доцільність цього підходу до умов потужних мегаполісів [5]. Чисельні відомості про індустрії переробки матеріалів будівельних відходів промислових об'єктів охоплюють переважно закордонний досвід країн Євросоюзу. Вітчизняна практика дає тільки кілька позитивних прикладів промислової переробки таких відходів. У розвинених зарубіжних країнах, як правило, переробку відходів успішно поєднують з циклом виробництва нерудних будівельних матеріалів за традиційною технологією, з використанням мінеральної сировини, причому виїмкових, транспортне та

переробне обладнання по черзі обслуговує кілька об'єктів, частина з яких є звалищами бетонного і залізобетонного брухту.

Мета і основний зміст роботи. Основною метою вирішення проблеми розвитку реноваційно- (ремонт, реконструкція) ліквідаційного циклу (розбирання, демонтаж, руйнування і знесення будівель) відбитої в реалізації отримання позитивних науково-практичних результатів в області формування і переробки будівельних відходів - є необхідність проведення комплексу досліджень, щодо раціонального використання вторинних ресурсів. Це багатоаспектна проблема включає в себе ряд взаємопов'язаних завдань організаційного, технічного, інноваційно-технологічного, соціально-економічного, екологічного і навчально-освітнього характеру (рис.4). Запропонована робоча гіпотеза проблемної ситуації полягає в тому, що процес поводження з будівельними відходами (основні джерела, утворення яких наведені на рис.4) може розглядатися як складна динамічна система, що складається з ряду підсистем, що знаходяться у взаємному зв'язку один з одним і що представляють єдине ціле - від процесів розбирання і зносу конструкцій, частин і будівель в цілому, збору, сортування, транспортування та переробки відходів до отримання вторинних ресурсів (сировини, матеріалів) та подальшого проведення будівельної рекультивації порушених земель територій [6,11].

Складність структуроутворення і функціонування такої «системи переробки будівельних відходів» (СПБВ) полягає в її багатоаспектності та багатоваріантності рішень, а динамічний характер - в постійній зміні тимчасових, ресурсних і просторових параметрів підсистем тобто Sij □ F j □ФіTi □, де Si-стан j-й підсистеми, Фі -фактор, що впливає j-й підсистеми, Ті - часовий період j-фактора. Крім того, слід враховувати, що для підприємств переробних будівельні відходи R(T), деяка їх частина ΔR(T) може бути відправлена на поховання. [10,11].

Основою вирішення таких завдань можуть служити широкий спектр теоретичних передумов і організаційно-технологічних принципів проектування та різні концепції і аспекти виконаних досліджень використання сировинних ресурсів і будівельних відходів, узагальнено викладених у вітчизняних стандартах і роботах вчених і фахівців зарубіжних країн і України [10-15]. У концептуально- теоретичні

обґрунтування і методологічні аспекти, що включають розробку і управління практичною реалізацією системи ліквідації будівельних об'єктів і переробки будівельних відходів, різних джерел їх утворення та інші етапи проведення комплексних досліджень даної проблеми і навчально-освітнього процесу, найбільш повно вони представлені в структурно-логічної схемою (рис. 5) і можуть бути раціонально використані стосовно до конкретних умов і ключових позиціях соціально-економічного і екологічного механізму, нормативно-правового та організаційнотехнологічного становлення і розвитку ринку вторинних ресурсів, що регламентують відносин суб'єктів і держави в галузі поводження з будівельними відходами на законодавчо-правовому рівні по регіонах та України в цілому.

Запропонований концептуально-методичний підхід [6,11] зумовлює тим самим наступну структурну модель і логічну схему наукового обґрунтування, розробки та практичної реалізації системи переробки будівельних відходів, що складається з основних етапів:

I етап. Формування проблеми збору, сортування, транспортування і переробки будівельних відходів, яка передбачає (на основі аналізу зарубіжного та вітчизняного досвіду) стан, виявлення позитивних тенденцій і визначення шляхи вирішення проблеми.

II етап. Дослідження структури і параметрів ліквідаційного циклу промислово-цивільних будівель і споруд та освіти будівельних відходів в залежності від виду будівельної та ліквідаційної діяльності.

III етап. Вироблення теоретичних положень щодо створення ліквідаційної функціональної системи об'єктів будівництва, і подальшої переробки будівельних відходів, що включають основні принципи, взаємозв'язки між підсистемами і елементами, а також прогноз освіти і потреби у вторинних ресурсах.

IV етап. Оцінка і вибір методів і технологій ліквідаційного циклу будівель і споруд, виробництв і технологій з переробки будівельних відходів для бетонного і залізобетонного брухту, бітум покрівельних відходів, деревних і полімерних відходів і рекомендацій щодо застосування продуктів переробки НЕ кондиційних бетонних, залізобетонних виробів і ін. Вторинних ресурсів .

V етап. Розробка технологічних регламентів і технічних умов на нерудні будівельні матеріали (вторинні сировинні ресурси).

Висновки

У ході проведеного дослідження на тему "Аналіз ефективного використання вторинної сировини для використання у сучасному будівництві" було отримано низку важливих наукових та практичних результатів, які підтверджують доцільність і перспективність використання вторинної сировини у будівельній галузі.

Отримані результати дослідження дозволяють стверджувати, що використання економіко-математичного моделювання процесу управління в межах системи комплексного управління C&DW, дозволить:

- визначати оптимальну вартість загального обсягу ресурсів, необхідних для управління потоками відходів будівництва, цільова функція (2.14) та її розширена варіація в ході дослідження (2.17), яка відповідає ключовій меті процесу управління C&DW – наближення до мінімальної вартості витрачених ресурсів (в тому числі інвестицій);
- прогнозувати та планувати обсяги утворення C&DW, що визначається цільовою функцією (2.15), з метою обґрунтованості усіх показників роботи системи (від ефективності кожного стейхолдера системи, до прогнозування необхідних обсягів витрат ресурсів на переробку C&DW, а також планування і прогнозування обсягів готової продукції із вторинної сировини);
- об’єктивно визначати коефіцієнт повторного використання C&DW, розраховується за формулою (2.16), враховуючи усі можливі варіанти такого використання, в тому числі локальну переробку, відходи від переробки (остаточні). Це забезпечить найбільш повне охоплення усіх потоків C&DW та надасть можливість оцінити невикористаний потенціал;
- реалізувати алгоритм побудови та розрахунок математичної моделі, що передбачає оцінку та врахування інформаційного ризику в процесі управління C&DW, в межах системи СКУПВ (рис.2.4). Також інтегрувати логістичні принципи управління, що продемонстровано на прикладі вирішення транспортної задачі, з урахуванням допустимого рівня інформаційного ризику (IRa), узгодженого із

максимально допустимим, з точки зору ефективності, рівнем максимального збитку (Dmax);

- оцінювати в межах системи управління C&DW, збиток оточуючому середовищу, цільова функція (2.18) якого повинна наближатися до мінімуму, що також є метою СКУПВ.
- забезпечити одночасну оптимізацію витрат на процес управління C&DW та мінімізувати розмір екологічного збитку від такого управління, що підтверджується цільовими функціями (2.19, 2.20) та обмеженнями (2.17-2.31).

Вирішення цих задач повністю відповідає поставленим меті, завданням дослідження та здатне забезпечити практичну доцільність та економіку-екологічну ефективність процесу управління C&DW в будівельній галузі.

Економічна ефективність: Використання вторинної сировини дозволяє суттєво знизити витрати на придбання будівельних матеріалів, а також зменшити вартість утилізації відходів. Це сприяє підвищенню економічної рентабельності будівельних проектів, особливо у великих масштабах.

Екологічні переваги: Застосування вторинної сировини у будівництві сприяє зменшенню негативного впливу на довкілля шляхом зниження обсягів використання природних ресурсів та мінімізації утворення будівельних відходів. Це дозволяє реалізувати принципи сталого розвитку та екологічної стійкості у будівельній індустрії.

Поліпшення властивостей будівельних матеріалів: Дослідження показали, що вторинна сировина, зокрема перероблені бетон, скло та пластик, може бути використана для покращення певних характеристик будівельних матеріалів, таких як теплоізоляція, міцність та довговічність. Це відкриває нові можливості для розробки інноваційних матеріалів, які поєднують високу ефективність з екологічною безпечністю.

Технологічні аспекти: Проведений аналіз сучасних технологій показав, що використання вторинної сировини у будівництві потребує певних адаптацій технологічних процесів. Важливим є впровадження технологій, які дозволяють інтегрувати вторинні матеріали без втрати якості кінцевої продукції.

Законодавча база та стандарти: Для широкомасштабного впровадження використання вторинної сировини необхідно вдосконалити законодавчу базу та розробити нові стандарти, які б регулювали процеси переробки та застосування вторинних матеріалів у будівництві. Це сприятиме підвищенню довіри до таких матеріалів з боку будівельників та замовників.

Рекомендації для впровадження: На основі проведеного аналізу розроблені рекомендації щодо впровадження вторинної сировини у будівельні процеси. Зокрема, важливо здійснювати постійний моніторинг якості вторинних матеріалів, удосконалювати методики їх використання та проводити навчання фахівців з питань роботи з такими матеріалами.

Таким чином, результати дослідження підтверджують, що використання вторинної сировини у сучасному будівництві є перспективним напрямком, який не лише знижує витрати та підвищує екологічну безпеку, але й сприяє розвитку інноваційних технологій та матеріалів. Впровадження результатів цього дослідження у практику дозволить будівельним компаніям ефективніше використовувати ресурси, мінімізуючи при цьому вплив на навколишнє середовище та підтримуючи високі стандарти якості.

Перелік використаних джерел

1. Уваров П. Є., Татарченко Г. О., Шпарбер М. Є.. Сучасні проблеми рециклінгу вторинних будівельних ресурсів. *Наукові вісті Далівського університету*. 2019. № 16. [URL: http://nbuv.gov.ua/UJRN/Nvdu_2019_16_22]
2. Бартошник А., Чорноус Н. Рециклінг будівельних відходів. *Збірник тез доповідей XIII Міжнародної студентської наукової конференції „Молодь як стратегічний потенціал розбудови національної економіки”*. Луцьк: студія поліграфічних послуг та дизайну «LUCKY», 2020. 270 с.
3. Кропівний В. М., Медведева О.В., Кропівна А.В., Кузик О.В. Утилізація та рекуперація відходів: навчальний посібник / загальна редакція В.М. Кропівного. Кропивницький: ЦНТУ, Електронне видання, 2020. 440с.
4. Bulayev V.G., Gushchina N.V., Kuvshinov D.Yu. Utilizatsiya stroitelnykh otkhodov. *Disposal of construction waste. Upravleniye tekhnosferoy*. 2020, no. 2, pp. 259–270.
5. Chiveralls K, Palmer J, Zillante G, Zuo J, Wilson L, Pullen S. (2012). Reconsidering sustainable building and design: lessons from China, Germany and Australia. Adelaide, SA: International Society for Ecological Economics, University of South Australia.
6. Chen Z., Li H., Wong C. T. An application of bar-code system for reducing construction wastes. Automation in Construction. 2002. Vol. 11. Iss. 5. P. 521–533. DOI: https://doi.org/10.1016/s0926-5805(01)00063-2
7. Cheng J.C. and Ma L.Y. (2013). A BIM-based system for demolition and renovation waste estimation and planning, Waste Management, 33, 1539–1551.
8. Galvez-Martos, J.-L., Styles D., Schoenberger H. & Zeschmar-Lahl, B. (2018). Construction and demolition waste best management practice in Europe. Resources, Conservation and Recycling, 166–178.
9. Gangolells M., Casals, M., Forcada, N. & Macarulla M. (2014). Analysis of the implementation of effective waste management practices in construction projects and sites. Resources, conservation and recycling, 99–111.

10. Gangolells, M., Casals, M., Forcada, N., Macarulla, M. (2014). Analysis of the implementation of effective waste management practices in construction projects and sites. Resources, Conservation and Recycling, 93, 99–111.

11. Huang, X.; Xu, X. (2011). Legal regulation perspective of eco-efficiency construction waste reduction and utilization. Urban Dev. Stud. 9, 90–94

12. Hauschild M., Barlaz M. A. LCA in waste management: introduction to principle and method. *Solid Waste Technology & Management*. 2011. Vol. 1–2. P. 113–136.

13. Hu, Y. P., You, X. Y., Wang, L., & Liu, H. C. (2019). An integrated approach for failure mode and effect analysis based on uncertain linguistic GRA–TOPSIS method. Soft Computing, 23(18), 8801–8814.

14. Iryna Arutiunian, Maryna Poltavets, Maryna Achacha, Olena Bondar, Fedir Pavlov, Oleksandr Gerasymenko, Tetiana Kulinich. Effective Concepts of Harmonious Management of Production Systems. *International Journal of Computer Science and Network Security*. Vol. 21 No. 3. March 2021. pp. 141-144. URL: https://doi.org/10.22937/IJCSNS.2021.21.3.19

15. Kornylo, I. M., & Gnyp, O. P. (2020). Господарська діяльність будівельної організації та шляхи її удосконалення. Publishing House “Baltija Publishing”.

16. Keller T., Tergan S. O. Visualizing knowledge and information : an introduction. *Knowledge and Information Visualization*. 2005. Vol. 3426. P. 1–23. DOI: https://doi.org/10.1007/11510154_1

17. Kumbhar, S., Gupta, A., & Desai, D. Recycling and reuse of construction and demolition waste for sustainable development. *OIDA International Journal of Sustainable Development.* 2013. № 6(7), 83-92.

18. Kisielewski P. (2016). The system of IT support for logistics in the rail transport. Archives of Transport, 40(4), 39–50.

19. Lagüela S., Díaz-Vilariño L., Martínez J., Armesto J. Automatic thermographic and RGB texture of as-built BIM for energy rehabilitation purposes. *Automation in*

Construction. 2013. Vol. 31. P. 230–240. DOI: https://doi.org/10.1016/j.autcon.2012.12.013

20. Lu, W., and Yuan, H. (2013). Investigating waste reduction potential in the upstream processes of offshore prefabrication construction. Renewable and Sustainable Energy Reviews, 921 28, 804–811.

21. Lu, W., Yuan, H. A. (2011). Framework for Understanding Waste Management Studies in Construction. Waste Manag, 31, 1252–1260. [CrossRef] [PubMed].

22. Li H., Chen Z., Yong L., Kong S. C. W. Application of integrated GPS and GIS technology for reducing con-struction waste and improving construction efficiency. *Automation in Construction*. 2005. Vol. 14. Iss. 3. P. 323–331. DOI: https://doi.org/10.1016/j.autcon.2004.08.007

23. Li RYM, Du H. (2015). Sustainable construction waste management in Australia: a motivation perspective. In Construction Safety and Waste Management. Springer International Publishing. https://doi.org 10.1007/978-3-319-12430-8

24. Marrero, M., Puerto, M., Camacho, C.R., Guerrero, A.F., and Guzmán, J.S. (2017). Assessing the economic impact and ecological footprint of construction and demolition waste during the urbanization of rural land. Resour. Conserv. Recy., 160–174.

25. Melo, A.B.D., Goncalves, A.F., and Martins, I.M. (2011). Construction and demolition waste generation and management in Lisbon (Portugal). Resour. Conserv. Recy, 55(12), 1252–1264.

26. Markandeya Raju Ponnada and Kameswari P. (2015), “Construction and Demolition Waste Management – A Review”, International Journal of Advanced Science and Technology, 84, 19–46.

27. Nussholz, J.L.K., Rasmussen, F.N., Milios, L. (2019) Circular building materials: Carbon saving potential and the role of business model innovation and public policy. Resour. Conserv. Recycl, 141, 308–316. [CrossRef]

28. Nema, K.M., Gupta, S.K. (1999). Optimization of regional hazardous waste management systems: an improved formulation. Waste Manage, 19, 441–451.

29. Oyedele, L. O., Ajayi, S. O., and Kadiri, K. O. (2014). Use of recycled products in UK construction industry: An empirical investigation into critical impediments and strategies 943 for improvement. Resources, Conservation and Recycling, 23–31.

30. Park, J.; Tucker, R. (2017) Overcoming barriers to the reuse of construction waste material in Australia: A review of the literature. Int. J. Constr. Manag, 17, 228–237. [CrossRef]

31. Puskás A., Corbu O., Szilágyi H., Moga L. M. Construction waste disposal practices: The recycling and recovery of waste. *WIT Transactions on Ecology and the Environment*. 2014. Vol. 191. P. 1313–1321. DOI: https://doi.org/10.2495/sc141102

32. Pradhananga N., Teizer J. Automatic spatio-temporal analysis of construction site equipment operations using GPS data. *Automation in Construction*. 2013. Vol. 29. P. 107–122. DOI: https://doi.org/10.1016/j.autcon.2012.09.004

33. Qiao L., Liu D., Yuan X., Wang Q., Ma Q. (2020). Generation and prediction of construction and demolition waste using exponential smoothing method: A case study of Shandong Province, China. Sustainability [en línea], 12(12). ISSN 20711050. DOI 10.3390/su12125094. Disponible en: https://www.mdpi.com/2071-1050/12/12/5094/htm.

34. Shen, L. Y., & Tam, V. W. (2002). Implementation of environmental management in the Hong Kong construction industry. International Journal of Project Management, 20(7), 535–543.

35. States in 2013, by material (in million tons). https://www.statista.com/statistics/504120/construction-and-demolition-waste-generation in-the-us-by-material /, assessed on April 2, 2017.

36. Saez, P.V., Merino, M.D.R., González, A.S.A., and Amores, C.P. (2013). Best practice measures assessment for construction and demolition waste management in building constructions. Resour. Conserv. Recy, 75, 52–62.

37. Schulz F., Wagner D., & Weihe K. (2000). Dijkstra's algorithm on-line: An empirical case study from public railroad transport. Journal of Experimental Algorithmics (JEA), 5, 12.

38. Tam, V.W.-Y., Lu W. (2016). Construction waste management profiles, practices, and performance: A cross-jurisdictional analysis in four countries. Sustainability, 8, 190. [CrossRef]

39. Tatomir, M., Aurora, J.I.E., Truta, C., Stanescu, I., Doru, I. (2019). Elaboration of Technical and Economic Documentation for Implementation in Hunedoara County of Integrated Waste Management from Construction and Demolition Activities Generated by the County'S Population. Beneficiary: Inter-Community Development Association "Integrated Waste Management System in Hunedoara county". Available online: http://wwwjhunedoara.ro/documente/hotarari/2016/HOTARARI%202016/HCJH%20065%20-%20ANEXA.pdf (accessed on 11 January 2019).

40. Umar, U.A., Shafiq, N., Malakahmad, A.; Nuruddin, M.F., Khamidi, M.F. (2017). A review of the adoption of novel techniques in construction waste management and policy. J. Mater. Cycles Waste Manag, 19. 1361–1373. [CrossRef]

41. Vieira, C.S., Pereira, P.M. (2015). Use of recycled construction and demolition materials in geotechnical applications: A review. Resour. Conserv. Recycl, 103, 192–204. [CrossRef]

42. Wiedenhofer D., Steinberger JK, Eisenmenger N., Haas W. (2015) Maintenance and expansion: Modeling material stocks and flows for residential buildings and transportation networks in the EU25, 19(4), 538–551.

43. Winstead, V. J. (2005). Methods of fault detection in stochastic delay-differential linear systems. The University of Wisconsin-Madison.

44. Yeheyis, M., Hewage, K., Alam, M. S., Eskicioglu, C., & Sadiq, R., (2013). An overview of construction and demolition waste management in Canada: a lifecycle analysis approach to sustainability. Clean Technologies and Environmental Policy, 15(1), 81–91.

45. Yuan, H.P., and Shen, L.Y. (2011). Trend of the research on construction and demolition waste management. Waste Management, 31(4), 670–679.

46. Арутюнян І.А., Шуваєв А.А. (2020). Екологічного-економічна доцільність комплексного управління потоками відходів в будівельній галузі. Мости та тунелі: теорія, дослідження, практика, 18, 9–17.

47. Арутюнян І.А., Шуваєв А.А. Актуальність створення комплексної системи використання відходів будівництва, як вторинних ресурсів (матеріалів). *Європейський вектор модернізації інженерної та економіко-управлінської освіти в умовах сталого розвитку промислового регіону.* Запоріжжя : ЗНУ, 2021. С.162-164.

48. Арутюнян І. А., Шуваєв А. А. Екологічно-економічна доцільність комплексного управління потоками відходів в будівельній галузі. *Мости та тунелі: теорія, дослідження, практика.* 2020. №18. С. 9–17. DOI: https://doi.org/10.15802/bttrp2020/217692

49. Арутюнян І. А., Шуваєв А.А. Ефективність комплексного управління потоками вторинних ресурсів будівельної галузі. *Металознавство та термічна обробка металів.* 2021. № 2(93). С. 15–25. DOI: https:// doi.org/10.30838/J.PMHTM.2413.270421.15.737

50. Алексанин А.В., Сборщиков С.Б. (2013) Управление строительными отходами на основе создания специализированных логистических центров. Промышленное и гражданское строительство, 2. 66–68.

51. Алексанин, А. В. (2015). Формирование логистических структур по обращению с отходами строительства. Естественные и технические науки, 11. 623–625.

52. Дворкін Л.Й. Мироненко А.В. Будівельні матеріали та вироби із застосуванням промислових відходів : навч. посіб. Рівне : НУВГП, 2019. 298 с.

53. ДБН В.1.2-14-2009. Система забезпечення надійності та безпеки будівельних об'єктів. Загальні принципи забезпечення надійності та конструктивної безпеки будівель, споруд, будівельних конструкцій та основ. [чинний від 01-12-2009] Київ: Мінрегіонбуд України, 2012. 94 с.