

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
Національний університет «Запорізька політехніка»

Факультет будівництва, архітектури та дизайну

(повне найменування інституту, назва факультету)

Кафедра будівельного виробництва та управління
проектами

(повне найменування кафедри)

Пояснювальна записка

до дипломного проекту (роботи)

магістра

(ступінь вищої освіти)

на ТЕМУ РОЗРОБКА КОНЦЕПЦІЇ ОПТИМІЗАЦІЙНИХ РІШЕНЬ ДЛЯ
ОРГАНІЗАЦІЙНО-ТЕХНОЛОГІЧНИХ РОБІТ З ДЕМОНТАЖУ БУДІВЕЛЬ
ТА СПОРУД ТА ВТОРИННОГО ВИКОРИСТАННЯ БУДІВЕЛЬНИХ
МАТЕРІАЛІВ

DEVELOPMENT OF THE CONCEPT OF OPTIMIZATION SOLUTIONS
FOR ORGANIZATIONAL AND TECHNOLOGICAL WORK ON THE
DISMANTLING OF BUILDINGS AND STRUCTURES AND THE
SECONDARY USE OF BUILDING MATERIALS

Виконав: студент(ка) 2 курсу, групи БАДз-113м

Спеціальності 192 Будівництво та
цивільна інженерія

(код і найменування спеціальності)

Освітня програма (спеціалізація)

Промислове та цивільне будівництво

Бушмелева С.І.

(прізвище та ініціали)

Керівник Кулік М.В.

(прізвище та ініціали)

Рецензент

(прізвище та ініціали)

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
Національний університет «Запорізька політехніка»
 (повне найменування закладу вищої освіти)

Інститут, факультет ФБАД
 Кафедра будівельного виробництва та управління проектами
 Ступінь вищої освіти другий (магістерський)
 Спеціальність 192 Будівництво та цивільна інженерія
 (код і найменування)
 Освітня програма (спеціалізація) Промислове та цивільне будівництво
 (назва освітньої програми (спеціалізації))

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри БВУП, к.т.н, доц.
Назаренко О.М.

“___” _____ 20__ року

З А В Д А Н Н Я

НА ДИПЛОМНИЙ ПРОЄКТ (РОБОТУ) СТУДЕНТА(КИ)

Бушмєлєва Світлана Іванівна

(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема проєкту (роботи) Розробка концепції оптимізаційних рішень для організаційно-технологічних робіт з демонтажу будівель та споруд та вторинного використання будівельних матеріалів. Development of the concept of optimization solutions for organizational and technological work on the dismantling of buildings and structures and the secondary use of building materials

керівник проєкту (роботи) Кулік Михайло Валерійович, к.т.н., доцент

(прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання)

затверджені наказом закладу вищої освіти від “___” _____ 2024 року №___

2. Строк подання студентом проєкту (роботи) 12 грудня 2024 року

3. Вихідні дані до проєкту (роботи) рекомендована література, аналітичне завдання, вихідні дані згідно тематик

4. Зміст розрахунково-пояснювальної записки (перелік питань, які потрібно розробити) 1. Аналіз технологій та методологічних підходів з демонтажу та вторинного використання будівельних матеріалів 2. Теоретизовані засади із створення оптимізаційних рішень для демонтажу та вторинного використання будівельних матеріалів. 3. Теоретичні засади рециклінгу будівельних матеріалів та продуктів зносу

5. Перелік графічного матеріалу (з точним зазначенням обов'язкових креслень) Слайди презентації, графічний матеріал 9-10 аркушів А1 роздруковані на А3 з титульним аркушем та зброшуровані

6. Консультанти розділів проєкту (роботи)

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	прийняв виконане завдання
1. Аналіз технологій та методологічних підходів з демонтажу та вторинного використання будівельних матеріалів.	Кулік М.В. доцент		
2. Теоретизовані засади із створення оптимізаційних рішень для демонтажу та вторинного використання будівельних матеріалів.	Кулік М.В. доцент		
3. Теоретичні засади рециклінгу будівельних матеріалів та продуктів зносу.	Кулік М.В. доцент		
Нормоконтролер	Бобраков А.А., доцент		

7. Дата видачі завдання “ 12 ” жовтня 2024 року.

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів дипломного проєкту (роботи)	Строк виконання етапів проєкту (роботи)	Примітка
1	Аналіз технологій та методологічних підходів з демонтажу та вторинного використання будівельних матеріалів.	1-5 тиждень	Розділ 1
2	Теоретизовані засади із створення оптимізаційних рішень для демонтажу та вторинного використання будівельних матеріалів.	6–9 тижні	Розділ 2
6	Теоретичні засади рециклінгу будівельних матеріалів та продуктів зносу	10-12 тиждень	Розділ 3
7	Оформлення графічної частини	13 тиждень	
8	Нормоконтроль та рецензування	14–15 тижні	
9	Захист роботи.	16 тиждень	

Студент(ка)

_____ Бушмелєва С.І.
(підпис) (прізвище та ініціали)

Керівник проєкту (роботи)

_____ Кулік М.В.
(підпис) (прізвище та ініціали)

РЕФЕРАТ

Структура та обсяг роботи. До складу кваліфікаційної роботи входять вступ, дослідницькі розділи, висновки, перелік використаних джерел. Кваліфікаційна робота є результатом аналізу та теоретизування розробки оптимізаційних рішень, із можливості ведення демонтажних робіт та рециклінгу будівельних матеріалів на базі автоматизованих систем, які повинні зменшити загальні трудовитрати на виконання робіт.

Методи дослідження. У процесі дослідження були застосовані такі методи: аналіз (поділ цілісного об'єкта на окремі частини для їх глибокого вивчення), синтез (об'єднання раніше виділених частин у єдине ціле), узагальнення (виявлення спільних властивостей та характеристик об'єктів), класифікація (групування об'єктів за певними важливими ознаками, що відповідають меті дослідження), а також моделювання.

Предмет дослідження. Організація та технології виконання робіт з демонтажу будівель і споруд, а також переробка та повторне використання вторинних будівельних матеріалів.

Актуальність теми. Тема демонтажу будівель та переробки вторинних матеріалів є надзвичайно актуальною, оскільки відповідає сучасним викликам, пов'язаним із забезпеченням сталого розвитку, екологічної безпеки та ефективності використання ресурсів. Її дослідження сприятиме вирішенню як локальних, так і глобальних проблем у будівельній галузі.

Актуальність дослідження обумовлена низкою важливих факторів, які мають як екологічне, так і економічне значення:

1. Екологічні аспекти. Зменшення обсягу відходів: Демонтаж будівель та споруд супроводжується утворенням значних обсягів будівельних відходів. Розробка ефективних технологій переробки сприяє зменшенню їх накопичення на полігонах, що є актуальним для збереження довкілля.

Рациональне використання ресурсів: Переробка будівельних матеріалів дозволяє повторно використовувати ресурси, скорочуючи потребу у видобутку природних матеріалів (пісок, гравій, цемент тощо).

Зниження викидів CO₂: Використання вторинних матеріалів у будівництві зменшує енергетичні витрати, пов'язані з виробництвом нових матеріалів, і, відповідно, скорочує викиди парникових газів.

2. Економічні аспекти. Розвиток ринку вторинних матеріалів: Систематична переробка та реалізація перероблених матеріалів створює нові можливості для бізнесу, стимулюючи розвиток будівельної галузі.

Ефективне управління будівельними проєктами: Оптимальна організація демонтажу дозволяє знизити витрати часу та ресурсів, покращуючи ефективність будівельного процесу.

3. Соціальні аспекти. Створення робочих місць: Переробка будівельних матеріалів передбачає розвиток спеціалізованих підприємств і створення нових робочих місць.

Урбанізація та оновлення інфраструктури: Демонтаж старих будівель і споруд є невід'ємною частиною процесу оновлення міської інфраструктури, що сприяє підвищенню комфорту життя населення.

4. Інноваційні технології. Впровадження нових підходів до демонтажу (селективний демонтаж, автоматизовані технології) сприяє підвищенню безпеки робіт та ефективності використання матеріалів.

Розвиток технологій глибокої переробки дозволяє отримувати високоякісну вторинну сировину для виробництва бетону, асфальту та інших будівельних матеріалів.

5. Регуляторні та міжнародні зобов'язання. В багатьох країнах, включаючи Україну, актуальним є впровадження вимог до управління будівельними відходами, відповідно до міжнародних стандартів (наприклад, Директива ЄС про відходи).

Виконання цілей сталого розвитку (ЦСР), зокрема ЦСР 12 "Відповідальне споживання та виробництво", вимагає впровадження технологій повторного використання матеріалів.

Ключові слова: рециклінг будівельних матеріалів, автоматизація, демонтаж.

ABSTRACT

Structure and scope of work. The qualification work includes an introduction, research sections, conclusions, and a list of used sources. The qualification work is the result of the analysis and theorization of the development of optimization solutions, with the possibility of conducting dismantling works and recycling of building materials based on automated systems, which should reduce the total labor costs for the performance of works.

Research methods. The following methods were used in the research process: analysis (dividing a complete object into separate parts for their in-depth study), synthesis (combining previously selected parts into a single whole), generalization (identification of common properties and characteristics of objects), classification (grouping of objects according to certain important characteristics corresponding to the purpose of the study), as well as modeling.

Subject of study. Organization and technologies for dismantling buildings and structures, as well as recycling and reuse of secondary building materials.

Actuality of theme. The topic of dismantling buildings and processing secondary materials is extremely relevant, as it meets modern challenges related to ensuring sustainable development, environmental safety and resource efficiency. Her research will contribute to solving both local and global problems in the construction industry.

The relevance of the research is determined by a number of important factors that have both ecological and economic significance:

1. Environmental aspects. Reducing the volume of waste: Dismantling of buildings and structures is accompanied by the generation of significant volumes of construction waste. The development of effective recycling technologies helps to reduce their accumulation in landfills, which is relevant for environmental protection.

Rational use of resources: Recycling of building materials allows for the reuse of resources, reducing the need to extract natural materials (sand, gravel, cement, etc.).

Reduced CO₂ emissions: The use of recycled materials in construction reduces the energy costs associated with the production of new materials and, accordingly, reduces greenhouse gas emissions.

2. Economic aspects. Development of the secondary materials market: Systematic processing and sale of recycled materials creates new opportunities for business, stimulating the development of the construction industry.

Effective management of construction projects: Optimum organization of dismantling allows to reduce the costs of time and resources, improving the efficiency of the construction process.

3. Social aspects. Creation of jobs: Processing of construction materials involves the development of specialized enterprises and the creation of new jobs.

Urbanization and renewal of infrastructure: Dismantling of old buildings and structures is an integral part of the process of renewal of urban infrastructure, which contributes to increasing the comfort of life of the population.

4. Innovative technologies. The introduction of new approaches to dismantling (selective dismantling, automated technologies) contributes to increasing the safety of work and the efficiency of the use of materials.

The development of deep processing technologies makes it possible to obtain high-quality secondary raw materials for the production of concrete, asphalt and other building materials.

5. Regulatory and international obligations. In many countries, including Ukraine, the implementation of construction waste management requirements in accordance with international standards (for example, the EU Waste Directive) is relevant.

Implementation of the Sustainable Development Goals (SDGs), in particular SDG 12 "Responsible consumption and production", requires the implementation of materials reuse technologies.

Key words: recycling of building materials, automation, dismantling.

ЗМІСТ

ВСТУП.....	11
РОЗДІЛ 1. АНАЛІЗ ТЕХНОЛОГІЙ ТА МЕТОДОЛОГІЧНИХ ПІДХОДІВ З ДЕМОНТАЖУ ТА ВТОРИННОГО ВИКОРИСТАННЯ БУДІВЕЛЬНИХ МАТЕРІАЛІВ.....	14
1.1 Аналіз сучасних тенденцій з використання вторинних будівельних матеріалів.....	15
1.2 Аналіз сучасних підходів до обстеження постраждалих будівель та споруд	18
1.3 Аналіз можливості визначення стану міцності пошкоджених несних конструкцій.....	22
1.4 Аналіз методів та інструментів для обстеження та оцінки технічного стану будівель та споруд.....	27
1.4.1 Організація проведення оглядів і обстежень будівель і споруд	27
1.4.2 Інструментальна діагностика технічного стану конструкцій будівель.....	30
1.4.3 Методи визначення міцності конструкцій. Дефектоскопія.....	34
1.4.4 Оцінка деформативності і стійкості конструктивних елементів будівлі.....	38
1.4.5 Інструментальний контроль основних експлуатаційних параметрів підвалин і фундаментів	44
1.5 Основні методи й особливості розбирання будівельних конструкцій.....	47
1.5.1 Розбирання дахів.....	49
1.5.2 Розбирання дерев'яних, цегельних і бетонних перекриттів.....	52
1.5.3 Розбирання залізобетонних перекриттів.....	54
1.5.4 Розбирання покриття підлог.....	55

1.5.5 Розбирання віконних і дверних заповнень	56
1.5.6 Розбирання несучих стін (каркасних і внутрішніх).....	57
1.5.7 Розбирання перегородок.....	58
1.5.8 Розбирання сходів.....	60
1.5.9 Розбирання балконів.....	61
1.5.10 Розбирання димових труб і печей.....	62
1.5.11 Підвищенню ефективності і безпеки виконання демонтажних робіт за рахунок автоматизації.....	64
1.6 Методологічні підходи до вторинного використання будівельних матеріалів.....	66
1.6.1 Концепції управління потоками вторинних ресурсів в будівельній галузі для виконання будівельних процесів.....	66
1.6.2 Теоретичні дослідження методів утилізації будівельних відходів шляхом їх повторного використання у будівництві.....	70
РОЗДІЛ 2. ТЕОРЕТИЗОВАНІ ЗАСАДИ ІЗ СТВОРЕННЯ ОПТИМІЗАЦІЙНИХ РІШЕНЬ ДЛЯ ДЕМОНТАЖУ ТА ВТОРИННОГО ВИКОРИСТАННЯ БУДІВЕЛЬНИХ МАТЕРІАЛІВ.....	80
2.1 Оптимізаційні рішення для демонтажу будівель і споруд.....	80
2.1.1 Систематизація проєктних рішень щодо знесення та демонтажу будівель і споруд.....	80
2.1.2 Методи розбирання (демонтажу) будівель і споруд.....	87
2.2 Оптимізаційні рішення з вторинного використання будівельних матеріалів та продуктів зносу.....	92
2.2.1 Комплексний підхід використання вторинної сировини та логістичні ланцюги по управлінню будівельними відходами.....	92
2.2.2 Схеми використання вторинних матеріалів.....	95
2.2.3 Альтернативне застосування продуктів що утворюються під час руйнації.....	97

РОЗДІЛ 3. ТЕОРЕТИЧНІ ЗАСАДИ РИЦИКЛІНГУ БУДІВЕЛЬНИХ МАТЕРІАЛІВ ТА ПРОДУКТІВ ЗНОСУ	103
3.1 Аналіз засобів та механізмів рециклінгу	103
3.1.1 Спецтехніка, яка застосовується при демонтажі та рециклінгу Спецтехніка, яка застосовується при демонтажі та рециклінгу	103
3.1.2 Екскаваторна техніка	104
3.1.3 Навісне обладнання	105
3.1.4 Види дробарок для дроблення бетону та залізобетону	107
3.1.5 Сортивальні комплекси для очищення території від будівельного сміття	109
3.2 Альтернативні автоматизовані засоби механізації та роботизації для оптимізації циклів та збільшення продуктивності робіт при демонтажі та рециклінгу будівель	111
3.2.1 Роботизація та автоматизація процесів для зменшення потенційних ризиків при демонтажних роботах	111
3.2.2. Дрони оптимізують ресурси	113
3.2.3. Екзоскелети	119
3.3.4. Автоматизовані системи	120
3.3. Розробка технологічних послідовностей та оптимізації демонтажних робіт та рециклінгу сировини для будівельних матеріалів	122
ВИСНОВКИ	133
Список використаних джерел	136

ВСТУП

До складу кваліфікаційної роботи входять вступ, дослідницькі розділи, висновки, перелік використаних джерел. Кваліфікаційна робота є результатом аналізу та теоретизування розробки оптимізаційних рішень, із можливості ведення демонтажних робіт та рециклінгу будівельних матеріалів на базі автоматизованих систем, які повинні зменшити загальні трудовитрати на виконання робіт.

Рециклінг і вторинна переробка будівельних відходів є важливими інструментами для сталого розвитку України. Це дозволяє зменшити екологічне навантаження, скоротити економічні витрати, підвищити рівень соціального благополуччя та сприяти відновленню інфраструктури в умовах післявоєнної реконструкції

Актуальність теми. Впровадження рециклінгу та вторинної переробки будівельних відходів має критичне значення з таких причин:

1. Екологічна необхідність.

Зменшення обсягу відходів: В Україні щороку накопичується значна кількість будівельних відходів, які часто потрапляють на полігони або звалища, забруднюючи довкілля.

Скорочення використання природних ресурсів: Переробка будівельних відходів дозволяє зменшити видобуток піску, щебню та інших будівельних матеріалів, сприяючи збереженню природних екосистем.

Покращення екологічної ситуації: Рециклінг допомагає зменшити викиди парникових газів, що виникають при виробництві нових матеріалів, та знижує забруднення ґрунтів і водних ресурсів.

2. Економічні вигоди.

Зменшення витрат у будівництві: Використання вторинних матеріалів є більш економічно вигідним, оскільки це скорочує витрати на логістику та на закупівлю нових ресурсів.

Розвиток нових бізнес-напрямків: Організація процесів збирання, сортування, переробки та реалізації вторинних матеріалів створює можливості для підприємництва.

Енергоефективність: Рециклінг часто потребує менше енергії, ніж виготовлення матеріалів із сировини, що дозволяє скоротити витрати на енергоресурси.

3. Соціальні переваги.

Створення робочих місць: Розвиток інфраструктури для переробки будівельних відходів сприяє створенню нових робочих місць у галузі.

Підвищення якості життя: Чистіші міста, зменшення обсягів сміття та доступність дешевших будівельних матеріалів підвищують комфорт та добробут населення.

4. Потреба у відновленні інфраструктури.

Відбудова після військових дій: Після руйнувань, спричинених війною, в Україні є велика кількість будівельних відходів. Рециклінг цих матеріалів може бути використаний для відновлення інфраструктури, зменшуючи витрати на будівництво.

Урбаністичні зміни: Реконструкція та модернізація старих будівель і споруд потребує раціонального управління відходами, що виникають у процесі демонтажу.

5. Виконання міжнародних зобов'язань.

Україна зобов'язалася виконувати Цілі сталого розвитку ООН, зокрема у сфері екологічного управління та сталого споживання ресурсів.

Інтеграція до європейського простору вимагає відповідності екологічним стандартам ЄС, які передбачають ефективне управління будівельними відходами та їх переробку.

6. Інноваційні можливості.

Впровадження сучасних технологій переробки дозволяє отримувати якісні вторинні матеріали, які можна використовувати для створення нових продуктів, таких як бетон, асфальт чи утеплювальні матеріали.

Підтримка інноваційних підходів у цій сфері сприяє технологічному прогресу країни.

Методи дослідження. У процесі дослідження були застосовані такі методи: аналіз (поділ цілісного об'єкта на окремі частини для їх глибокого вивчення), синтез (об'єднання раніше виділених частин у єдине ціле), узагальнення (виявлення спільних властивостей та характеристик об'єктів), класифікація (групування об'єктів за певними важливими ознаками, що відповідають меті дослідження), а також моделювання. Об'єкт дослідження. Автоматизовані системи демонтажних робіт.

Предмет дослідження. Підвищення продуктивності праці при створенні сировини для будівельних матеріалів на базі рециклінгу.

Наукова новизна. Досліджені та представлені загальні підходи до демонтажних робіт. Проаналізовані сучасні засоби автоматизації робіт, які можуть бути використані при демонтажі та процесах рециклінгу будівельних матеріалів.

РОЗДІЛ 1. АНАЛІЗ ТЕХНОЛОГІЙ ТА МЕТОДОЛОГІЧНИХ ПІДХОДІВ З ДЕМОНТАЖУ ТА ВТОРИННОГО ВИКОРИСТАННЯ БУДІВЕЛЬНИХ МАТЕРІАЛІВ

1.1 Аналіз сучасних тенденцій з використання вторинних будівельних матеріалів

У 2022 році набув чинності ДСТУ 9171:2021 «Настанова щодо забезпечення збалансованого використання природних ресурсів під час проєктування споруд», який став основою для впровадження реноваційних та екологічно орієнтованих підходів до відновлення будівель і споруд у зонах, що постраждали внаслідок військових дій. Важливий акцент зроблено на використанні вторинних будівельних матеріалів, що відповідає сучасним екологічним вимогам та сприяє зменшенню впливу на довкілля.

Науково-дослідні основи цих інноваційних підходів були розглянуті на Міжнародному науково-технічному форумі «Архітектура та Будівництво: Відновлення України. Наука, Технологія, Практика» (17-18 листопада 2022 р., м. Київ). Учасники форуму представили останні дослідження, зокрема щодо застосування вторинних матеріалів у будівництві як важливого елементу стратегії сталого розвитку.

Згідно з даними зарубіжних науковців, у найближчі десятиліття до 90% населення світу зосередиться у містах, тому стратегії з відновлення повинні бути спрямовані на стійкість урбанізованих територій.

Особлива увага приділяється впровадженню системи «згори-донизу», де різні галузі та інституції співпрацюють для досягнення екологічних цілей. Однак, через високу швидкість втрати біорізноманіття, зміни клімату та людське втручання в природні процеси, людству необхідно діяти швидко, щоб уникнути незворотних наслідків [1].

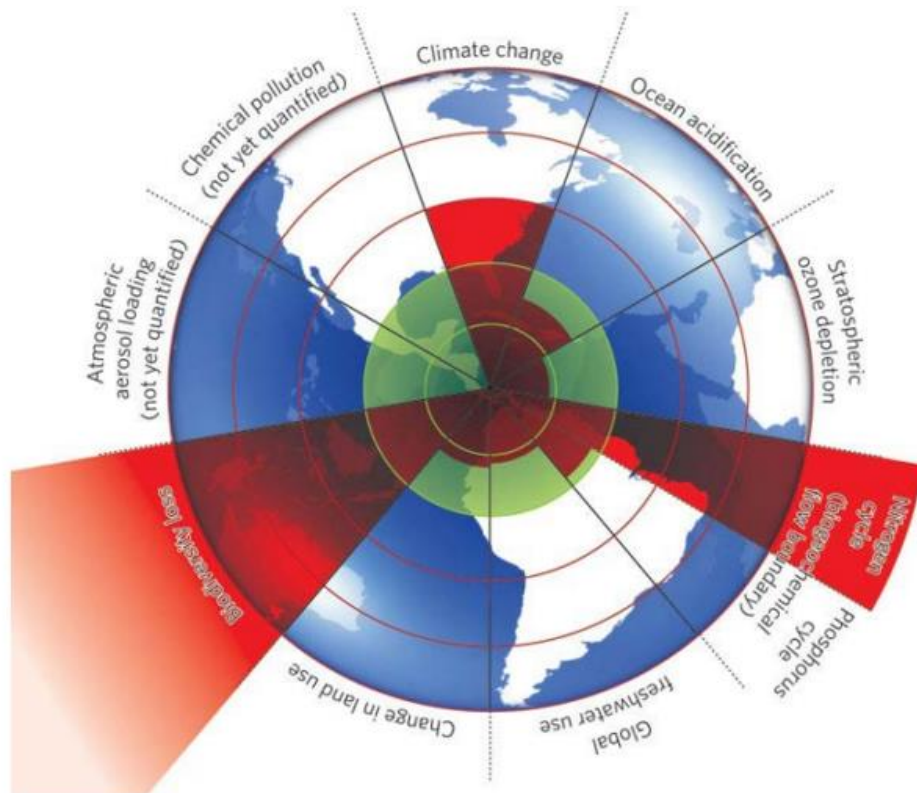


Рисунок 1.1 - Дев'ять планетних систем за J. Rockström та інш [2].

Внутрішнє зелене затінення розглядається як безпечний і збалансований простір для дев'яти планетарних систем. Червоні сектора відображають поточний стан кожного з параметрів. Межі для трьох ключових систем (швидкість втрати біорізноманіття, зміна клімату та втручання людини в цикл азоту) вже перевищені.

Якщо говорити про Україну, зрозуміло, що її можливості у досягненні сталого розвитку не такі значні, як у країн з високим рівнем сталого розвитку суспільства. Проте міжнародна підтримка, включаючи передові технології, створює умови для реалізації Цілей сталого розвитку (ЦСР) [3]. Події останніх років підтвердили, що громада є потужною рушійною силою. Її необхідно активно залучати до реалізації ЦСР. Оскільки процес відбудови України вже триває і відбувається як за рахунок державних і комерційних коштів, так і власними зусиллями громадян, поінформованість населення та відповідальне

ставлення проєктантів, консультантів і виконавців мають велике значення для досягнення цих цілей, важливість яких визнається науковцями у всьому світі.

Кожен учасник відбудови (виконавці, замовники, проєктанти) повинен розуміти кінцеву мету — досягнення сталості та стійкості середовища, шляхи до цієї мети, свою роль у цьому процесі та негативні наслідки, якщо ці принципи не будуть дотримані. Оптимальне використання ресурсів, де співвідношення "вкладені зусилля — досягнутий результат" є найбільш ефективним, слід впроваджувати на рівні окремих будівельних комплексів і споруд, а не цілих міст.

На сьогоднішній день деякі фахівці асоціюють сталий розвиток переважно з енергоефективністю, екологічністю матеріалів та інноваційними технологіями. У 2019 році ООН визначила 17 Цілей сталого розвитку до 2030 року, зокрема ЦСР #11 «Сталий розвиток міст і громад» та ЦСР #12 «Відповідальне споживання та виробництво», які є особливо актуальними в контексті відбудови України.

Під час проєктування нових об'єктів важливо уникати форм і матеріалів, які можуть викликати у людей негативні асоціації з воєнними подіями. Натомість, слід використовувати матеріали, які можна повторно використовувати або переробляти, та які швидко розкладаються у природі, такі як метал, скло та дерево. Наприклад, у місті Гостомель Київської області французька компанія переробила 90% відходів від зруйнованих будівель на нові будівельні матеріали [4]. Досвід повторної переробки будівельного сміття також успішно використовується у інших країнах.

1.2 Аналіз сучасних підходів до обстеження постраждалих будівель та споруд

Зруйнована інфраструктура включає інженерні споруди та комунікації, що були побудовані раніше, але втратили свою функціональність через техногенні або природні катастрофи, такі як землетруси, повені, терористичні атаки або війна. До таких об'єктів належать дороги, мости, аеропорти, залізниці, тунелі, енергетичні мережі, водопостачання, каналізація та інші інфраструктурні системи.

У 2000-х роках у США з'явився термін "ruin porn" (естетика руйнування), який виник через активні дослідження та фотографування залишків занедбаних, закритих або зруйнованих будівель у містах, зокрема в Детройті. Фотографи та журналісти використовували це, щоб привернути увагу до наслідків економічної кризи, деіндустріалізації та браку інвестицій в інфраструктуру. Згодом цей термін набув ширшого вжитку для опису схожих явищ у різних країнах [5].

Не функціонуюча інфраструктура може спричиняти серйозні проблеми для жителів, бізнесу та економіки. Вона може обмежувати доступ до ресурсів і послуг, затримувати економічний розвиток регіону, знижувати якість життя та поглиблювати соціально-економічну нерівність. Крім того, зруйновані споруди можуть становити небезпеку для життя через можливі аварії та інциденти. Також існує загроза негативного впливу на довкілля, наприклад, через витік шкідливих речовин.

В Україні, внаслідок ракетних обстрілів російської армії, значна кількість інфраструктурних об'єктів, таких як електро- та водопостачання, газові мережі та системи теплопостачання, була пошкоджена. Було також зруйновано безліч житлових будинків та інших критичних об'єктів.

У багатьох країнах функціонують ініціативи з оцифрування зруйнованих об'єктів. Наприклад, проект "Syrian Heritage Archive Project"[6] допомагає зберегти культурну спадщину Сирії, створюючи 3D-моделі

зруйнованих будівель. Подібні ініціативи також активно реалізуються в Іраку, Афганістані та інших країнах, які постраждали від конфліктів. Оцифровані дані дозволяють створити детальні 3D-моделі об'єктів або карти, що можуть бути використані для планування їхньої реконструкції або відновлення. Ця інформація корисна для фахівців, які займаються відбудовою інфраструктури.

Сучасні методи оцифрування використовують такі технології, як фотограмметрія (створення точних моделей об'єктів на основі фото, зроблених дронами або літаками), лазерне сканування (лідар), а також супутникові знімки. Лазерне сканування дозволяє отримати високоточні дані про об'єкти, навіть якщо доступ до них є ускладненим, що робить цей метод незамінним для створення детальних 3D-моделей[7].

До основних методів оцифрування зруйнованої інфраструктури належать:

- геодезичні вимірювання з використанням напівавтоматичних приладів (наприклад, тахеометрів).
- лазерне сканування будівель, мостів та інших об'єктів(рисунок 1.2 (1- Terrestrial Laser Scanner FARO, Leica BLK360))..
- використання дронів для фотограмметрії та лазерного сканування.
- мобільне лазерне сканування всередині приміщень із застосуванням ручного обладнання.
- використання супутникових знімків для 3D-моделювання об'єктів[8,9].

Серед програмного забезпечення, яке використовується для обробки та аналізу даних оцифрування, популярними є такі програми, як ArcGIS, QGIS, Global Mapper, AutoCAD Civil 3D, Pix4Dmapper та інші. Ці технології дозволяють отримувати точні дані для відновлення зруйнованих об'єктів.

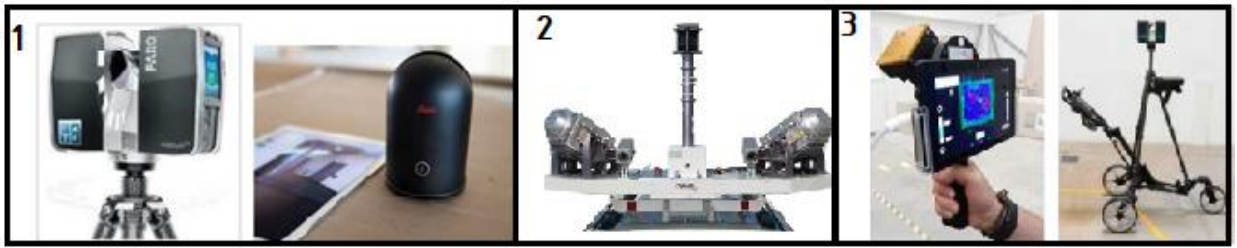


Рисунок 1.2 - розклади сканера Laser (Terrestrial Laser Scanner FARO, Leica BLK360); 2 - мобільний лазерний сканер (Lynx); 3 - внутрішні лазерні сканери (GEO Slam) Zeb REVO (ліворуч), Faro (праворуч).

Ці методи дозволяють створювати детальні 3D-моделі з високою точністю. Використання фотограмметрії під час дешифрування та векторизації зруйнованої інфраструктури має кілька переваг: висока точність і швидкість визначення розмірів об'єктів, можливість отримувати якісні дані без необхідності прямого доступу до об'єкта, висока роздільна здатність і використання доповненої реальності. Ці особливості особливо корисні для оцінки ступеня пошкоджень та розрахунку вартості відновлення у випадку аварій або для вивчення деталей інфраструктури в небезпечних зонах.



Рисунок 1.3 – Супутниковий знімок зруйнованого м. Маріуполь

Процес оцифрування зруйнованої інфраструктури включає кілька ключових етапів [10]. Перший етап полягає в оцінці стану інфраструктури: проводиться огляд і визначаються елементи, які потребують оцифрування. Другий етап — вибір методу оцифрування, який найбільш підходить для різних елементів інфраструктури, визначених на попередньому етапі. Третій

етап передбачає оцінку точності отриманих даних: оцифровані результати порівнюються з початковими даними для перевірки їх точності. Четвертий етап — це порівняння результатів з реальним станом зруйнованих об'єктів, щоб виявити можливі похибки оцифрування. Після завершення цих етапів дані готові до подальшого використання для аналізу стану інфраструктури та планування її відновлення [11].

Оцінка точності даних є критично важливою для проєктів, пов'язаних з інженерними, геодезичними роботами та плануванням міських територій. Висока точність забезпечує достовірність результатів і успішність реалізації проєктів. Якщо точність виявиться недостатньою, можуть бути прийняті додаткові заходи для її поліпшення, зокрема використання інших методів оцифрування або коригування процесу діджиталізації.

Серед програм, які використовуються для обробки даних оцифрування, можна виділити:

- Pix4D, що створює точні 3D-моделі на основі аерофотознімків, зроблених дронами [12];
- Agisoft Metashape, яка дозволяє створювати 3D-моделі за допомогою фотограмметрії [13];
- ESRI ArcGIS для аналізу географічних даних [14];
- ERDAS IMAGINE, що використовується для порівняння зображень «до» та «після» руйнування [15].

Для оцінки руйнувань будівель використовують дронозйомку, за допомогою якої можна виявляти характерні ознаки пошкоджень, наприклад, наявність сміття, піску або щебню навколо будівель (рисунк 1.4).



Рисунок 1.4 – Рисунок з можливістю аналізу знімків для категоризації руйнувань будівель

Після аналізу знімків можна категоризувати руйнування: 50% — імовірні руйнування, 10% — слабкі, 5% — сильні, 35% — повні. Визначення площі зруйнованих ділянок за допомогою дронозйомки дає можливість оцінити розмір збитків і потенційні витрати на відновлення. Для житлових будівель використовуються середньостатистичні розрахунки площі та вартість квадратного метра, яка включає собівартість будівництва, ремонт і демонтаж [5].

1.3 Аналіз можливості визначення стану міцності пошкоджених несених конструкцій

Від використання сучасних наукових підходів до моделювання поведінки конструкцій у нормальному і в аварійному режимах експлуатації залежать надійність і безпека будівель та споруд. Надважливим є моніторинг процесів деформації та накопичення пошкоджень у матеріалах несучих конструкцій з часом, а також оцінка ризику руйнування конструктивних вузлів

та можливість переведення будівель в статус аварійного стану з загрозою руйнування.

За для ефективного відновлення або реконструкції пошкоджених будівель виникає необхідність створення комплексної методики дослідження напружено-деформованого стану, міцності та стійкості конструкцій, що враховує світовий досвід використання сучасних розрахункових чисельних методів та BIM технологій, яка спрямована на вирішення важливої соціально-економічної проблеми, і є актуальною проблемою прикладної механіки. Розробка проектів відновлення сучасних будівель та споруд потребує використання не стандартних підходів в проектуванні, що використовують новітні методи на основі BIM технологій, та сучасних розрахункових програмних комплексів для чисельного моделювання стану споруди, створення просторових моделей будівель, для забезпечення оптимальної матеріалоемності, із збереженням або відновленням несучої здатності конструкцій. Для створення просторової моделі необхідно використовувати сучасні методи обстеження стану об'єкту, досвід проектування та відновлення конструкцій з використанням сучасних BIM технологій та розрахункових чисельних методів [16,17]. За результатами досліджень з'являється можливість визначати стан руйнувань та пошкоджень конструкцій будівлі, оцінювати ймовірність подальшого відновлення та експлуатації, досліджувати міцність, жорсткість та стійкість споруди на основі створення комплексної просторової чисельної моделі, створювати проекти подальшого відновлення і реконструкції будівель.

Пропнується комплексний підхід:

- проведення обстежень інструментальними методами для оцінки технічного стану будівельних конструкцій споруд, визначення пошкоджень та дефектів, що впливають на міцність та несучу спроможність будівель, їх залишковий ресурс.

- створення комплексних просторових чисельних моделей будівель, з використанням BIM технологій, для аналізу стану конструкцій та споруд в

цілому, визначення напружено-деформованого стану всіх конструктивних елементів, з використанням сучасних розрахункових комплексів, та розробки проєктів реконструкції з рекомендаціями щодо усунення виявлених недоліків та можливості подальшої безпечної експлуатації (рисунок 1.5) [18].

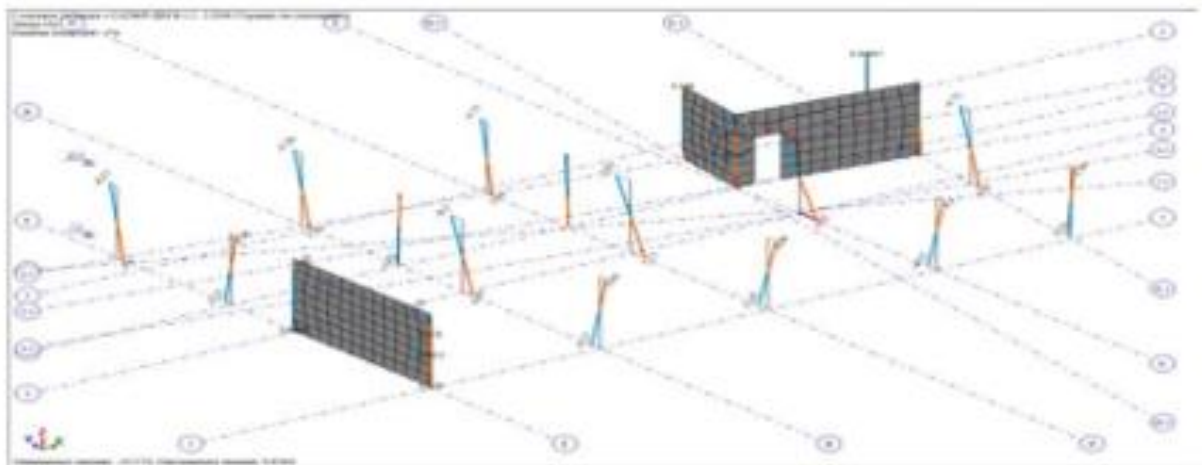


Рисунок 1.5 а- загальний вигляд та б- чисельна модель пошкодженої будівлі.

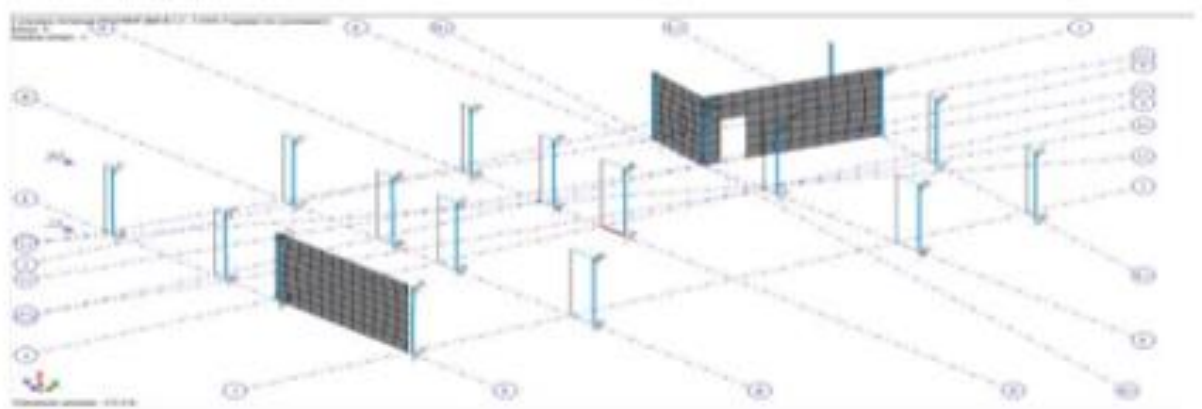
Чисельна модель пошкодженої будівлі формується в середовищі AutoCAD і в подальшому експортується в програмний комплекс LIRA для моделювання методом скінчених елементів напружено-деформованого стану та стійкості офісної будівлі в цілому, від всіх видів навантаження (рисунок 1.6).

Розрахунки надають змогу оцінювати масштаби руйнувань конструктивних елементів та можливість розглядання варіантів їх відновлення в процесі реконструкції будівлі на ряду з результатами інженерних обстежень.

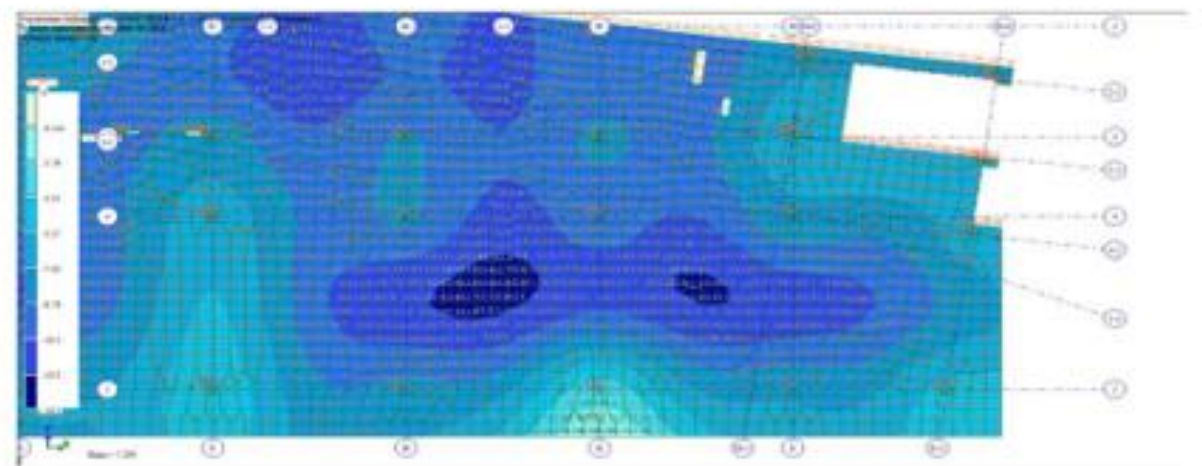
Розроблення можливих варіантів підсилення пошкоджених конструкцій та проведення розрахунку напружено-деформованого стану конструкції споруди в цілому, надає пропозиції для оцінки можливості відновлення об'єкту та розробки проєкту реконструкції на основі цих розрахунків. Вибираються варіанти підсилення (рисунок 1.7).



а

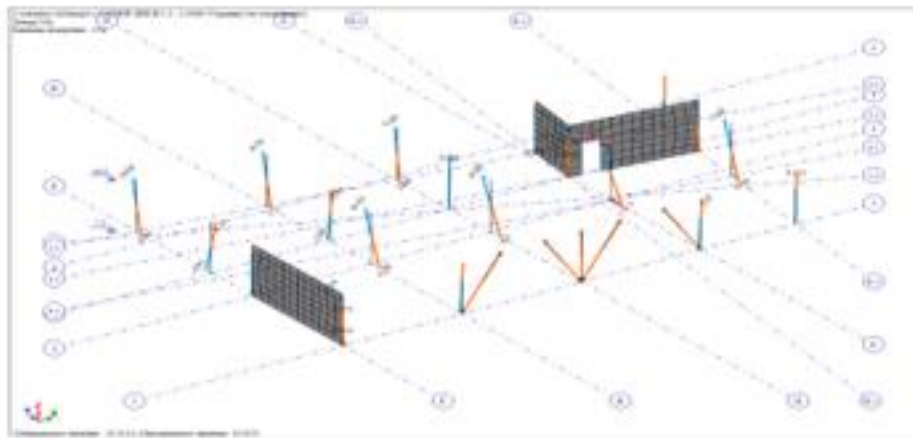


б

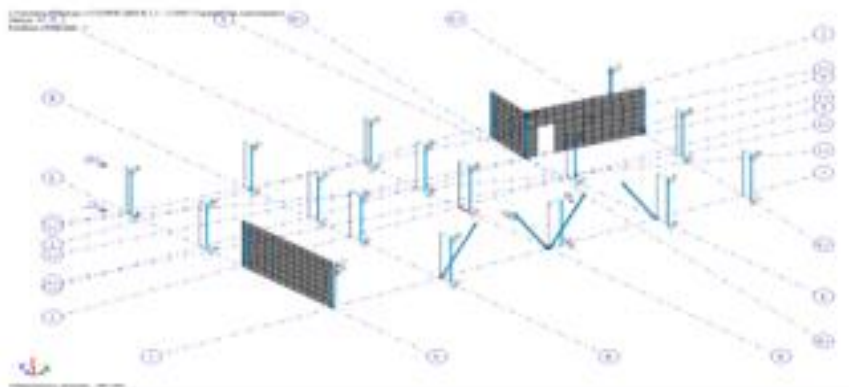


в

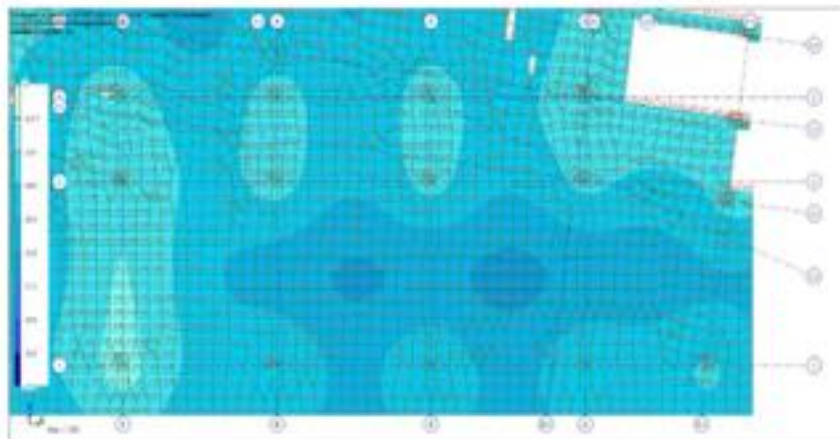
Рисунок 1.6 Пошкоджена будівля: а- Згинальні моменти M_u в конструкціях, б - Поздовжні сили N в конструкціях, в - Ізо поля переміщень U_z



а



б



в

Рисунок 1.7 Розрахунок підсилення пошкодженої будівлі: а- Згинальні моменти M_u в конструкціях, б - Поздовжні сили N в конструкціях, в - Ізо поля переміщень U_z

1.4 Аналіз методів та інструментів для обстеження та оцінки технічного стану будівель та споруд

1.4.1 Організація проведення оглядів і обстежень будівель і споруд

Особливістю реконструкції та відновлення будівельних конструкцій є необхідність врахування їхнього фактичного технічного стану (рівень зношеності), що визначається за допомогою технічного обстеження. Таке обстеження спрямоване на оцінку залишкової несучої здатності та придатності конструкцій для подальшої експлуатації [19].

Система технічного обстеження будівлі, її конструкцій та інженерного обладнання, залежно від мети обстеження, передбачає наступні види контролю:

- інструментальний контроль технічного стану конструкцій та обладнання при прийманні;
- інструментальний контроль під час повного технічного обстеження; – технічне обстеження для планування капітального ремонту або реконструкції;
- технічне обстеження у випадках пошкодження елементів чи аварій (експертиза).

Оцінка технічного стану включає підготовчі роботи, обстеження конструкцій і складання технічного висновку. Робоча програма обстеження визначає мету та завдання робіт, методику проведення, перелік обладнання, а також календарний план і заходи з охорони праці. Після завершення підготовки складається протокол узгодження умов безпечного виконання робіт, підписаний представниками замовника та виконавця.

Обстеження поділяються на загальні (попередні) та детальні (інструментальні). Під час загального обстеження визначають:

- ступінь пошкодження захисних покриттів, гідроізоляції, покрівлі, підлоги;
- видимі дефекти конструкцій;

- відхилення у розмірах майданчиків для обпирання збірних елементів;
- орієнтовну міцність конструктивних елементів.

На основі загального обстеження оцінюють технічний стан конструкцій, визначають ділянки для детального обстеження, готують риштування, додаткове освітлення, а також визначають обсяг відновлювальних робіт і, за потреби, запобіжні заходи. Об'єкт розбивають на ділянки за типами конструкцій (фундаменти, перекриття, стіни тощо) і особливостями експлуатації. Загальне обстеження проводиться з використанням простих приладів (біноклі, рулетки, рівні), а доступ до конструкцій забезпечується за допомогою драбин, риштувань чи підйомних механізмів, які повинні відповідати вимогам охорони праці. Процес реконструкції та відновлення будівельних конструкцій потребує глибокого технічного аналізу для забезпечення їхньої надійності та безпечної експлуатації. Організація таких обстежень потребує постійного вдосконалення, оскільки з кожним роком вимоги до точності, безпеки та ефективності зростають. Детальні обстеження відіграють ключову роль у цьому процесі, адже вони дозволяють уточнити вихідні дані для виконання розрахунків щодо реконструкції та відновлення конструкцій.

Основною метою детальних обстежень є встановлення точних параметрів конструкцій, які впливають на їхню несучу здатність. Під час таких обстежень виконується уточнення розмірів, схем обпирання, якості та міцності матеріалів, а також проводяться дослідження на предмет наявності дефектів і пошкоджень. Важливою частиною обстеження є вимірювання деформацій, таких як прогини, нахили, перекоси або осідання фундаменту. Окрім цього, уточнюються результати загальних обстежень, проводяться випробування конструкцій на міцність та вібраційні випробування. Також враховуються інженерно-геологічні й геодезичні дані, що дозволяє оцінити стабільність ґрунтів і вплив довкілля на споруду.

Методи детальних обстежень відрізняються залежно від типу матеріалу конструкцій. Наприклад, для залізобетонних конструкцій важливо оцінити

міцність бетону, його проникність, однорідність та стійкість до корозії (рисунок 1.8). Окремо досліджуються властивості арматури та її стан, а також ступінь корозії сталевих елементів. Результати таких обстежень оформляються у вигляді актів, на основі яких уточнюється технічний стан будівлі й визначаються подальші заходи з її експлуатації.



Рисунок 1.8 – Перевірка захисного шару залізобетонної конструкції

Крім того, результати вимірювання пошкоджень і деформацій наносять на креслення, що допомагає краще розуміти масштаби пошкоджень і вибрати оптимальні методи відновлення. Це дозволяє отримати чітку картину технічного стану об'єкта та розробити ефективний план робіт.

Технічний висновок, що складається за результатами обстежень, містить важливі дані для подальшого планування робіт. До цього висновку входить опис ґрунтових умов, аналіз фізико-механічних характеристик матеріалів, графіки нівелювання колон і фундаментів, а також інформація щодо стану конструкцій підземної частини будівлі. Важливими є також дані про тріщини в конструкціях, зсуви фундаментів і ступінь корозійного ураження матеріалів.

Слід відзначити, що оцінка технічного стану будівельних конструкцій є складним і багатоетапним процесом. Окрім фізичних характеристик матеріалів, беруться до уваги також статичні та розрахункові схеми конструкцій, можливі відхилення в навантаженнях і вплив зовнішніх умов.

Навантаження на конструкції можуть суттєво відрізнятися від розрахункових значень через випадкові зовнішні фактори, тому ці аспекти повинні враховуватися під час проектування відновлювальних робіт.

Отже, сучасна система організації оглядів та обстежень будівель і споруд потребує постійного вдосконалення. Це стосується не лише застосування нових технологій для обстежень, а й розширення методології аналізу конструкцій, адаптованої до умов експлуатації та фактичного стану об'єктів. Точність проведених досліджень і обстежень дає змогу не тільки ефективно планувати реконструкцію та відновлення, але й забезпечувати надійну експлуатацію будівель на довгострокову перспективу.

1.4.2 Інструментальна діагностика технічного стану конструкцій будівель

До основних параметрів експлуатаційної якості будівлі, які визначають її безпечність та комфортні умови середовища і оцінюються під час обстежень, належать: міцність, здатність до деформацій, герметичність, температурно-вологісний режим, теплопровідність, вологість матеріалів конструкції, звукоізоляція та рівень освітленості. У таблиці 1.1 наведені деякі традиційні технічні засоби для інструментального контролю, що застосовуються при обстеженні будівель для оцінки фізичних, механічних і геометричних характеристик основних несучих конструкцій, а також принципи їх дії.

Таблиця 1.1 – Засоби неруйнівного контролю технічного стану конструкцій.

Варіанти засобів контролю	Контрольовані параметри	Принципи контролю
1	2	3
Ударні методи		
Молоток Фізделя	Міцність бетону, розчину, природного каменю, вивержених порід (граніту, сиеніту, діабазу тощо)	За тарувальною кривою, за середнім значенням діаметра 10...12 відбитків під час ударів по поверхні конструкцій. Точність – $\pm 50\%$
Молоток Кашкарова	Те саме	За тарувальною кривою за середнім значенням відносин із 10...12 відбитків на випробувальному й сталонному матеріалах. Точність – $\pm 70\%$
Пістолет ЦНДІБКа, склерометр Шмідта	Те саме	За тарувальною кривою, за величиною енергії відскоку в залежності від міцності випробовуваного матеріалу. Точність – $\pm 65\%$
Прилад ГПНВ-5	Міцність бетону та інших зв'язкових кам'яних матеріалів	За зусиллям виривального стрижня з тіла випробовуваного матеріалу за тарувальною кривою. Точність – $\pm 65\%$
Методи контролю за тріщинами		
Важільний маяк	Швидкість розвитку тріщин	Поворот стрілки відносно шкали за допомогою двох зведених шарнірів по обидва боки тріщини
Пластинчастий маяк	Швидкість розвитку тріщин	Зміщення двох пластин одна відносно одної, закріплених по обидва боки тріщини
Ультразвуковий метод		
Електронні прилади УКХ-1М, УК-14П	Міцність матеріалу; статичний модуль пружності; розміри структурних дефектів (тріщини, каверни тощо)	Міцність визначається за тарувальною кривою «міцність – швидкість поширення хвиль», «міцність – акустичний опір». Точність – $\pm 60\%$. Наявність дефектів і габарити встановлюються за зміною швидкості поширення хвиль
Метод вимірювання освітленості		
Люксметри Ю-16, Ю-17, ЛН-3	Рівень освітленості в різних місцях приміщення	Освітленість визначається за стрілочним індикаторним приладом

1	2	3
Радіометричні методи		
Гамма-густиноміри	Щільність матеріалу; виявлення дефектів	Аналітично за наскрізного просвічування за значеннями реєстрованих гамма-променів, які пройшли через конструкцію, і функційною залежністю щільності від вимірюваних величин. Точність – $\pm 75\%$. Під час одніобічного випробування за тарувальною кривою залежності щільності матеріалу від кількості розсіяних гамма-променів за одиницю часу. Точність – $\pm 60\%$. Дефекти виявляються шляхом фотографування в двох або трьох площинах конструкції з обробленням і розшифруванням гамма-знімків
Радіометричні вологоміри	Вологість неорганічних матеріалів (не мають в хімічному складі воду)	За цифровою шкалою встановлюється вологість матеріалу
Теплофізичні методи		
Термошупи ТМ (А), ЦЛЕМ, тепломір	Температура на поверхні конструкції	За відхиленням стрілки термоміра під час притиску шупа до поверхні конструкції за температури від -5 до $+90$ °C
Психрометр Ассмана	Вологість повітря біля поверхні конструкції	Підіймання рідини в сухому термометрі
Електронний вологомір	Вологість деревини	За середнім значенням вимірювань під час притиску чутливого елемента приладу до поверхні конструкції
Магнітний метод		
Магнітометричні прилади ВМП (вимірювач магнітної проникності), ВПА (вимірювач параметрів амплітуди), ВНТ-М2 (вимірювач напруги й тріщин)	Розміщення арматури в кам'яних і залізобетонних конструкціях, товщина захисного шару, напружений стан арматури	За відхилення стрілки амперметра зі спеціальним градуванням фіксується розташування арматури під час переміщення по поверхні конструкцій (ВМП). Вимірювання товщини захисного шару базується на змінюванні магнітного опору датчика під час знаходження його поблизу арматурного стержня (ВПА). Точність – до 1 мм. Вимірювання напруги в металі базується на залежності магнітної проникності від величини максимальних напружень (ВНТ-М2). Точність – $\pm 2\%$.

1	2	3
Акустичний метод		
Комплект для контролю звукоізоляційної здатності обгороджувальних конструкцій у складі: генератор шуму ГШ-1, підсилювач потужності УМ-50, шумомір Ш-60-1, аналізатор шуму АМ-2 МЛЮТ	Перевірка звукоізоляційної здатності конструкцій	Рівні звукового тиску в приміщеннях, що розділяються, випробовується конструкцією, вимірюються аналізатором шуму. Звукоізоляційна здатність визначається за перепадом рівнів
Геодезичні методи		
Прогиніоміри Максимова, Аїстова, Лісі, Мессурі	Місцеві деформації конструкцій, зрушення і повороти у вузлах конструкцій	Деформації визначаються внаслідок переміщення рухомого стрижня приладу відносно нерухомого за їхнього щільного притискання до поверхні конструкції
Дротові тензометри опору	Місцеві деформації	Деформації визначаються за змінюванням опору провідників, наклеєних на поверхню конструкцій, під час їх стиснення або розтягування
Нівеліри НА-1 з оптичною насадкою	Вимірювання абсолютного осідання будівель і споруд	Нівелювання з постійної точки при переміщенні геодезичної рейки. Середня квадратична помилка – ± 1 мм ($\pm 0,3$ мм для нівелірів із оптичною насадкою)
Теодоліти Т-2-010	Вимірювання абсолютних зрушень у плані	Створний метод засічки мікротриангуляції (виміри при постійній точці відліку з переміщенням рейки). Точність – $\pm 1 \dots 4$ мм
Нівелір НА-1, теодоліт 1-2, клинометри КП-2	Вимірювання кренів споруди	Здатність вимірювати горизонтальні кути. Точність – $\pm 5 \dots 10$ мм
Метод контролю герметичності стиків		
Вимірювач повітропроникності ИВС-М, адгезіометр ЛНПАКХ	Коефіцієнт повітропроникності стиків, адгезія герметика до бетону	За швидкістю повітряного потоку через стик визначається коефіцієнт повітропроникності й адгезія герметика

1.4.3 Методи визначення міцності конструкцій. Дефектоскопія

Пошкодження зовнішніх огорожувальних і несучих конструкцій можна класифікувати за двома основними причинами: силові впливи та вплив агресивних факторів зовнішнього середовища. Силові навантаження призводять до появи мікротріщин у матеріалах, які з часом розширюються, викликаючи серйозні тріщини та зниження несучої здатності конструкцій (рисунок 1.9).

Під час оцінки технічного стану несучих конструкцій враховують:

- відсоток зменшення перетину в зоні пошкодження;
- наявність випинань і відхилень від вертикальних або горизонтальних осей;
- ступінь розвитку тріщин та інших деформацій у пошкоджених ділянках;
- якість мурування, включаючи ширину та глибину швів;
- рівень вологості конструкцій;
- фізико-механічні характеристики матеріалів, таких як бетон, камінь або розчин.

Сучасні методи обстеження передбачають використання новітніх технологій для більш точного виявлення та аналізу пошкоджень. Наприклад, широко застосовуються:

- ультразвукові дослідження, що дозволяють виявляти внутрішні дефекти в матеріалі без руйнування;
- лазерне сканування для точної оцінки деформацій конструкцій;
- інфрачервона термографія для виявлення зон підвищеної вологості або теплових втрат;
- рентгенографія для глибокого аналізу стану бетону та арматури;
- дроніві технології, що дозволяють швидко оцінювати стан важкодоступних ділянок споруд.

Завдяки таким сучасним методам можна значно покращити якість оцінки стану будівельних конструкцій і розробити більш точні заходи для їх відновлення та захисту.

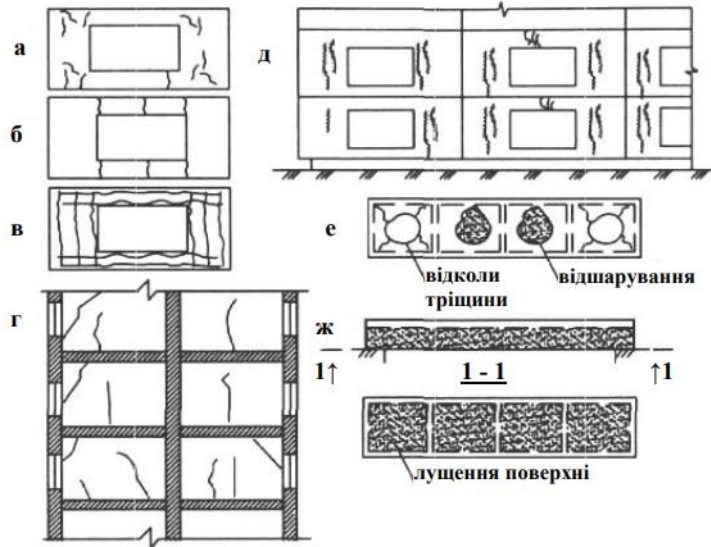


Рисунок 1.9 – Характерні деформації несучих конструкцій і причини їх виникнення: а – усадочні деформації; б – температурно-вологісні деформації; в – деформації внаслідок корозії арматури; г – деформації від перевантаження, дефектів виготовлення, транспортування; д – деформації від перевантаження простінків і перемичок; е – механічні та корозійні пошкодження; ж – температурно-вологісні деформації.

Натурне визначення міцності експлуатованих зовнішніх стін можна здійснювати за допомогою неруйнівних методів, таких як механічні та фізичні, на найбільш навантажених ділянках конструкцій.

Механічні методи ґрунтуються на двох принципах:

- опір матеріалу при проникненні більш твердого тіла (використовуються будівельні молотки);
- залежність величини пружного відскоку матеріалу після удару (використовуються будівельні пістолети).

При використанні молотків вимірюється відбиток на бетоні (наприклад, молоток Кашкарова, Шмідта, Фізделя), а під час використання пістолетів

фіксується величина пружного відскоку на шкалі (пістолет ЦНДІБК, склерометр).

До фізичних неруйнівних методів відносяться акустичний, радіометричний, магнітометричний та вібраційний. Ультразвукові, акустичні та радіографічні прилади використовують не лише для визначення міцності матеріалу, але й для виявлення прихованих дефектів, таких як порожнечі, розшарування, наявність арматури та товщина захисного шару. (рисунок 1.10)



Рисунок 1.10 а – молоток Шмідта; б – молоток Кашкарова; с –
Ультразвуковий прилад для обстеження конструкцій

Фізичні методи дослідження базуються на двох основних ефектах:

- п'єзоефект: коли на матеріал накладаються хвилі (поздовжні, поперечні або згинальні), в кристалах деяких матеріалів виникають напруги, що призводять до зміни їх розмірів та появи електричного заряду;
- магнітострикційний ефект: деякі метали під дією електричного струму генерують механічні коливання.

Якщо товщина конструкції заздалегідь відома, вимірюється час проходження імпульсу через матеріал. На основі щільності матеріалу і швидкості імпульсу визначається модуль пружності, за яким розраховується міцність конструкції. Такі методи дозволяють із високою точністю оцінити однорідність, міцність та інші властивості матеріалів без їх руйнування.

Фронтальний метод застосовується для виявлення прихованих дефектів у великих конструкціях або в таких, що недоступні для обстеження з двох боків. Випромінювач і приймач встановлюються послідовно на різних точках

конструкції, і за швидкістю проходження хвиль між ними оцінюється стан матеріалу.

Резонансний метод використовується для виявлення дефектів і визначення розташування арматури. Прилад випромінює хвилі певної довжини, які відбиваються від арматури або інших перешкод. Вимірювання швидкості хвиль дозволяє оцінити наявність дефектів, глибину залягання арматури та товщину захисного шару бетону.

Тіньовий метод дозволяє виявити порожнини в матеріалі. Випромінювач і приймач розташовують по різні боки конструкції та пересувають уздовж неї. У місцях, де хвилі не проходять через матеріал через наявність порожнин, на електронній лампі виникає "тінь", що вказує на порожнисті ділянки (рисунок 1.11).

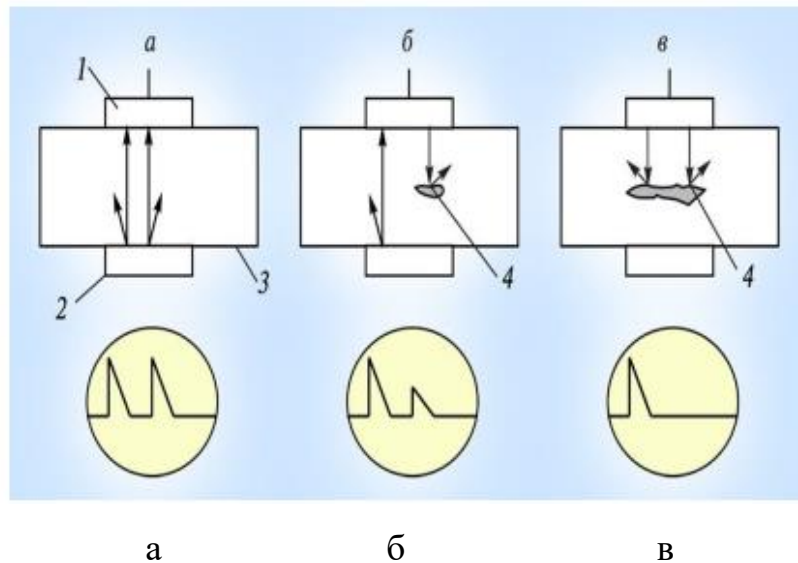


Рисунок 1.11 – Виникнення акустичної тіні під час наскрізного ультразвукового дослідження: а – об'єкт дослідження не містить дефектів; б – об'єкт має незначний дефект, що впливає на рівень отриманого сигналу; в – акустична тінь формується через великий дефект; 1 – випромінювач ультразвукових хвиль; 2 – приймач ультразвукових хвиль; 3 – зразок, який підлягає дослідженню; 4 – дефекти в зразку.

Подібні обстеження несучих конструкцій виконують під час розробки проєкту капітального ремонту або реконструкції будівлі. Крім того, при введенні будівлі в експлуатацію, приймальна комісія може здійснити перевірку прихованих робіт, таких як гідроізоляція, армування тощо.

Сучасні тенденції в цьому напрямку зосереджені на впровадженні нових технологій і методів, зокрема використанні безпілотних літальних апаратів (дронів) для інспекції важкодоступних зон, застосуванні цифрових моделей будівель (BIM-технологій) для аналізу стану конструкцій, а також інтеграції штучного інтелекту та сенсорних систем для постійного моніторингу. Це дозволяє підвищити точність оцінки стану об'єктів, скоротити час обстежень та оперативно реагувати на потенційні проблеми.

1.4.4 Оцінка деформованості і стійкості конструктивних елементів будівлі

Несучі конструкції будівлі, деформуються під впливом динамічних та статичних навантажень. Ці деформації проявляються у формі паралельного зміщення перерізів, розтягнення або стиснення конструкцій, що призводить до появи тріщин. Таким чином, деформованість будівлі загалом та окремих несучих елементів може бути помітною під час загальних оглядів через наявність тріщин.

Візуальне обстеження стін полягає в аналізі розташування та форми тріщин, що дозволяє виявити дефекти у підвалинах та фундаментах будівлі. На рисунку 1.12 показано типовий характер деформацій будівлі залежно від стану ґрунтів.

Вигнуті тріщини на фасаді будівлі виникають внаслідок деформації підвалин, нерівномірного просідання, а також через наявність в підвалах або слабких, або, навпаки, надто стисливих ґрунтів.

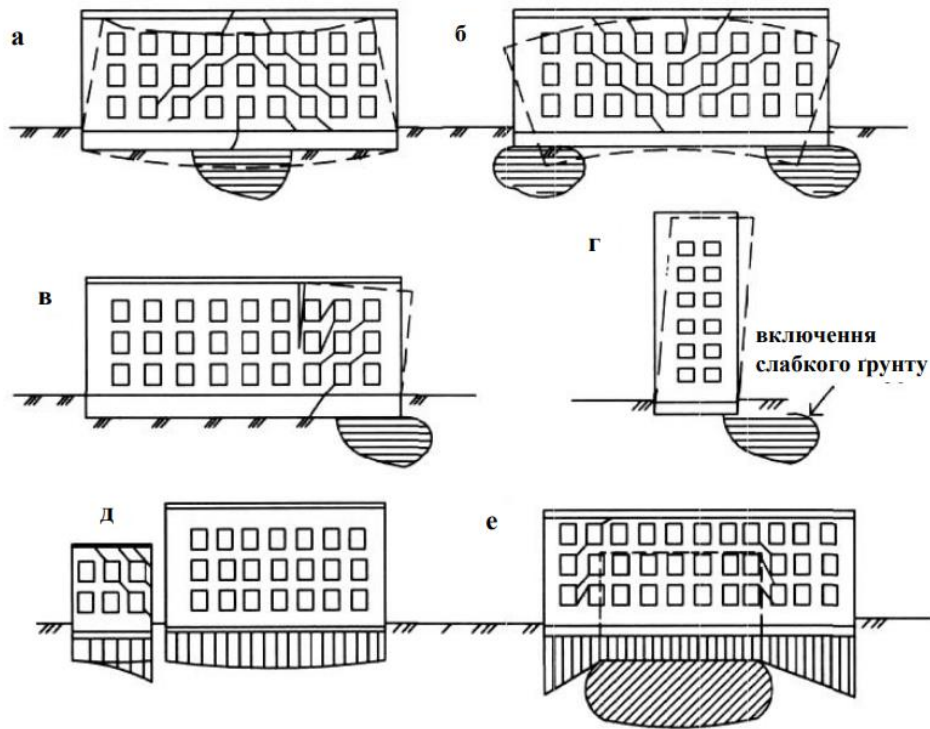


Рисунок 1.12 – Типові деформації будівлі, що виникають внаслідок зміни ґрунтових умов: а – прогин; б – вигин; в – перекіс; г – крен; д – під час будівництва нової споруди поруч; е – під час зведення на місці старої, що була знесена.

Температурно-вологісні деформації, що пов'язані з процесами зволоження, висихання, заморожування та відтавання, проявляються у вигляді сітки дрібних тріщин на поверхні конструкції. Дослідження показують, що зміна вологості на 0,1 % викликає додаткові напруження в матеріалі, що дорівнюють 9 кг/см^2 .

Горизонтальні тріщини виникають внаслідок локальних деформацій ґрунту під основами, що призводить до відриву нижньої частини стіни. Тріщини в стикових з'єднаннях можуть бути наслідком різних осадових деформацій у матеріалах, що взаємопов'язані, перевантаження елементів, зменшення їхньої несучої здатності, а також помилок у проектуванні та розрахунках, неякісного виконання будівельних робіт.

У випадку появи тріщин на зовнішніх або внутрішніх несучих стінах важливо забезпечити контроль за їх станом, щоб оцінити їхній вплив на несучу

здатність конструкції. Найбільш небезпечними є горизонтальні тріщини в простінках та вертикальні тріщини в перемичках.

Для фіксації тріщин найчастіше використовуються маяки—пластини зі сталі, скла та цементу на зовнішніх конструкціях, а також з гіпсу й алебастру на внутрішніх елементах, а також щілиноміри.

Маяки розміщують на очищеній від облицювання стіні, зазвичай по два на кожну тріщину: один в області найбільшого розкриття, а другий – на кінці тріщини, при цьому обов'язково зазначають номер та дату встановлення. Якщо маяки зруйнуються, їх замінюють новими, при цьому роблять відповідний запис у журналі. Маяки допомагають виявити якісну картину деформацій та дозволяють визначити, чи стабілізувалася тріщина або продовжує розширюватися.

Для точної кількісної оцінки збільшення ширини тріщин, встановлення інтенсивності деформацій або виявлення періодичних деформацій, наприклад, внаслідок коливань температури повітря, використовують важільні маяки або спеціальні репери. Схема їх установки наведена на рисунку 1.13.

Репери встановлюють по одному з кожного боку тріщини (рисунок 1.14). Для спостереження за стиковими з'єднаннями репери встановлюють на трьох рівнях у межах одного поверху. За даними вимірів будують графік процесу розкриття тріщини (рисунки 1.15 та 1.16).

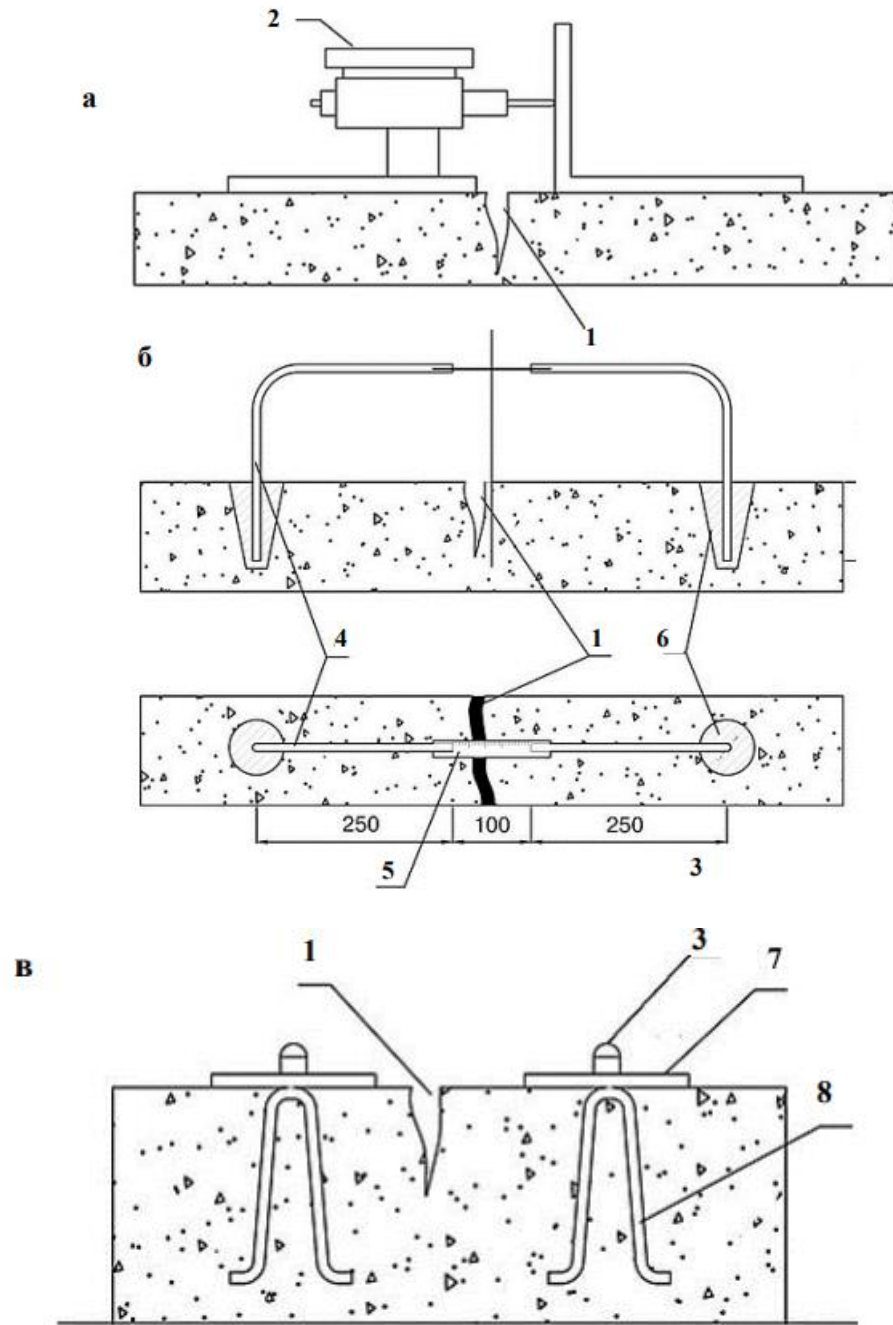


Рисунок 1.13 – Щілиноміри для спостереження за розкриттям тріщин:

а – щілиномір з месурою; б – щілиномір; в – для тривалих спостережень; 1 – тріщина; 2 – месура; 3 – марка; 4 – скоба; 5 – вимірювальна шкала; 6 – запіканка; 7 – фланець; 8 – анкерна скоба

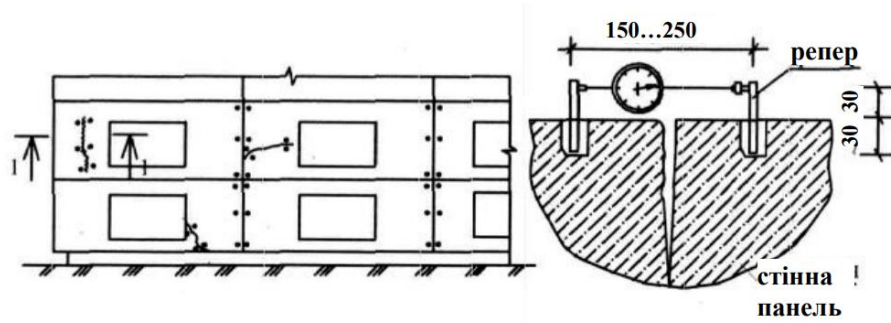


Рисунок 1.14 – Розташування реперів для спостереження за деформаціями

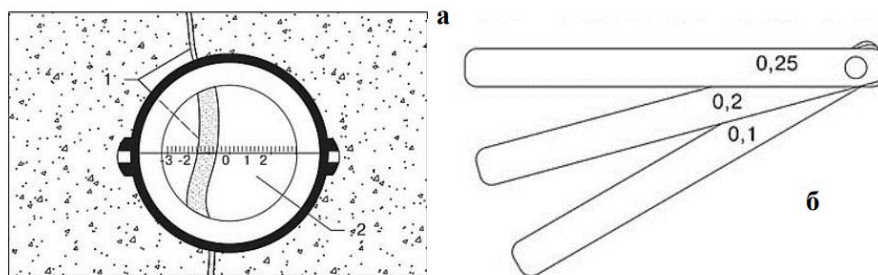


Рисунок 1.15 – Прилади для вимірювання розкриття ширини тріщин: а – вимірювання ширини розкриття тріщини лупою; б – вимірювальний щуп; 1 – тріщина; 2 – розподіл шкали лупи

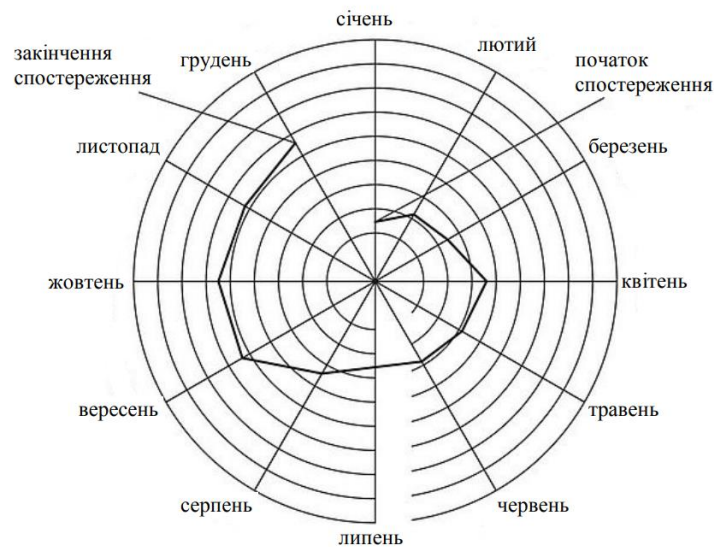


Рисунок 1.16 – Графік процесу розкриття тріщини

Контроль деформацій несучих конструкцій під час експлуатації проводиться з використанням геодезичних приладів, таких як теодоліти, нівеліри, а також прогиноміри і тензометри. Допустимі межі деформацій і прогинів залежать від типу матеріалу та конструкції, і встановлюються відповідно до будівельних норм.

Згідно з європейськими стандартами, такі як EN 1992-1-1 (Європейські норми проектування залізобетонних конструкцій), контроль за деформаціями часто передбачає максимально допустимі значення прогинів, що зазвичай становлять $1/250$ до $1/300$ від прольоту конструкції. Це означає, що для прогонів до 10 метрів максимально допустимий прогин може становити від 40 до 50 міліметрів. Інші показники контролю можуть включати максимальні значення для вертикальних і горизонтальних зсувів, які визначаються залежно від конкретних проектних вимог та умов експлуатації (таблиця 1.2).

Таблиця 1.2 – Граничні прогини несучих конструкцій

Конструкції	Граничні прогини в частинах прогону
Залізобетонні	
Плоскі перекриття:	
– у разі прогону до 7 м;	$1/200$
– у разі прогону понад 7 м	$1/300$
Ребристі перекриття, елементи сходів:	
– у разі прогону до 5м;	$1/200$
– у разі прогону до 7м;	$1/300$
– у разі прогону понад 7м	$1/400$
Навісні стінові панелі:	
– у разі прогону до 7 м;	$1/200$
– у разі прогону понад 7 м	$1/250$
Сталеві	
Головні балки горищних перекриттів	$1/250$
Головні балки міжповерхових перекриттів	$1/400$
Прогони міжповерхових перекриттів	$1/250$
Інші	$1/200$
Дерев'яні	
Міжповерхові перекриття, балки	$1/250$
Горищні перекриття, балки	$1/200$
Балки консольні	$1/150$
Прогони, кроквяні ноги, покриття (крім розжолобок)	$1/200$
Розжолобки	$1/400$
Решетування, настили	$1/150$

Відхилення від вертикалі та викривлення у вертикальній площині можна вимірювати як за допомогою схилу й лінійки, так і за допомогою геодезичних методів. При деформації перекриттів, стін і будівлі в цілому (загальні деформації) зручно проводити вимірювання ззовні. Суть геодезичного контролю полягає в регулярній перевірці положення певних точок, які позначені закріпленими марками, щодо нерухомих знаків, а також у визначенні їх взаємних переміщень по вертикалі й горизонталі. Горизонтальні переміщення конструкцій визначаються за допомогою теодоліта методом створу, що включає використання створних ліній, закріплених на нерухомих позначках. Вертикальні переміщення (просідання конструкцій) вимірюються за допомогою геометричного нівелювання відносно нерухомо закріплених знаків. У місцях, де геометричне нівелювання провести важко, зокрема всередині будівлі, застосовують гідростатичне нівелювання, яке ґрунтується на принципі сполучених посудин.

Динамічні деформації можна вимірювати за допомогою прогиномірів із точністю до 0,001 мм. Прогиноміри використовують для вимірювання місцевих деформацій, коли у вузлах та конструкціях спостерігаються зміщення, повороти, подовження або стиснення елементів. Тензометри призначені для виявлення місцевих лінійних деформацій у конструкціях (розтягування та стиснення одного елемента або взаємне переміщення двох сусідніх). За величиною деформації можна розрахувати рівень напружень у матеріалі, що дозволяє оцінити несучу здатність конструкції.

1.4.5 Інструментальний контроль основних експлуатаційних параметрів підвалин і фундаментів

При виникненні деформацій та тріщин у несучих конструкціях надземної частини будівлі, окрім оцінки їх несучої здатності, необхідно визначити рівень просідання, що відображає деформацію підвалин, оскільки стійкість будівлі безпосередньо залежить від її несучої здатності. Обстеження

підвалин і фундаментів є складним і відповідальним процесом, адже на них впливають численні фактори, а надійність фундаментів значною мірою визначає стан конструкцій над землею.

Обсяг робіт із обстеження підвалин і фундаментів варіюється в залежності від мети і може включати буріння контрольних шурфів, лабораторні аналізи ґрунтів і підземних вод, натурні випробування матеріалів фундаментів, перевірку розрахунків для підвалин і фундаментів, а також оцінку стану гідроізоляції і спостереження за рівнем ґрунтових вод.

Під час обстеження підвалин визначають типи ґрунтів, їх ступінь здимання, просідання, глибину промерзання та рівень ґрунтових вод, а також ключові характеристики, такі як гранулометричний склад, питома вага, щільність, поруватість, вологість, опір зрізу та стискуваність.

Сучасні методи визначення щільності та вологості ґрунтів підвалин включають використання радіометричних методів, зокрема радіометричних густиномірів і вологомірів, які дозволяють проводити вимірювання як у лабораторних, так і в польових умовах. Серед новітніх інструментів на європейському ринку можна виділити:

Густиноміри з лазерною технологією – забезпечують високу точність вимірювань щільності ґрунту.

Вологоміри на основі радіочастотних технологій – дозволяють швидко визначити вміст вологи в ґрунті без руйнування структури.

Геофізичні прилади – такі як електромагнітні та сейсмічні датчики, що надають інформацію про структуру і властивості ґрунтів.

Портативні прибори для натурних випробувань – забезпечують мобільність і швидкість вимірювань у польових умовах. (рисунок 1.17).



Рисунок 1.17 – Густиномір-вологомір Ковальова: 1 – кришка футляра; 2 – відро-футляр; 3 – сталева насадка; 4 – ніж; 5 – поплавок; 6 – гумове кільце; 7 – судина; 8 – трубка поплавка; 9 – кришка поплавка; 10 – замок поплавка; 11 – різальний циліндр; 12 – тарувальний вантаж; 13 – замок футляра; 14 – гачки

Контрольні шурфи, що дозволяють оцінити розміри, конструкцію та матеріал фундаменту, а також рівень закладення і наявність ізоляції, можуть бути викопані як з зовнішньої, так і з внутрішньої сторони будівлі. Для кількісної оцінки міцності, стійкості та несучої здатності підстави і конструкцій будівлі важливо проаналізувати динаміку розвитку дефектів, які виникають внаслідок нерівномірного просідання. Спостереження за просіданнями здійснюється за допомогою встановлення маяків та використання геодезичних і інших інструментальних методів.

Гранично допустимі значення просідання для багатоповерхових будинків згідно з європейськими нормами становлять: для панельних будівель – $\Delta s \leq 0,0007L$, а для цегляних та блокових – $\Delta s \leq 0,001L$, де L – довжина конструкції.

При детальному обстеженні фундаментів у контрольних шурфах визначають тип фундаменту, його форму, розміри та глибину закладення; також виявляються попередні підведення і підсилення. За допомогою механічних і фізичних неруйнівних методів, описаних раніше, досліджується матеріал фундаменту. Ширина підшви фундаменту та глибина закладення визначаються шляхом натурних вимірювань. Візуальне оцінювання стану фундаменту включає характеристику каменю та розчину (умови бетону), а також виявлення порожніх швів та локальних руйнувань.

Для уточнення результатів натурних випробувань, особливо у випадках, коли міцність матеріалу є критично важливою для визначення можливості збільшення навантаження (наприклад, при надбудові будівлі, зміні його функціонального призначення, заміні легких конструкцій на важчі, або збільшенні ваги обладнання), проводять лабораторні випробування відібраних зразків з конструкцій.

1.5 Основні методи й особливості розбирання будівельних конструкцій

Організація демонтажу будівельних конструкцій має свою специфіку та технологічну послідовність, що складається з підготовчого та основного етапів. Це складний технологічний процес, який включає кілька ключових етапів.

На підготовчому етапі виконуються такі роботи:

- Оцінка стану будівель та споруд, що підлягають демонтажу.
- Вивчення та узгодження умов проведення робіт.
- Розробка технології демонтажу.
- Перевірка відключення інженерних мереж, розташованих у спорудах.
- Підготовка під'їзних шляхів.

Доставка та встановлення риштування, сміттєпроводів, бункерів та іншого обладнання для демонтажу конструкцій та інженерного обладнання, а також для вивезення матеріалів.

Доставка та монтаж вантажопідйомного обладнання.

Підготовка устаткування для тимчасового закріплення конструкцій під час демонтажу.

Прокладання та підключення тимчасових інженерних мереж.

Основні демонтажні роботи складаються з двох етапів:

На першому етапі відбувається демонтаж конструкцій шляхом відділення їх окремих елементів. Здійснюється зняття розділених елементів, їх огляд, сортування та укладання в штабелі, а також руйнування монолітних бетонних, залізобетонних і кам'яних конструкцій.

На другому етапі проводиться сортування матеріалів після демонтажу, їх навантаження та транспортування до місць повторного використання або на звалище.

Головна мета демонтажних робіт полягає у видаленні будівельних конструкцій, що стали непридатними, та їх елементів, а також у створенні необхідного фронту робіт для монтажу нових конструкцій і устаткування.

Важливо, щоб демонтажні роботи виконувалися в межах однієї захватки, а технологічна послідовність дотримувалася, що забезпечить безпеку виконання робіт і збереження матеріалів.

У європейських країнах все частіше застосовуються роботизовані маніпулятори для демонтажу будівельних конструкцій. Наприклад, у Німеччині використовують роботизовані системи для розбирання старих промислових будівель, що дозволяє знизити ризики для працівників та підвищити ефективність демонтажних робіт.

В Швеції, зокрема, роботизовані маніпулятори успішно демонтують бетонні конструкції, виконуючи завдання, які раніше були небезпечними для людей. Такі маніпулятори можуть точно контролювати процес розбирання, знижуючи кількість відходів та забезпечуючи високий рівень безпеки.

В Італії також активно використовуються роботизовані технології для демонтажу старих будівель, що дозволяє зберігати екологію та ефективно управляти відходами. Ці приклади свідчать про зростаючу популярність автоматизованих рішень у сфері демонтажу, які забезпечують підвищену безпеку та ефективність процесу.

1.5.1 Розбирання дахів

Перед демонтажем дахів спочатку знімають обладнання ліній зв'язку, рекламні щити та інші установки. На горищі демонтують електропроводку та санітарно-технічні системи. Якщо є димові труби, їх також розбирають перед зняттям даху.

Розбирання сталевोї покрівлі починають з видалення покриття поблизу димових труб, протипожежних стін і інших виступаючих елементів. Під час демонтажу звичайного покриття відкривають один з стоячих фальців по всьому схилу, використовуючи молоток-відвертальник або лом (рисунок 1.18).

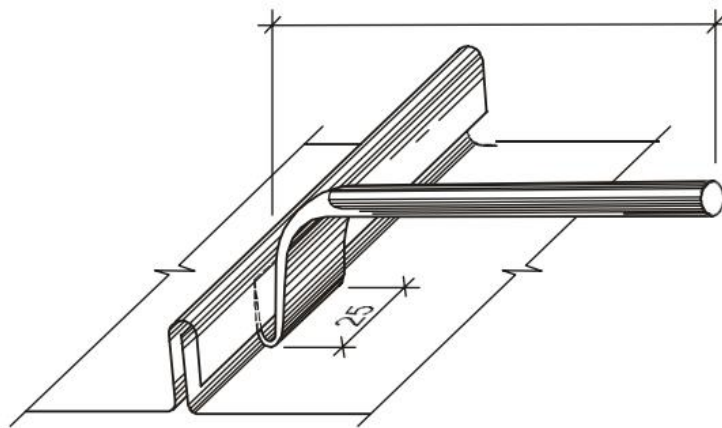


Рисунок 1.18 – Закот для зняття сталевोї покрівлі

Далі від'єднують лежачий фальц, що з'єднує рядове покриття з листами настінного жолоба, піднімають його за допомогою ломика і перевертають на сусідній ряд. Потім роз'єднують картини на окремі листи й опускають їх на

горищне перекриття. Цю ж процедуру виконують і для наступного ряду. Перед демонтажем картин, клямери відокремлюють від обрешітки. Демонтаж парапетної решітки, зняття картин настінного жолоба та карнизного звису проводять після розбирання обрешітки.

При знятті рулонного покриття його розрізають на смуги, спочатку ручним ножом, а потім спеціальними електроножицями. Смуги рулонного покриття відокремлюють від основи за допомогою лопати або легкого ломика і згортають у рулони.

Розбирання покриттів з хвилястих азбестоцементних листів починають зі зняття гребневих деталей. Потім демонтують сталеві коміри навколо димових труб і слухових вікон. Листи рядового покриття знімають горизонтальними рядами, починаючи з гребня, а в останню чергу знімають покриття карнизних звисів і розжолобків із покрівельної сталі.

Розбирання покриття з черепиці починається зі зняття гребневих елементів, після чого черепицю знімають горизонтальними рядами — від гребня до звису. Розбирання покриття починається з ходових дошок, а потім продовжується на горищному перекритті, використовуючи інвентарне риштування. Після зняття покрівельного покриття розбирають лати й кроквяну систему. Роботи проводять з інвентарного риштування.

Похилі крокви розбирають шляхом видалення вільно розміщених елементів, попередньо знявши металеві елементи кріплення: скоби, нагелі, скручування тощо.

Важливо забезпечити стабільність конструкцій і уникати обвалення кроквяних ферм під час розбирання (рисунки 1.19).

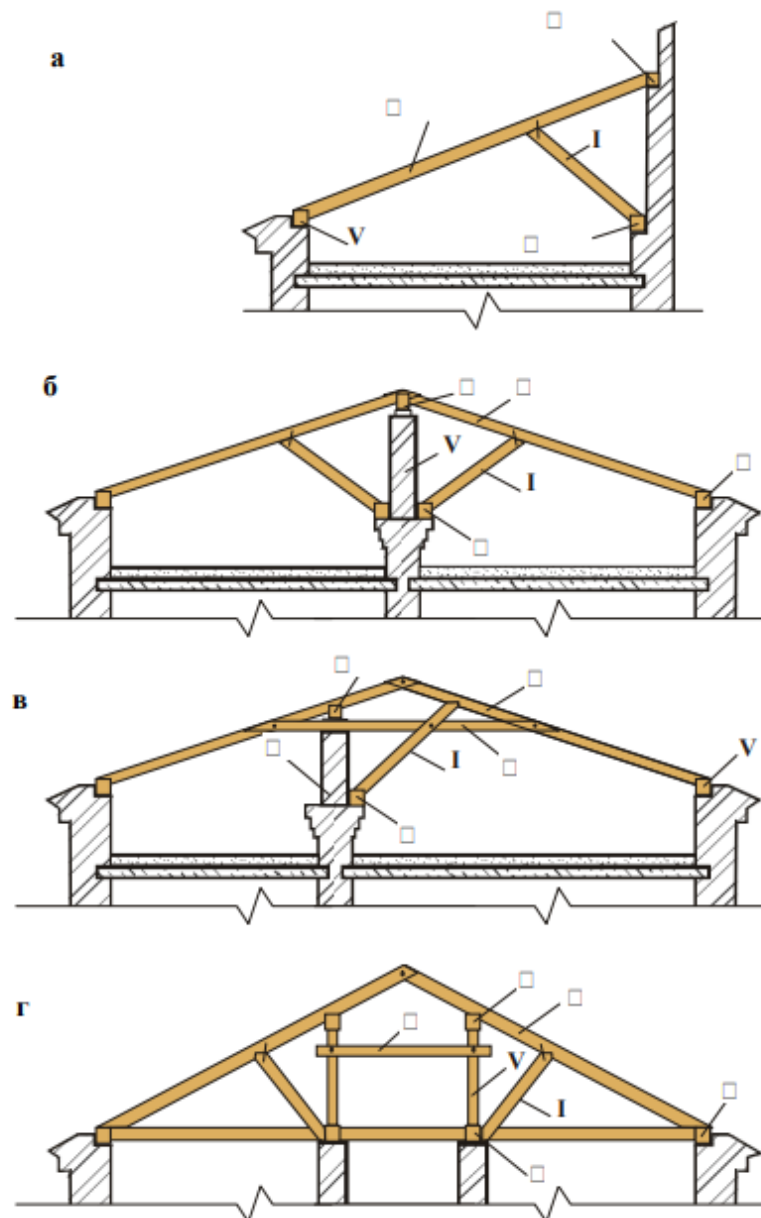


Рисунок 1.19 – Послідовність демонтажу приставних кроквяних систем включає: а – приставні крокви односхилого даху; б – приставні крокви двосхилого даху; в – приставні крокви двосхилого даху з несиметричними прогонами; г – приставні крокви двосхилого даху з двома рядами стояків.

1.5.2 Розбирання дерев'яних, цегельних і бетонних перекриттів

Перед початком демонтажу перекриттів потрібно виконати демонтаж сантехнічного обладнання, електричних мереж, печей і підлог. Також важливо оцінити технічний стан перекриттів: встановити тип конструкції для визначення послідовності і методів виконання робіт, оцінити ступінь фізичного зношування для виявлення ослаблених місць і прийняття рішень щодо їх тимчасового захисту або зміцнення, перевірити надійність перекриттів, що розташовані нижче, а також визначити місця укладання тимчасових настилів і складування матеріалів для розбирання.

Під час демонтажу перекриттів на дерев'яних балках спершу видаляють засипку, а також розбирають накат, підшивку стелі та балки.

Щити накату демонтують за допомогою ломика, відокремлюючи дошки від балок. Підшивку стелі також видаляють ломиком і скидають на нижче розташоване перекриття або підпирають на перегородки. Балки, які можна використовувати повторно, демонтують у такій послідовності: спочатку підводять під них тимчасові опори, звільняють кінці балок, розширюючи гнізда і відгинаючи металеві анкери. Потім балку вивішують на риштування і відпилюють один з її кінців, після чого обидві частини балки акуратно опускають на нижнє перекриття і вивозять через віконні отвори.

На будівельних майданчиках, обладнаних баштовими кранами, дозволяється демонтаж балок перекриттів у блоках по 2–4 балки разом із накатою або підшивкою. Демонтаж дерев'яних перекриттів на металевих балках виконується аналогічно, за винятком видалення металевих балок. У цьому випадку по несучих стінах встановлюють риштування, звільняють кінці балок, пробиваючи горизонтальні борозни в стінах, і виводять балки з гнізд, повертаючи їх у горизонтальному положенні. Балки видаляють за допомогою баштового крана або вручну через віконний отвір, забороняється демонтаж перекриттів на металевих балках укрупнювальними блоками. На рисунку 1.20 зображена послідовність демонтажу дерев'яного перекриття.

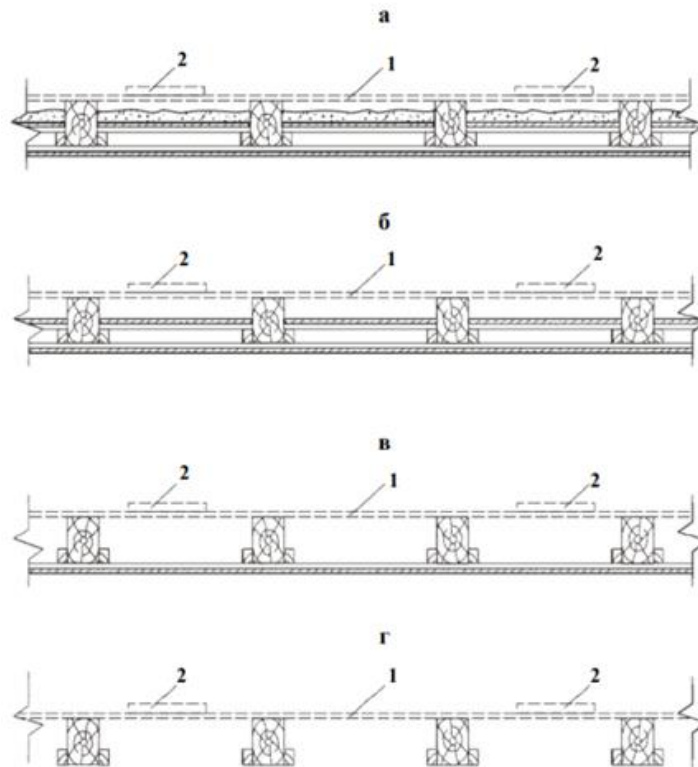


Рисунок 1.20 Послідовність демонтажу дерев'яного перекриття виглядає так:
 а – перекриття, готове до розбирання; б – після видалення засипки; в – після демонтажу щитів накату; г – після обвалення підшивки; 1 – ходові щити; 2 – ходові дошки.

Бетонні склепіння скидають на нижнє перекриття, вживаючи заходів для забезпечення їхньої стійкості шляхом установки тимчасових опор. Для цього від склепіння відсікають ділянку довжиною до 1 метра, після чого підсікають п'яти з обох боків. У процесі використовуються відбійні молотки, ломики, сталеві клини та кувалди.

Цегляні склепіння розбираються від замка до п'яти. Спочатку в замку проробляють борозну довжиною 1,5–2 метри, а потім вибивають окремі цеглини вздовж шва від замка до п'яти. При демонтажі цегляних циліндричних склепінь попередньо видаляється засипка, після чого конструкцію можна або розбирати, або звалювати. Перед початком робіт необхідно визначити конструкцію склепіння, місця його опори, а також конструкції, що витримують вертикальні та горизонтальні навантаження від

склепіння. Важливо також розглянути конструкції і місця розташування ходових містків, а також способи їх установки та закріплення. Циліндричні склепіння розбираються ділянками шириною 0,5 метра, починаючи роботи від торцевих стін і рухаючись у напрямку від замка до п'ят.

Схема демонтажу цегляних або бетонних склепінь приведена на рисунку 1.21.

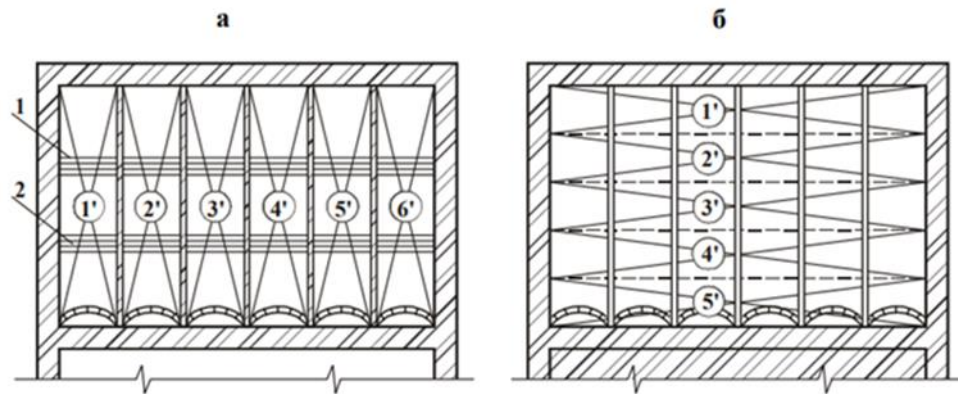


Рисунок 1.21 Демонтаж цегляних або бетонних склепінь, що спираються на металеві балки: а – повздовжня схема; б – поперечна схема; 1 – борозни у склепіннях; 2 – розпірки з дерев'яних колод; 1'... 6' – порядок виконання розбирання.

1.5.3 Розбирання залізобетонних перекриттів

Перед початком робіт необхідно з'ясувати конструкцію перекриття, що підлягає демонтажу, а також напрямок робочого прогону плит і розташування головних і другорядних балок. Процес розбирання перекриттів має таку послідовність: спочатку демонтуються плити, а потім другорядні та головні балки. Важливо дотримуватися цієї послідовності, оскільки її порушення може призвести до обвалення перекриття. Перед початком робіт слід вибрати схему армування, встановивши місцезнаходження робочої арматури. Якщо визначити її за зовнішніми ознаками не вдається, потрібно пробити контрольні отвори.

Демонтаж плит здійснюється смугами шириною 0,3–0,4 метра в напрямку робочого прогону. Спочатку руйнується бетон, а потім обрізається робоча та конструктивна арматура. Зруйнований бетон і обрізана арматура скидаються на нижче розташоване перекриття. (рисунок 1.22).



Рисунок 1.22 – Розбирання залізобетонних перекриттів

Демонтаж другорядних балок виконується в такій послідовності: спочатку під балки підводять тимчасові опори, розпірки та фіксатори. У місцях опор відкривають арматуру (для цього використовують відбійні молотки та перфатори), а потім її перерізають за допомогою газових або бензинових різаків. Після цього балки видаляють за допомогою баштового крана, використовуючи двогілкові стропи.

1.5.4 Розбирання покриття підлог

Демонтаж підлог, які можуть бути повторно використані, слід проводити на першому етапі, перед зняттям інженерного обладнання, печей, перегородок, вбудованих шаф та інших елементів.

Для розбирання дощатих підлог спочатку знімають плінтуси. Потім, починаючи з найбільш віддаленої від входу частини, акуратно демонтують дошки. Якщо їх можливо повторно використовувати, важливо зберегти порядок їх розташування, тому доцільно маркувати кожен дошку. Лаги

знімають з інвентарних переносних настилів, які укладені на балки перекриття.

Розбирання паркетних підлог відбувається аналогічно, але тут потрібно особливу увагу приділити збереженню шпунтів і гребнів для їх подальшого використання.

Коли йдеться про лінолеумні підлоги, демонтаж починають з видалення дерев'яних або пластикових порогів і плінтусів. Лінолеум, незалежно від основи, потрібно акуратно відривати від підлоги, очищати та скочувати лицьовим боком всередину рулону.

Стяжки, такі як монолітні цементно-піщані або асфальтобетонні, розпушують за допомогою сучасних відбійних молотків або перфораторів. Після цього матеріали завантажують у контейнери та видаляють з перекриття.

1.5.5 Розбирання віконних і дверних заповнень

Розбирання віконних заповнень починається з демонтажу рам, які знімаються разом із кватирками. Скло та фурнітуру видаляють з рам за допомогою спеціальних портативних верстатів. Скло укладають у вертикальному положенні в спеціально призначені ящики. Після того як рами демонтовано, знімають підвіконні дошки.

При розбиранні закладних віконних блоків спочатку видаляють внутрішні цегляні чверті. Оскільки цей процес є трудомістким, попередньо визначають стан придатності блоків та їхніх елементів. Якщо віконні блоки виявляються непридатними, їх демонтують шляхом руйнування.

Демонтаж дверних заповнень розпочинають з видалення металевих деталей і скла з дверних полотн. Після цього знімають дверне полотно, попередньо демонтувавши наличники з боку полотна.

При демонтажі віконних та дверних заповнень важливо не лише акуратно зняти рами, скло та фурнітуру, але й ефективно утилізувати або повторно використати відходи. Наприклад, рами з дерева або металу можуть

бути перероблені на нові конструкції, такі як меблі або елементи ландшафтного дизайну. Дерев'яні деталі можна використовувати для виготовлення підлогових покриттів, декору або садових меблів.

Скло, що залишилося після демонтажу, також має потенціал для повторного використання. Воно може бути перетворене на нові віконні блоки, використовуватись для створення декоративних елементів, або підходити для виготовлення скляних виробів, таких як вітражі. Якщо скло не може бути повторно використано, його слід відправити на переробку, щоб зменшити відходи та вплив на навколишнє середовище.

Фурнітура, така як ручки, петлі, замки та інші металічні деталі, може бути знята й використана для ремонту інших вікон або меблів. Усі ці елементи, якщо вони в хорошому стані, можуть знайти своє місце в нових проектах або бути продані на вторинному ринку.

Важливо проводити демонтаж вікон з урахуванням можливості повторного використання або переробки, оскільки це не лише зменшує кількість відходів, а й сприяє більш сталому підходу до будівельних робіт.

1.5.6 Розбирання несучих стін (каркасних і внутрішніх)

Запровадження комплексної механізації та роботизації в процеси розбирання несучих стін (як каркасних, так і внутрішніх) може суттєво змінити порядок виконання цих робіт. Завдяки роботизованим системам, можна зберігати просторову жорсткість і стабільність стін багатоповерхових будівель під час демонтажу перекриттів.

Одним із підходів є залишення частини демонтованих балок, розташованих на одній вертикалі через усі поверхи, що забезпечить зв'язок між протилежними стінами. Відстань між балками в межах одного поверху може становити 5–6 м, що дозволяє баштовому крану ефективно виконувати свої функції. Якщо немає можливості зберегти балки під час демонтажу

внутрішніх несучих стін, стабільність зовнішніх стін може бути підтримана завдяки поперечним капітальним стінам або шляхом збереження ділянок внутрішніх стін, на які спираються перекриття.

Роботизовані системи можуть виконувати демонтаж цегляних стін рядами, починаючи з периметра захватки, з риштуванням, яке буде встановлено на нижньому перекритті. Розбирання стіни можна автоматизувати, починаючи з внутрішньої сторони мурування. Використання відбійних інструментів, таких як перфоратори та відбійні молотки, може бути замінено на автоматизовані механізми, які швидко і ефективно руйнують горизонтальні шви, знімають цілі камені або цеглу, і переміщують їх за допомогою механізмів до місця складування.

Завдяки таким підходам, використання механізованих і роботизованих систем не тільки підвищить продуктивність і безпеку робіт, але й зменшить час виконання завдань, забезпечуючи при цьому високий рівень контролю за станом конструкцій.

1.5.7 Розбирання перегородок

Такі роботи проводять після демонтажу трубопроводів, інженерних мереж, електропроводки та систем слабострумівих мереж. Метод розбирання каркасно-обшивних перегородок залежить від типу використовуваного підйомно-транспортного обладнання. Якщо роботи виконує баштовий кран, процес виглядає наступним чином: спочатку відбивають штукатурку, потім встановлюють тимчасові підкосини, звільняють перегородки від кріплень до огорожувальних конструкцій, підводять стропи і транспортують перегородку до місця складування. Штукатурку відбивають по периметру перегородки на ширину 250–300 мм. Перед звільненням перегородки від постійних кріплень необхідно встановити не менше двох тимчасових підкосів, закріплюючи їх у верхній частині перегородки та до балок нижнього перекриття (рисунок 1.23).

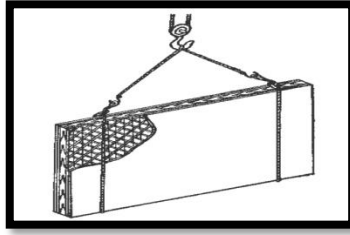


Рисунок 1.23 – Стропування перегородки під час піднімання баштовим краном після звільнення від укріплення

У разі відсутності баштового крана розбирання перегородок виконується поелементно у зворотному порядку до їхнього збирання: спочатку відбивають штукатурку по периметру, потім видаляють засипку, знімають обшивку і розбирають каркас. Штукатурку відбивають затупленим лезом сокири. Після видалення штукатурки перерубують дранку, розбирають нижні дошки обшивки та видаляють засипку. Далі з одного боку перегородки встановлюють інвентарне риштування і розбирають верхні дошки обшивки. Після переміщення риштування ці дії повторюють з іншого боку перегородки.

Наступним етапом є демонтаж каркаса. Спочатку з-під обв'язування вибивають верхній кінець проміжного стояка каркаса і видаляють весь стояк, аналогічно діють із пристінними (крайніми) стояками. Потім знімають верхнє обв'язування, поступово відтискаючи її від підшивки стелі по всій довжині. Завершується розбирання перегородки видаленням бруса нижнього обв'язування.

Для каркасно-обшивних дерев'яних перегородок без засипки розбирання проводять аналогічно, виключаючи етапи, пов'язані з видаленням засипки. Демонтаж перегородок з гіпсо-шлакобетонних блоків, каменю та цегли виконується так само, як і розбирання стін з кам'яних матеріалів.

1.5.8 Розбирання сходів

Перед початком робіт із демонтажу сходів їх ретельно оглядають, визначаючи конструкцію та стан збереженості елементів. Процес розбирання ведеться зверху вниз, по ярусах, одночасно з демонтажем конструкцій на відповідному поверху.

Демонтаж залізобетонних сходових майданчиків здійснюється так само, як і демонтаж залізобетонних перекриттів. Проступи й підйомники починають розбирати з верхнього фризового східця.

Перед демонтажем монолітних залізобетонних маршів необхідно вивчити їхню конструкцію і схему армування, а також виділити робочу арматуру, що забезпечує міцність і стійкість всієї конструкції. Існує дві схеми влаштування монолітних залізобетонних маршів: балкова, де сходинок спираються на два косоури, та плита зі сходами і сходовими майданчиками, які спираються на лобові балки.

Сходові марші, виконані за балковою схемою, розбираються у такій послідовності: під косоури підводять тимчасові опори, між косоурами за допомогою відбійних молотків або перфораторів руйнують бетон сходинок з верхньої частини вниз, а газовими різакми обрізають арматуру — спочатку монтажну, потім робочу. Біля опор косоурів арматуру оголюють і перерізають раніше згаданими методами, а звільнені косоури транспортують на місце складування. У процесі розбирання косоурів заборонено їх утримувати за допомогою баштового крана.

Для маршів, виконаних у вигляді плити зі сходами, перфораторами або відбійними молотками пробивають смуги завширшки 0,25–0,3 м зверху вниз. Арматура, що оголилася, перерізається газовими різакми або електричними відрізними машинами. Дві останні смуги демонтуються з тимчасового ріштування, місця опори та вузли кріплення яких визначають заздалегідь.

1.5.9 Розбирання балконів

Перед початком робіт проводиться огляд балконів, встановлюється їх конструктивна схема, напрямок робочого прогону залізобетонної плити, а також оцінюється ступінь фізичного зношування з метою запобігання раптовому обваленню. Також визначаються місця укріплення страхувальних пристроїв, місця складування та способи видалення матеріалів розбирання і сміття. Найпоширеніші конструктивні схеми залізобетонних балконів включають:

- одно- або багатопрогонну плиту, що спирається на консольні балки;
- консольну плиту, закріплену в стіні;
- плиту, що вільно спирається з трьох сторін на сталеві балки, а з четвертої – закріплена в стіні будівлі;
- ребрувату плиту, що спирається на стіну будівлі та балку, розташовану паралельно стіні, яка спирається на консольні балки або вертикальні стояки.

Незалежно від конструктивної схеми, розбирання балконів відбувається у такій послідовності: спочатку демонтуються огорожі, потім підлоги та залізобетонні плити, а також звільняються від закладення і видаляються консольні й обв'язувальні балки.

Демонтаж балконів відбувається одночасно з установкою інвентарних риштувань. Довжина стояків риштувань має бути такою, щоб у зоні проведення розбирання не перетиналися вертикальні та горизонтальні елементи риштувань. Риштування також використовують для установки тимчасових опор для розібраних балок і складування матеріалів з розбирання.

Матеріали розбирання видаляють із риштувань за допомогою крана або лебідки.

1.5.10 Розбирання димових труб і печей

Перед початком робіт проводиться огляд труб і конструкцій даху для визначення наступного:

- конструкції труби (для встановлення послідовності та методів виконання робіт);
- ступеня фізичного зношування труби (для запобігання можливому обваленню);
- місць установки підмощувальних засобів;
- місць складування матеріалів, що підлягають розбиранню;
- ступеня фізичного зношування несучих елементів даху (щоб уникнути обвалення труб на них);
- місць кріплення страхувальних пристроїв.

Димарі, розташовані над дахом, демонтують до початку робіт з розбирання даху (рисунок 1.24). Труби, що підносяться над дахом більше ніж на 1,5 м, розбирають з використанням спеціальних помостів, встановлених навколо труб та обладнаних відповідними трапами і огорожами. Димарі, які виступають над дахом менш ніж на 1,5 м, демонтують з горизонтального риштування, вантаження від якого не повинно передаватися на кроквяні ноги. Якщо це необхідно, кроквяні ноги можна укріпити за допомогою установки додаткових підкосів та стояків.



Рисунок 1.24 – Розбирання димарів, що знаходяться над дахом

Ділянки димових труб у межах горищного простору, а також перекидні лежаки демонтують після того, як буде розібране покрівельне покриття і латки. Якщо висота решти ділянок димових труб перевищує 1,5 м, роботи виконують з риштування, яке встановлюється на балки горищних перекриттів.

Цегляне мурування розбирають рядами за допомогою монтажного ломика. Порядок і методи розбирання печей визначають під час огляду, при цьому враховують призначення печі (кухонне вогнище або опалювальна піч), її конструкцію (насадна або стояча окремо) та вид виконуваних робіт (облицьована кахлями, викладена в жерстяних футлярах чи металевих каркасах, обтинькована).

Печі на поверхах розбирають до початку демонтажу окремо розташованих димових труб. Спочатку розбирають перекидні горищні та кімнатні комини. При демонтажі кухонного вогнища спочатку знімають металеве обв'язування та металевий плитний настил. Цегляне мурування розбирають по рядах за допомогою ломиків, періодично змочуючи водою.

Насадні печі в багатоповерхових будівлях демонтують зверху вниз. Забороняється розпочинати демонтаж нижньої частини печі, поки верхня частина не буде повністю розібрана. Окреме зняття приладів також заборонено, оскільки це може зменшити несучу здатність конструкції та призвести до обвалення. Розбирання насадних печей на проміжних поверхах дозволяється лише у разі, якщо можливо перенести навантаження від верхніх ділянок на несучі конструкції будівлі. Печі, викладені в металевих (голландських) та жерстяних футлярах, опускають униз за допомогою крана після від'єднання від димових каналів. Матеріали, що залишилися після розбирання, сортують для можливого подальшого використання.

1.5.11 Підвищення ефективності і безпеки виконання демонтажних робіт за рахунок автоматизації

Сьогодні є багато інструментів які сприяють підвищенню ефективності і безпеки виконання ручних демонтажних робіт, наприклад:

- Бош (Bosch): електричні пилки, перфоратори, електроножиці;
- Хілті (Hilti): демонтажні перфоратори, болгарки, системи для обробки бетону;
- Мілвокі (Milwaukee): бездротові електропилки, різак для металу;
- Makita: ударні дрилі, різак, пневматичні інструменти;
- DeWalt: електричні пили, кутові шліфувальні машини, важкі ударні дрилі;
- Stihl: бензопили для розбирання конструкцій⁴

Демонтаж будівельних конструкцій є складним і трудомістким процесом, що вимагає ретельного планування та використання спеціалізованого обладнання. Традиційно більшість цих робіт виконуються вручну, що потребує значних зусиль і часу. Однак, з розвитком технологій, роботизовані маніпулятори стають дедалі популярнішими у сфері будівництва і демонтажу, значно підвищуючи ефективність і безпеку процесів.

Роботизовані маніпулятори здатні виконувати різноманітні завдання, такі як збирання, переміщення та демонтаж конструкцій. Вони забезпечують високу точність і повторюваність дій, що особливо важливо у процесах, які вимагають підвищеної обережності, наприклад, під час розбирання склепінь. Основними перевагами використання таких систем є:

- Зниження ризику для працівників. Роботизовані маніпулятори можуть виконувати небезпечні завдання, що знижує ймовірність травм на робочому місці.
- Підвищення продуктивності. Використання маніпуляторів дозволяє виконувати демонтажні роботи швидше, знижуючи час, необхідний для

виконання конкретних завдань (зменшення норми часу виконання робіт на 30-50% в залежності від складності завдань).

- Точність виконання. Маніпулятори можуть здійснювати дії з великою точністю, що важливо для збереження цілісності сусідніх конструкцій і зменшення витрат на відновлення.

- Можливість роботи у важкодоступних та небезпечних місцях. Роботизовані системи можуть бути розроблені для роботи в обмежених або хімічно-забруднених просторах, що дозволяє проводити демонтаж там, де традиційні методи можуть бути неефективними.

Сьогодні на ринку представлено багато компаній, які займаються розробкою і виробництвом роботизованих маніпуляторів для демонтажних робіт. Провідними компаніями в цьому напрямку є:

- ABB Robotics – відомий виробник, який пропонує широкий спектр роботизованих рішень для різних галузей, включаючи будівництво.
- KUKA – компанія, що спеціалізується на автоматизації, пропонує маніпулятори, здатні виконувати складні демонтажні завдання з високою точністю.
- FANUC – ще один лідер у сфері робототехніки, який пропонує інноваційні рішення для будівельної індустрії.
- Caterpillar – виробник важкої техніки, також впроваджує роботизовані технології у свої рішення для демонтажу.

З розвитком технологій, таких як штучний інтелект і машинне навчання, роботизовані системи стануть ще більш адаптивними та здатними виконувати складні завдання з мінімальним втручанням людини.

1.6. Методологічні підходи до вторинного використання будівельних матеріалів.

1.6.1 Концепції управління потоками вторинних ресурсів в будівельній галузі для виконання будівельних процесів

Розвиток використання вторинних ресурсів у економіках розвинених промислових країн зумовлений глибокими змінами у світовій економіці, викликаними проблемою дефіциту первинної мінеральної сировини та значним прогресом у технологіях переробки промислових, будівельних і міських відходів. Будівельні відходи мають потенціал для повторного використання як вторинні матеріальні ресурси, що відповідає загальним світовим тенденціям і основним міжнародним стандартам [20].

Беззаперечним є те, що будівельна галузь генерує величезну кількість відходів на всіх етапах, починаючи з видобутку сировини для виготовлення будівельних матеріалів, процесу будівництва, і завершуючи знесенням та демонтажем споруд. Будівельна промисловість споживає більше сировини, ніж будь-яка інша галузь (за деякими оцінками, до 50% світових ресурсів), що вказує на сучасні виклики, пов'язані з її нестабільністю. Потреба в сировині у світі постійно зростає, а її виробництво стає дедалі дорожчим. Враховуючи сучасні економічні тенденції, підприємства будівельної сфери, як найбільш матеріалоємної галузі, є одними з найуразливіших до обмеженості ресурсів.

Більшість розвинених економік, роблячи акцент на запобіганні та скороченні утворення відходів, ставлять за мету максимально використовувати відходи матеріалів і сировини як вторинні ресурси. Використання техногенних відходів, що мають потенціал для повторного застосування, є важливою світовою практикою для вирішення проблем промислового розвитку, формування політики збереження природних ресурсів, енергозбереження та забезпечення економічної, екологічної й соціальної стабільності регіонів. Важливо підкреслити, що розвиток

технологій інноваційного використання вторинної сировини сприяє постійному розширенню можливостей цього процесу та збільшенню асортименту продукції, отриманої з вторинних ресурсів, зокрема в будівельній галузі.

Впровадження світового досвіду використання вторинних ресурсів у будівельній сфері може стати основою для створення інфраструктури з переробки відходів та залучення їх у повторний обіг. Це сприятиме більш ефективній реалізації Національної стратегії управління відходами до 2030 року, затвердженої Урядом України [20]. Метою цієї стратегії є системний підхід до управління відходами на державному та регіональному рівнях, зменшення їх кількості шляхом збільшення переробки та повторного використання.

Організаційний аспект вищезазначеної проблеми варто розглядати з точки зору логістики, яка охоплює комплекс заходів зі створення та функціонування системи логістики будівельних і демонтажних відходів. Це дозволить підвищити ефективність використання будівельних відходів як вторинної сировини.

Перспективи застосування логістичних підходів у сфері управління потоками будівельних відходів обумовлені відсутністю на сьогоднішній день ефективної взаємодії між транспортними, матеріальними та інформаційними потоками в цій галузі. На нашу думку, для досягнення комплексного управління відходами необхідно створити ефективну логістичну систему з використанням сучасної оптимізаційної моделі, доповненої інформаційною складовою. Це забезпечить системний підхід до управління відходами, підвищить ефективність їх обробки та використання ресурсів, а також зменшить негативний вплив на довкілля.

Впровадження логістичної концепції дозволяє раціоналізувати та оптимізувати складну логістичну систему, яка забезпечує комплексне управління потоками відходів та вторинної сировини в будівельній галузі (СКУПВ) [21].

Застосування основних принципів логістичного управління в межах складної логістичної системи включає: спрямованість, гнучкість, синхронізацію, оптимізацію, інтеграцію процесів і потоків, комплексність, надійність, ефективність та цілісність. Виходячи з цього, на основі семантичного аналізу пропонується математична модель для визначення загального обсягу ресурсів, необхідних для управління потоками відходів та вторинної сировини в будівництві, з ключовою роллю логістичної системи та інформаційної платформи системи СКУПВ (рисунок 1.25).

З уточненням [22] цільова функція моделі виглядає наступним чином:

$$TRt\ n = \sum (\sum (CR(v, n, g, t) \cdot x(v, n, e, g, t) \cdot g \in G) + \sum_{v \in V, n \in N, g \in G} (LR(v, n, e, t) \cdot x(v, n, e, g, t) \cdot e \in E) + (1) + \sum_{v \in V, e \in E} (SR(v, e, t) \cdot \sum_{n \in N} x(v, n, e, g, t))),$$

де: $TRn\ t$ – загальний ресурс (витрат, інвестицій), необхідний підприємству (n) з переробки відходів будівництва в t – періоді;

$CR(v, n, g, t)$ – витрати ресурсів на введення в експлуатацію потужностей з переробки будівельних відходів v – виду на переробному 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 – переробника (n) в певний період часу (t);

$SR(v, e, t)$ – загальний обсяг необхідних ресурсів (витрат) для забезпечення процесу зносу та збору відходів (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.

З погляду логістики, вторинні ресурси формують реверсивні матеріальні потоки, які мають бути інтегровані в повторний господарський обіг. Таким чином, максимізація використання будівельних відходів сприяє інтенсифікації

цих потоків, що можна досягти через максимально можливий кругообіг матеріальних ресурсів.



Рисунок 1. 25 Удосконалення концепції управління потоками вторинних ресурсів в будівельній галузі для виконання будівельних процесів.

Аналіз процесів та алгоритмів управління потоками вторинних ресурсів з використанням сучасних концепцій логістичних систем є вирішальним чинником для розвитку високотехнологічної інфраструктури переробки відходів у галузі та їх подальшого застосування як вторинної сировини у будівельних процесах.

1.6.2. Теоретичні дослідження методів утилізації будівельних відходів шляхом їх повторного використання у будівництві

Екологічною альтернативою традиційному захороненню будівельних відходів є вторинне перероблення матеріалів, яке безпосередньо зменшить використання природних ресурсів і знизить викиди парникових газів в атмосферу. У рамках цієї технології перероблена сировина може бути використана за своїм прямим призначенням. Рециклінг сприяє більш раціональному використанню вичерпних природних ресурсів та мінімізації екологічного збитку від виробничої діяльності, особливо в будівельному секторі. Під час відновлення міст, міської забудови, інфраструктури й соціальних об'єктів, це зможе значно скоротити собівартість будівництва, а відходи будівництва й зносу надалі також стануть досить привабливим ресурсом в умовах реконструкції.

Сьогодні багато дослідників активно працюють над пошуком матеріалів, які можуть знизити вартість будівництва, не шкодячи довговічності, а також підвищити міцність. Різні підходи до вирішення цих питань, зокрема класифікації, перероблення, зберігання, знешкодження та утилізація, були розглянуті такими фахівцями, як Lori Ferriss, Larkham, Nasonova T.V., Troian V., Sandeep Nasier та інші [23-32]. Однак сьогодні, в умовах війни в Україні, де тривають активні бойові дії, що призводять до руйнування міської інфраструктури та забудов, особливо актуальними стають дослідження, пов'язані з проблемою наявності значних обсягів будівельних відходів. Це включає перспективні технологічні процеси переробки, зберігання,

знешкодження та утилізації таких відходів, а також можливості їх подальшого використання.

У зв'язку зі зростаючою потребою в відновленні міських територій, будівель та споруд виникає усвідомлення того, що для ефективного та швидкого вирішення цієї проблеми слід впроваджувати нові високоефективні та економічні технології, які можна реалізувати в короткі терміни на національному рівні, як альтернативу стандартним, дорогим і занадто повільним методам будівництва.

Як вже зазначалося, будівельні відходи можуть виникати з різних джерел і внаслідок різних видів будівельних робіт. Відповідно, перелік робіт із збору, вивезення, переробки та утилізації може суттєво відрізнятися. Руйнування, викликані сучасними війнами, супроводжуються прихованими загрозами, адже можуть містити, крім будівельного сміття, нерозірвані снаряди, протипіхотні міни та пастки, встановлені ворогом. У таких випадках [33] ООН рекомендує протягом 2-3 днів оцінити збитки в постраждалих районах та, для забезпечення доступу рятувальників, перш за все розпочати з розчищення доріг, а потім переходити до очищення території від небезпечних матеріалів, після чого проводиться детальна оцінка руйнувань, і визначається перелік робіт, необхідних для розбору завалів. Всі інші роботи залежать від цілей і пріоритетів місцевої влади, таких як швидкість виконання, вартість, вплив на навколишнє середовище, залучення фахівців для розбору завалів та участь місцевого населення.

За походженням будівельні відходи від руйнувань можна поділити на:

- будівельні відходи, що виникають внаслідок пошкодження та руйнування об'єктів (повного або часткового порушення їх цілісності через позапроектні впливи, спричинені бойовими діями);
- будівельні відходи, що виникли внаслідок виконання робіт із демонтажу пошкоджених (зруйнованих) об'єктів, включаючи поетапне контрольоване часткове або повне розбирання на окремі елементи та вироби,

або неконтрольоване знесення, яке сталося через обвал під час використання спеціальної техніки.

Будівельні відходи, що виникають внаслідок руйнувань, складаються з таких компонентів:

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

- супутні компоненти: матеріали та предмети, що перебували всередині або поруч з об'єктом під час його пошкодження (руйнування) або демонтажу, зокрема обладнання, особисті речі, предмети вжитку (меблі, побутова техніка) та органічні речовини.

Операції щодо поводження з будівельними відходами від руйнувань приведені на рисунку 1.26.

Місця тимчасового зберігання будівельних відходів потрібно ретельно організовувати згідно відстаней санітарно-захисних зон зазначених у постанові Кабінету Міністрів України від 27 вересня 2022 р. № 1073 «Про порядок поводження з відходами, що утворились у зв'язку з пошкодженням (руйнуванням) будівель та споруд внаслідок бойових дій» [34] та вимог щодо їх влаштування.

При організації місць тимчасового зберігання необхідно врахувати відповідну організацію території, зокрема виділити ділянки для тимчасового зберігання, сортування, переробки та тимчасового зберігання отриманих вторинних сировин.

Під час зберігання будівельних відходів, що виникають внаслідок руйнувань, слід заборонити їх змішування. Зберігання відходів має здійснюватися таким чином, щоб забезпечити безперешкодне навантаження на транспортні засоби для їх вивезення з місць тимчасового зберігання. У цих місцях допускається виконання операцій з переробки виключно основних компонентів відходів від руйнувань. Це можуть бути будівельні конструкції,

заповнення дверних та віконних блоків, інженерні мережі, санітарно-технічні прилади тощо, які не містять і не забруднені небезпечними відходами.

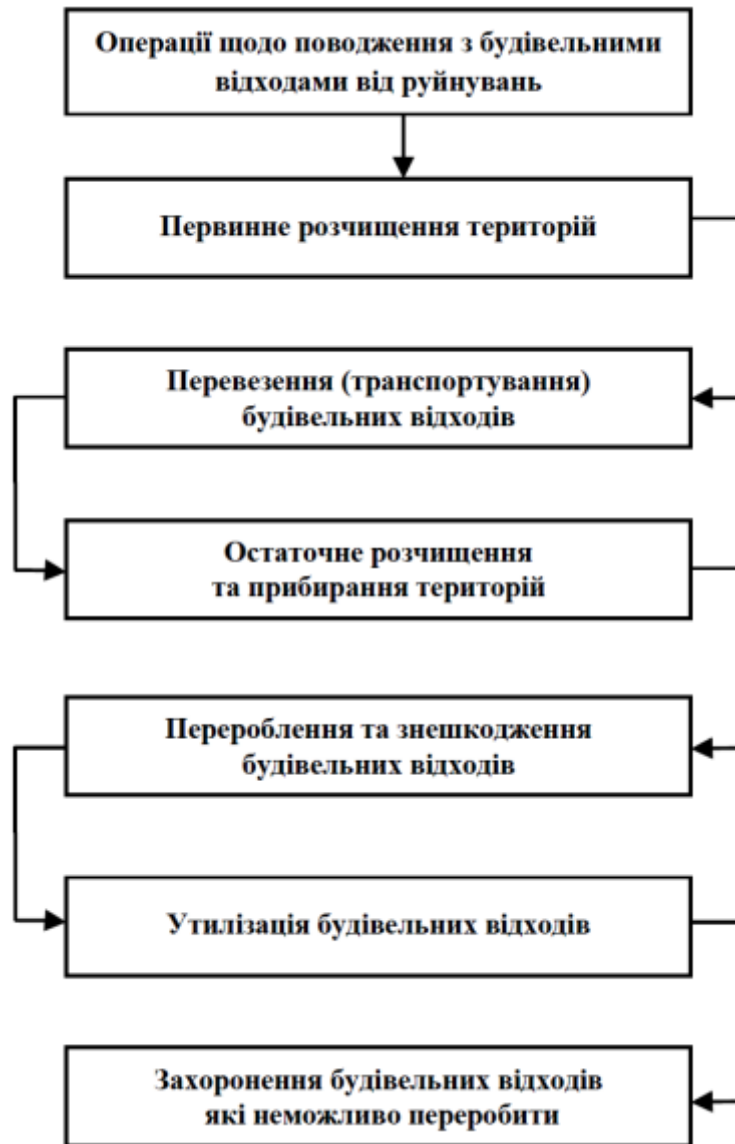


Рисунок 1.26. Операції з управління будівельними відходами, що виникають внаслідок руйнувань.

Основні види будівельних відходів від руйнування будівель це: засмічений ґрунт, асфальт, цегла, бетон і залізобетон, деревина, скло, керамічна плитка тощо. Кожен з них потребує окремої переробки.

Деревина. Для виготовлення будівельних матеріалів і виробів здебільшого використовуються обпилювання, стружка та кускові відходи. Останні можуть бути використані як для виробництва клеєних будівельних виробів, так і для переробки на технічну тріску, з подальшим виготовленням стружки, подрібленки, волокнистої маси тощо. Характер наступної переробки тріски залежить від типу отриманого матеріалу. Для виробництва арболіту використовуються подрібленка або стружка, для деревостружкових плит – стружка, а для деревоволокнистих плит – волокниста маса. Одним із способів утилізації відходів деревини є виробництво паливних брикетів.

Цегла може бути використана для виробництва будівельної суміші як компонент будівельного розчину. Дробильно-сортувальний комплекс виготовляє цегельний рециклат з розміром зерен до 80 мм у різних фракціях. Найчастіше його використовують для виробництва бетону, який може бути застосований при зведенні стін, для виготовлення збірних елементів або спеціальних блоків. Пресовані пінобетонні блоки із суміші переробленої цегли та глини, змішаної з цементом або без його додавання.

Бетонний рециклат. Найчастіше перероблений бетон використовується як наповнювач у нових бетонних сумішах. Хоча його застосування може негативно впливати на фізичні властивості нового бетону (зменшуючи міцність, пластичність і підвищуючи усадку), існує багато способів його використання. Перероблений бетон можна використовувати для основи доріг, під шпали або як заміну щебню у конструкційному бетоні нижчих класів. Завдяки своїм фізичним властивостям (вищій кількості дрібних пор і грубій поверхні), які впливають на звукопоглинання, перероблений бетон може бути використаний у будівництві шумових бар'єрів.

Фібробетон. Прикладом використання відходів будівництва та зносу будівель є їх застосування у виробництві фібробетону. У цьому випадку цегельний або бетонний рециклат повністю заміщує природні заповнювачі. Поєднуючи перероблені відходи з синтетичними волокнами та зв'язуючими

компонентами, отримують унікальний фібробетон — новий композит з новими властивостями, що має широке застосування в будівельній практиці.

Перероблений асфальт використовується не лише як кам'яна фракція, а й як заповнювач. Асфальтобетон, отриманий з знятого та відновленого асфальтового покриття, знову стає невід'ємною частиною нового покриття. Перероблений асфальтобетон замінює частину нового асфальтобетону, необхідного для облаштування проїзних частин і пішохідних зон, що дозволяє зменшити витрати дорожніх підприємств. Принаймні до 80 % асфальтного покриття може бути використано повторно. Скло є єдиним типом сировини, який можна переробляти безліч разів. Після утилізації скло може бути використано для виготовлення піноматеріалів (піноскло), теплоізоляційних виробів, сандвіч-панелей, утеплювачів і ізоляцій (скловата) для трубопроводів, а також як заповнювач у бетоні.

Після аналізу списку компонентів відходів від руйнувань були запропоновані способи повторного використання цих компонентів у будівництві [33] (таблиця 1.3).

Таблиця 1.3 Способи повторного використання у будівництві компонентів будівельних відходів

Назва компонентів відходів від руйнування	Можливі шляхи повторного використання компонентів відходів від руйнувань
1	2
1. Бетон (бетонні, залізобетонні конструкції та вироби, їх уламки, мінеральні (цементно-піщані, гіпсові, вапняні тощо), полімер-цементні мурувальні та опоряджувальні розчини)	– сировина для виробництва крупного та дрібного заповнювачів для бетонів (класу до C20/25), а також щебенево-піщаних сумішей для влаштування шарів покриття дорожнього одягу без використання в'язучих; – влаштування насипів втомобільних доріг; – сировина для виробництва крупного та дрібного заповнювачів для бетонів (класу до C20/25), а

	також щебенево-піщаних сумішей для влаштування шарів основи та покриття дорожнього одягу без використання в'язучих; – влаштування насипів втомобільних доріг; – сировина для виробництва порошкоподібних наповнювачів для виробництва стінових блоків і сухих будівельних сумішей; – матеріали для зворотного заповнення (відновлення рельєфу, заповнення гірничих виробок (пустот), рекультивації відпрацьованих гірничих об'єктів, інших ландшафтних робіт); – сировина для металевих будівельних конструкцій; – металобрухт (що утворюється під час видалення металевих включень, зокрема залізобетону) як вторинна сировина для металургійного виробництва; – подрібнений бетон як вторинний матеріальний ресурс для виробництва цементного клінкеру
2. Цегла (цегляний бій)	– сировина для влаштування дренажної подушки у заболочених районах; – укріплення ґрунтових і лісових доріг; – заповнювач для габіонів (силікатна цегла) (за винятком сировини для виробництва крупного та дрібного заповнювачів, а також щебенево-піщаних сумішей для влаштування шарів основи та покриття дорожнього одягу)
3. Облицювальна плитка, черепиця та кераміка (зокрема керамічна плитка, камені, санітарна кераміка)	Сировина для укріплення ґрунтових і лісових доріг (за винятком сировини для виробництва крупного та дрібного заповнювачів, а також щебенево-піщаних сумішей для влаштування шарів основи та покриття дорожнього одягу)

4. Суміші або окремі фракції бетону, цегли, облицовальної плитки і кераміки	– сировина для виробництва крупного та дрібного заповнювачів для бетонів (класу до C20/25), а також щебенево-піщаних сумішей для влаштування шарів основи та покриття дорожнього одягу без використання в'язучих; – влаштування насипів автомобільних доріг; – сировина для виробництва порошкоподібних наповнювачів для виробництва стінових блоків і сухих будівельних сумішей; – матеріали для зворотного заповнення (відновлення рельєфу, заповнення гірничих виробок (пустот), рекультивації відпрацьованих гірничих об'єктів, інших ландшафтних робіт); – сировина для металевих будівельних конструкцій; – металобрухт (що утворюється під час видалення металевих включень, зокрема залізобетону) як вторинна сировина для металургійного виробництва; – подрібнений бетон як вторинний матеріальний ресурс для виробництва цементного клінкеру; – заповнювачів, а також щебенево-піщаних сумішей для влаштування шарів основи та покриття дорожнього одягу
5. Деревина	– арболіт, деревні пластики, епіклоїзольні та звукоізоляційні матеріали (плити), деревностружкові плити, паливні брикети; – спорудження тимчасових проїздів під час відновлення руху через перешкоду; – вторинний матеріально-енергетичний ресурс для цементного виробництва
6. Скло (склобій)	Порошкоподібний заповнювач для виробництва бетонних виробів, сухих будівельних сумішей,

	світловідбивних фарб для дорожньої розмітки тощо, вторинна сировина для виробництва скловиробів, оптичних кабелів тощо
7. Пластмаси (уламки пластмасових труб, електропроводки, полімерних погонажних виробів, склопакетів полімерних ущільнювачів тощо)	– вторинна сировина для виробництва полімерної продукції; – вторинний матеріально-енергетичний ресурс для цементного виробництва (за винятком полівінілхлориду)
8. Бітумні суміші, що містять вугільну смолу (покрівельні та гідроізоляційні вироби: дьогтебітумні, бітумо- полімерні, гумодьогтьові та бітумні безосновні матеріали (ізол), вироби на основі картону (руберойд, пергамін, толь)	Компонент асфальтобетонних та бітумомінеральних сумішей для шару основи дорожнього одягу автомобільних доріг III-IV категорій, бітумінозних будівельних матеріалів тощо
9. Бітумовмісні матеріали у вигляді пошкодженого асфальтобетону	
10. Вугільна смола та просмолені продукти	
11. Метали (включаючи їх сплави): мідь, бронза, латунь, алюміній, свинець, цинк, чавун, сталь, олово, змішані метали	Вторинна сировина для металургійного виробництва
12. Кабелі	Виокремлення металевих компонентів для повторної переробки
13. Ґрунт та каміння	Засипка окремих ділянок, формування ландшафту в рамках планування територій, влаштування насипів автомобільних доріг
14. Дорожній баласт (щебінь)	Влаштування шарів основи дорожнього одягу, влаштування насипів автомобільних доріг

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

РОЗДІЛ 2. ТЕОРЕТИЗОВАНІ ЗАСАДИ ІЗ СТВОРЕННЯ ОПТИМІЗАЦІЙНИХ РІШЕНЬ ДЛЯ ДЕМОНТАЖУ ТА ВТОРИННОГО ВИКОРИСТАННЯ БУДІВЕЛЬНИХ МАТЕРІАЛІВ

2.1 Оптимізаційні рішення для демонтажу будівель і споруд

2.1.1 Систематизація проєктних рішень щодо знесення та демонтажу будівель і споруд

Процес знесення потребує зусиль та координації багатьох фахівців із різних сфер. Одним із ключових аспектів є проєктування технології виконання робіт. Упровадження цифрових технологій у процес створення проєкту виконання робіт сприятиме швидшому складанню якісної документації, яка буде зрозумілою та переконливою для всіх учасників. Першим кроком до цифровізації такого процесу є типізація та систематизація проєктних рішень за певними критеріями для їх подальшого використання.

Поетапність процесів демонтажу та знесення будівель і споруд висвітлюється в наукових фахових виданнях через приклади використання різних технологій та методів руйнування, а також їхній вплив на навколишнє середовище, а саме розглядаються питання:

- ефективності технологій виконання робіт з ліквідації об'єктів демонтажу[35];
- техніко-економічних показників виконання робіт [36];
- критерії відбору способів знесення [37];
- оцінення несної здатності конструкцій під час демонтажу [38];
- оцінення матеріаломісткості конструкцій споруд, що підлягають демонтажу [39];
- спеціалізовані методи знесення будівель [40];

- впливу зовнішніх факторів, від яких залежить методи та засоби демонтажу [41] та ін.

В наукових публікаціях наводяться різні приклади та аргументи використання тих чи інших методів знесення конструкцій та обґрунтовуються їх переваги. Описано безліч прикладів практичного досвіду застосування різних способів, які не мають узагальнень.

Приклади практичного досвіду використання різних методів поки що залишаються поодинокими, без узагальнення, а результати є радше загальними рекомендаціями. Використання цифрових технологій систематизації за визначеними ознаками та автоматизованого пошуку, у поєднанні з типовими технологічними документами (схемами, відомостями), які можна повторно використовувати, значно скоротить час на розробку проєкту виконання робіт і зробить його більш зрозумілим і переконливим для всіх учасників процесу.

Як приклад досягнення мети типізації рішень та цифровізації процесу розробки проєкту виконання робіт, можуть бути виконані такі завдання [42]:

- створення електронної бази документів на основі реалізованих проєктів демонтажу будівель і споруд.

- проведення аналізу технічних рішень, закладених у проєкти виконання робіт; визначено ключові фактори об'єкта та його оточення, які впливають на прийняття технічних рішень щодо демонтажу будівель і споруд.

- визначення діапазонів зміни значень ключових факторів (таблиця 2.1) та відносна частота прийнятих рішень у загальному обсязі вибіркової сукупності (таблиця 2.2).

Таблиця 2.1 Розподіл об'єктів вибіркової сукупності за значеннями параметрів

Ознаки, ключові фактори	Діаграми, гістограми розподілу ознак	Накопичувальний графік або кругова діаграма	Пояснення
Висотність об'єкта за кількістю поверхів/перекриттів			Понад 80 % об'єктів вибірки мають 1–5 поверхів
Конструктивний тип будівлі			За конструктивною ознакою 70 % об'єктів Каркасні
Клас наслідків (відповідальності будівлі)			Понад 66 % є об'єктами із середнім рівнем наслідків (CC2)

Таблиця 2.2 - Відносна частота (повторюваність) прийнятих рішень на об'єктах вибіркової сукупності

Рішення демонтажу конструкцій	3	Гістограма, відносна чистота (повторюваність) рішень	Пояснення												
Метод різання металоконструкц ій		<table><tr><th>Метод</th><th>Відносна частота</th></tr><tr><td>ні</td><td>16,7%</td></tr><tr><td>так (газовими різакми)</td><td>66,7%</td></tr><tr><td>так (електроінструментом)</td><td>16,7%</td></tr></table>	Метод	Відносна частота	ні	16,7%	так (газовими різакми)	66,7%	так (електроінструментом)	16,7%	У 67 % випадків використовують ся газові різакки				
Метод	Відносна частота														
ні	16,7%														
так (газовими різакми)	66,7%														
так (електроінструментом)	16,7%														
Спеціальні методи демонтажу		<table><tr><th>Метод</th><th>Відносна частота</th></tr><tr><td>ні</td><td>66,7%</td></tr><tr><td>так (алмазна різання)</td><td>26,7%</td></tr><tr><td>так (гідроклін)</td><td>3,3%</td></tr><tr><td>так (вибух)</td><td>3,3%</td></tr></table>	Метод	Відносна частота	ні	66,7%	так (алмазна різання)	26,7%	так (гідроклін)	3,3%	так (вибух)	3,3%	У 27 % випадків розрізання залізобетонних конструкцій		
Метод	Відносна частота														
ні	66,7%														
так (алмазна різання)	26,7%														
так (гідроклін)	3,3%														
так (вибух)	3,3%														
Застосування екскаваторів, масою (т)		<table><tr><th>Маса (т)</th><th>Відносна частота</th></tr><tr><td>ні</td><td>43,3%</td></tr><tr><td>12-20т</td><td>10,0%</td></tr><tr><td>22-30т</td><td>13,3%</td></tr><tr><td>32-45т</td><td>13,3%</td></tr><tr><td>більше 46</td><td>20,0%</td></tr></table>	Маса (т)	Відносна частота	ні	43,3%	12-20т	10,0%	22-30т	13,3%	32-45т	13,3%	більше 46	20,0%	У понад у 56 % демонтаж виконується екскаваторами
Маса (т)	Відносна частота														
ні	43,3%														
12-20т	10,0%														
22-30т	13,3%														
32-45т	13,3%														
більше 46	20,0%														

Такі результати досліджень дозволять суттєво скоротити час на розроблення проєктів виконання робіт та реалізувати їх із мінімальними витратами часу та засобів.

Далі наведено схеми технології виконання робіт за деякими з прийнятих рішень для об'єктів демонтажу[42].

На практиці часто трапляються випадки, коли демонтажні роботи виконуються на значній висоті. На рисунках 2.1 і 2.2 представлено схему організації виконання робіт із застосуванням люльок, підвішених на гак крана

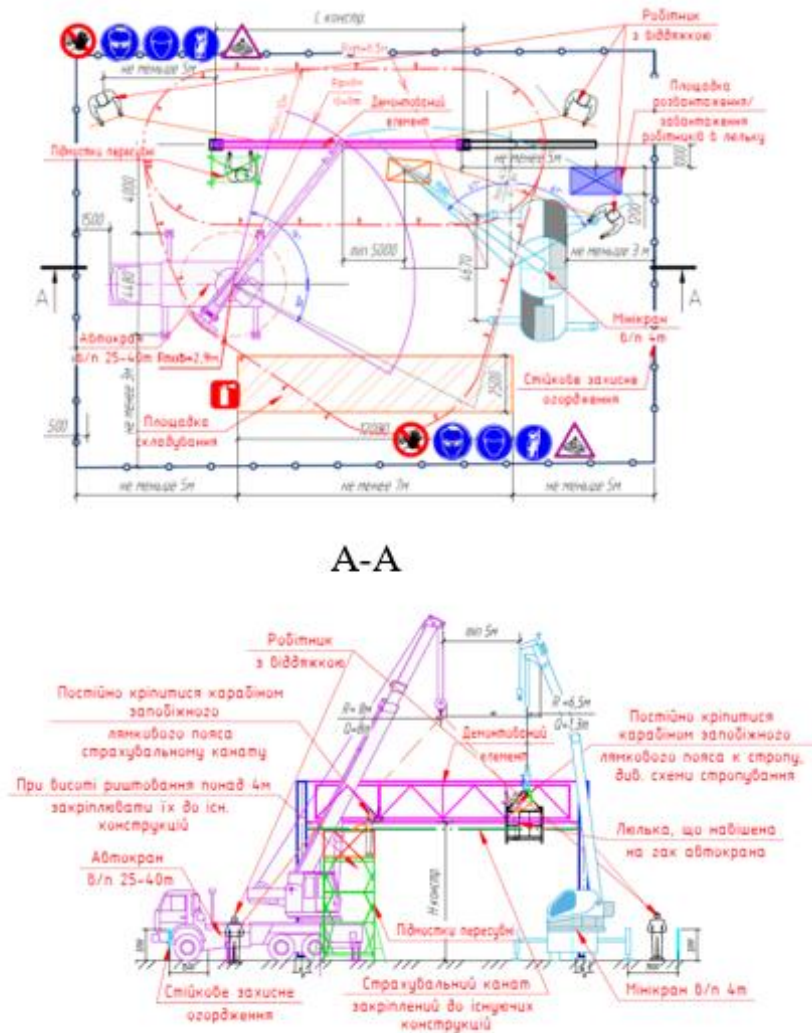


Рисунок 2.1. Схема роботи з люльки, підвішеної на гак крана

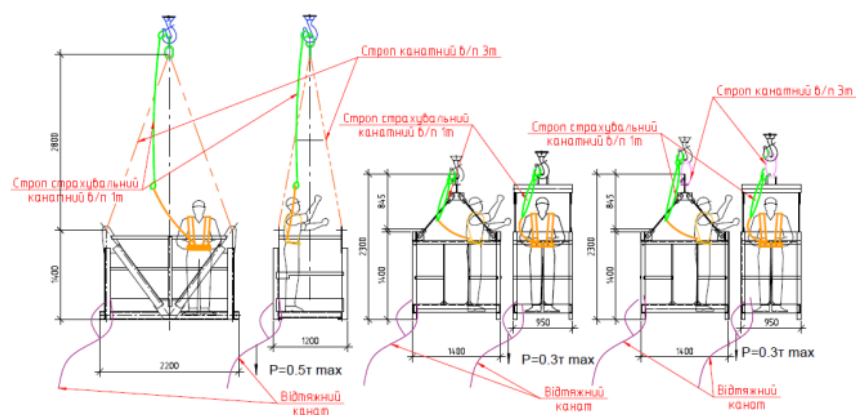


Рисунок 2.2 Схема стропування люльок

Найпоширенішим способом демонтажу металевих конструкцій – є демонтаж газовими різакми. На рисунку 2.3 наведено схеми розбирання металокопункцій за допомогою газових різаків.

Наступна схема (рисунок 2.4) – демонтаж із застосуванням алмазних канатів.

На рисунках 2.5 та 2.6 наведені схеми демонтажу за допомогою екскаваторів.

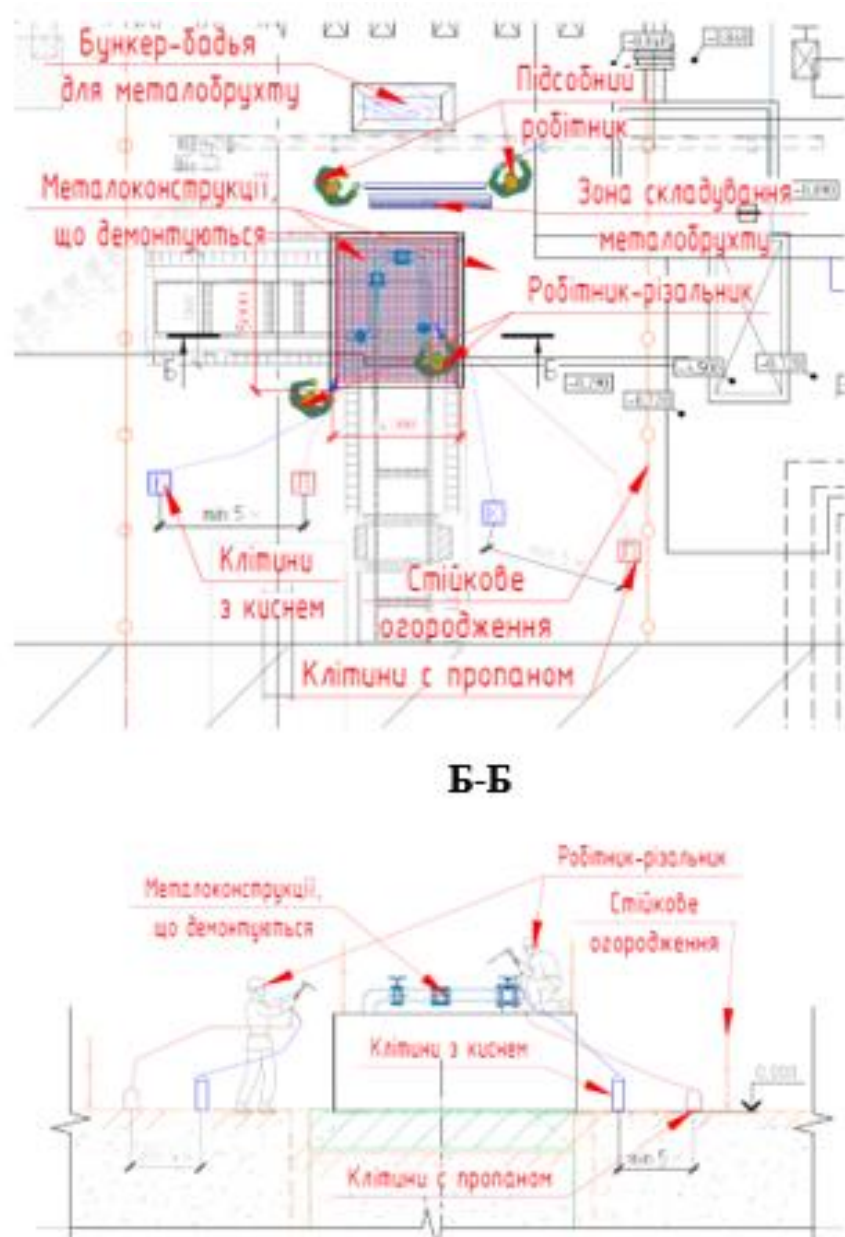


Рисунок 2.3. Схема демонтажу МК газовим різакком

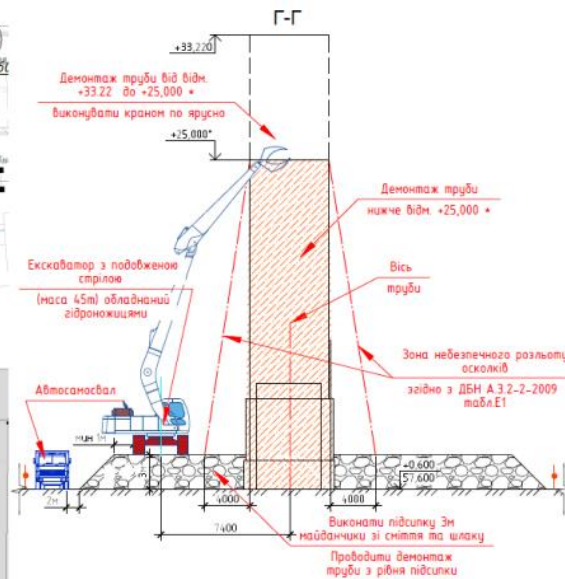
[illegible]

Рисунок 2.5. Схема демонтажу за допомогою екскаватора масою 45 т

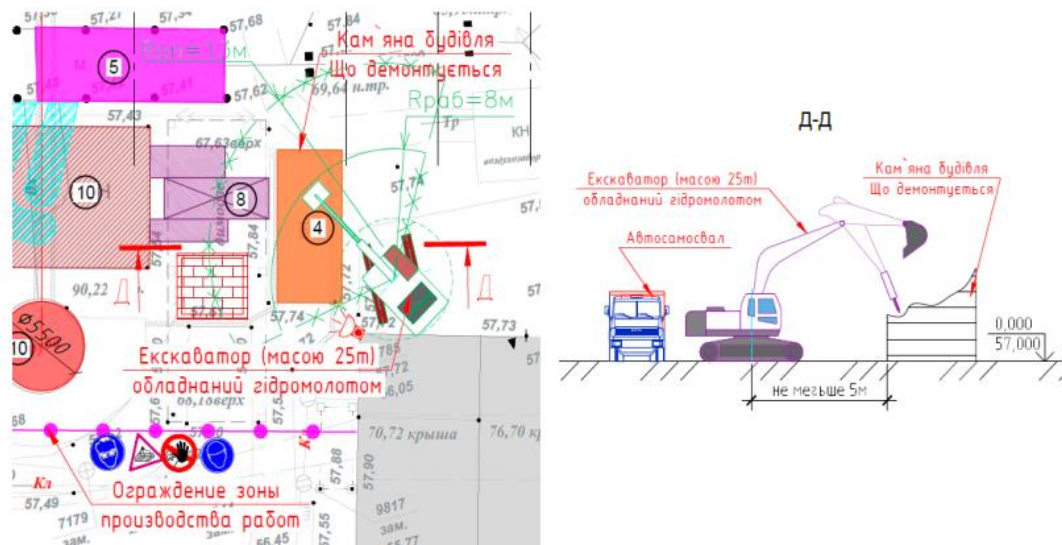


Рисунок 2.6. Схема демонтажу за допомогою екскаватора масою 25 т

2.1.2 Методи розбирання (демонтажу) будівель і споруд

Розбирання (демонтаж) будівель і споруд, які перебувають в аварійному стані, здійснюється шляхом знесення або часткового чи повного демонтажу конструкцій. Залежно від рівня пошкоджень будівлі, може бути розглянута можливість її відновлення із частковою або повною заміною несучих і огорожувальних конструкцій, які втратили свої властивості внаслідок вибуху та перебувають в аварійному стані. (рисунок 2.7).



Рисунок 2.7 Фасад багатоповерхівки, зруйнованої під час авіаційних ударів по м.Запоріжжя 29 вересня 2024року

Механічне розбирання будівлі передбачає поступове руйнування її конструкцій із використанням спеціального обладнання. Особливо поширеним є механічне розбирання за допомогою екскаватора (рисунок 2.8), оснащеного сталевую кулею, гідравлічними ножицями, захватами або штовханням конструкцій маніпулятором. Додатковими прикладами спеціального обладнання для демонтажу є:

- гусеничні крани — забезпечують високу стабільність при роботі на великих висотах;
- телескопічні вишки — дозволяють досягати значних висот для виконання демонтажних робіт.
- демонтажні роботи з використанням підйомників — для підняття робітників та обладнання до необхідної висоти.
- гідравлічні домкрати — застосовуються для підняття важких елементів конструкцій перед їх демонтажем.

Ці інструменти та обладнання забезпечують ефективність і безпеку під час виконання демонтажних робіт.

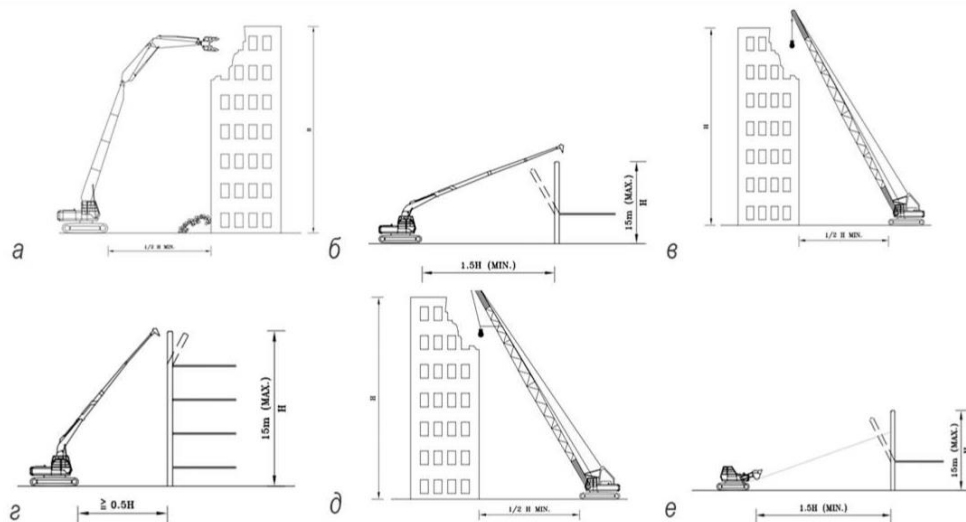


Рисунок 2.8. Схеми механічного розбирання крупнопанельних будівель [1]: а —гідравлічними ножицями; б —штовхання (на себе); в —сталевую кулею (вертикальне падіння); г —штовхання (від себе); д —сталевую кулею (розгойдування); е -механічне руйнування сталевим канатом

При сильних руйнаціях використовується знесення будівлі вибуховим методом, однак, враховуючи щільну міську забудову, застосування вибухових технологій вимагає вжиття заходів для захисту від шуму та вібрацій, оскільки це може створити ризик розльоту дрібних частин конструкцій і будівельного сміття.

Розбирання пошкоджених конструкцій проводиться в послідовності зверху вниз. При демонтажі елементів необхідно влаштовувати тимчасове кріплення, а також забезпечити просторову жорсткість конструкцій. Для цього використовують спеціальний інвентар в різноманітній комбінації: упори, підкоси, розтяжки та інше для тимчасового закріплення конструкцій будівлі.

Особливу увагу слід приділити технічному стану несучих конструкцій. Якщо елементи перебувають в аварійному стані, необхідно забезпечити не лише тимчасове, а й охоронне кріплення аварійних конструкцій. Демонтаж виконується за допомогою баштового крана, який піднімає конструкції за допомогою спеціальних траверс і строп, закріплених у попередньо підготовлених отворах. Розбирання проводиться таким чином, щоб видалення одних елементів не призводило до обвалення інших [43].

Серед сучасних методів демонтажу можна виділити розбирання будівлі з використанням сучасного монтажно-технологічного мобільного комплексу. Цей метод передбачає розміщення комплексу поруч із будівлею або на її даху, який повністю закриває робочий простір і має всі необхідні механізми для демонтажу. Закриття робочої ділянки дозволяє значно зменшити вплив демонтажних робіт на навколишню забудову.

Використання цього методу підвищує безпеку та продуктивність демонтажних робіт, адже обмежує вплив кліматичних чинників, таких як вітер, дощ, сніг або спека, на робітників.

Прикладом успішного застосування такого підходу є досвід компанії Taisei Corporation, яка використовувала монтажно-технологічний мобільний комплекс (МТМК) для демонтажу будівлі (рисунк 2.8) [44]. Завдяки використанню цього комплексу, Taisei Corporation змогла значно зменшити

ризика, пов'язані з навколишньою забудовою, та забезпечити безпеку під час виконання робіт. Однак головним недоліком цього методу є те, що встановлення комплексу є трудомістким процесом, який потребує організації додаткових тимчасових опор.



Рисунок 2.9. Використання МТМК (Taisei Corporation) при демонтажі будівлі

Демонтаж колон розглядається як складний процес, який потребує детального планування та використання спеціального обладнання та техніки. Колони –це вертикальні стержневі конструкції, які використовуються в каркасному будівництві багатоповерхових, промислових, адміністративних будівлях та мають різні розміри й форми, залежно від їх призначення та місця у будівельній конструкції.

Пошкодження залізобетонних і металевих колон внаслідок вибуху можуть бути різноманітними. У випадку залізобетонних конструкцій можуть виникнути розтріскування бетону, деформація колони та руйнування арматури. Деякі з цих ушкоджень стають помітними одразу, тоді як інші можуть проявитися лише через деякий час після вибуху.

Приклади світового досвіду демонтажу колон свідчать про ефективні рішення в таких ситуаціях. Наприклад, під час демонтажу частини будівлі у

Нью-Йорку, що зазнала пошкоджень від теракту 9/11, фахівці використовували комбінацію механічного та вибухового демонтажу, щоб безпечно видалити пошкоджені залізобетонні колони, уникаючи ризику обвалення залишків конструкції.

Найпоширенішими методами демонтажу залізобетонних колон є:

- механізований;
- вибуховий;
- гідроабразивний.

У більшості випадків для демонтажу залізобетонних колон після вибуху застосовують механічний та вибуховий методи, що становлять близько 60–70 % усіх випадків тоді, як до гідроабразивного методу вдаються приблизно у 20–30 % випадків [45].

Механізований метод демонтажу залізобетонних колон активно використовується в будівництві, особливо у великих промислових комплексах з складними конструкціями. Цей метод застосовується, коли пошкодження колони незначні або коли її потрібно зняти з-під підвіски. Проте, він виявляється неефективним у випадках значного пошкодження колони, коли необхідно видалити велику кількість матеріалу. Зазвичай залізобетонні колони, які були пошкоджені внаслідок вибуху, демонтують за допомогою гідромолота та крана.

Вибуховий метод демонтажу залізобетонної колони полягає в руйнуванні конструкції шляхом контрольованого вибуху. Це дозволяє швидко та ефективно видалити пошкоджені елементи, але вимагає суворого дотримання заходів безпеки.

Демонтаж залізобетонної колони гідроабразивним методом передбачає використання водяних струменів під високим тиском для руйнування конструкції. Цей метод є особливо ефективним, коли потрібно мінімізувати викиди пилу та шуму.

Демонтаж металевих колон, які втратили стійкість і несну здатність через динамічні навантаження під час вибуху, має свої особливості. Найбільш поширені методи, які застосовуються, включають:

- Метод поелементного розрізання — використовується в 60-70% випадків. Цей метод передбачає розрізання металевих елементів на менші частини для їх безпечного видалення.

- Гідроабразивний метод — на цей метод припадає приблизно 30-40% випадків. Він забезпечує більш безпечний та швидкий демонтаж пошкоджених металевих колон порівняно з методом розрізання.

Прикладом світового досвіду є демонтаж колон у Пекіні, де для знищення старих промислових будівель використовували гідроабразивний метод, що дозволило зменшити кількість пилу та викидів, спричинених демонтажем. Інший випадок — в Лос-Анджелесі, де при демонтажі колон, пошкоджених під час землетрусу, використовувався комбінований підхід, включаючи як механізовані, так і вибухові методи, що забезпечило ефективність і безпеку операцій.

2.2 Оптимізаційні рішення з вторинного використання будівельних матеріалів та продуктів зносу

2.2.1 Комплексний підхід використання вторинної сировини та логістичні ланцюги по управлінню будівельними відходами

Знесення старих будівель спричиняє утворення відходів, що збільшує навантаження на довкілля та призводить до нераціонального використання ресурсів. В умовах економічних змін, зокрема зростання цін на енергоресурси й вичерпання сировинних матеріалів, розвиток технологій переробки відходів стає ключовим. Це створює можливості для активного використання вторинної сировини у будівництві. Тому впровадження ефективних принципів

функціонування підприємств з комплексної переробки відходів є особливо актуальним для економіки.

Переробка відходів має бути спрямована на отримання максимального прибутку для покриття витрат на їх переробку. Для цього важливо створювати безвідходні виробництва, які будуть досягатися шляхом модернізації технологічних процесів і впровадження систем із замкнутим циклом, що дозволяють повторно використовувати сировину багаторазово.

Цегляний бій, окрім використання в розчинах для кладки печей, може застосовуватися для інших будівельних цілей. Після дроблення на менші фракції його використовують для створення фундаментів, заповнення котлованів, а також для формування підсипки під дороги, фактично це є альтернативою для щебеню в дорожньому будівництві. Цегляний бій також можна застосовувати для зміцнення схилів і в якості наповнювача для бетону.

Після механічної обробки непридатні бетонні конструкції можна використовувати для створення під'їзних шляхів і благоустрою ділянок. Переробка бетонного лому сьогодні спрямована на отримання вторинних заповнювачів та вилучення арматурної сталі. Отриманий матеріал часто використовується для щебеневої основи доріг і фундаментів, маючи кращі характеристики міцності порівняно з гранітним щебенем. Ця технологія також дозволяє отримувати фракціонований щебінь, який використовується у виробництві бетону та залізобетонних конструкцій на заводах.

При будівництві нових доріг старе асфальтове покриття переробляють на асфальтову крихту, яка ефективно використовується для ущільнення шарів дороги. Змішана з бітумом, така крихта забезпечує чудову непроникність і довговічність покриття, створення міцних шарів основи знижує витрати на матеріали та ресурси.

Використання склобою має перспективи у виробництві піноматеріалів, які служать для ізоляції стін, покрівлі, утеплення трубопроводів, холодильного обладнання, а також як легкий заповнювач для бетону. Виробники утеплювачів активно використовують вторинне скло для

виготовлення ізоляційних матеріалів та упаковки. Піноскло з переробленого скла, застосовується в будівництві для теплоізоляції і зміцнення фундаментів.

На відміну від ЄС, вітчизняна економіка є ресурсоємною і низькотехнологічною, що знижує її конкурентоспроможність. Формування об'єднань підприємств за принципом «технологічного ланцюжка», зокрема з переробкою вторинних ресурсів, може змінити цю ситуацію. Завдяки формуванню безвідходного виробництва в єдиній інтегрованій структурі виникне замкнутий технологічний цикл. Це призведе до покращення показників діяльності будівельного комплексу та забезпечить економічні і соціальні вигоди для суспільства в цілому [46].

Міста, що зазнали руйнувань через російську агресію, можуть перетворитися на інноваційні екологічні проекти з повторного використання будівельних відходів у промислових циклах. Симбіоз підприємств повинен змінити підхід до використання первинних ресурсів, сприяючи співпраці між бізнесом і державними органами в рамках циклічної економіки.

Незважаючи на суворі законодавчі вимоги щодо вторинної переробки [47], повинні бути створені комплексні логістичні системи для управління будівельними відходами. Вони повинні охоплювати: ланцюги збору й переробки відходів, аналізу їхньої безпеки, оцінки можливостей у певних регіонах, та їх повторного використання у будівництві, благоустрої й рекультивації земель і водойм.

2.2.2 Схеми використання вторинних матеріалів

Аналізуючи сучасні дослідження щодо нових способів використання вторинної сировини в будівництві та декорі, стає зрозумілим, що вторинні матеріали можуть бути ефективно застосовані на всіх етапах проектування і зведення будівель [48]. Вони можуть бути інтегровані в конструктивні системи споруд, декоративні оздоблення фасадів і внутрішніх елементів, що відкриває нові перспективи для екологічного будівництва. Наприклад:

- Підсипка фундаменту (рисунки 2.10-а) є найпоширенішим прикладом використання: дрібну фракцію твердих матеріалів використовують для підсипки фундаментів та влаштуванню дренажу. В більшості випадків, такі матеріали отримують шляхом подрібнення великих шматків бетону, цегли, каміння, та інше.

- Облаштування підлоги типу «тераццо» (рисунки 2.10-б). Вторинні матеріали можуть бути використані в якості наповнювача для полімерної наливної підлоги. Слід зауважити, що зважаючи на декоративність, наповнювачем можуть бути шматки дерева, каміння, бетону, скла або навіть арматура.

- Легкий бетон, отриманий з додаванням дерев'яної стружки або шматків чи гранул пористого матеріалу може бути використаним при зведенні як несучих так і не несучих стін (рисунки 2.10-в).

- Попри розповсюджену думку про ненадійність вторинної сировини, перероблені матеріали можуть мати вищі та унікальніші властивості. При зведенні несучих конструкцій (рисунки 2.10-г) для збільшення його міцності в бетон може бути доданим металевий шлак, в якості наповнювача - подрібнений бетон чи каміння.

- Найочевидніша властивість пластику - антидифузійна, завдяки цьому йому надана перевага у використанні в опорядженні даху (рисунки 2.10-д). Вторинний пластик повторно може бути використаним при створенні покрівельних елементів для даху. Здебільшого такі елементи виготовляють

методом пресування під високими температурами і вони мають вигляд декоративних панелей.

- Вторинні ізоляційні матеріали (рисунок 2.10-є). Первинні пористі матеріали (шматки поролону, матеріали що містять каучук, гумові килимки та тому подібне) можуть бути використані при влаштуванні «плаваючої підлоги», крім цього додатково можна отримати незначне утеплення.

Вторинна теплоізоляція є досить поширеним матеріалом в утепленні дахів у вигляді плит з деревного волокна. Її можна використати як ізоляційний матеріал навіть при будівництві каркасних будинків.

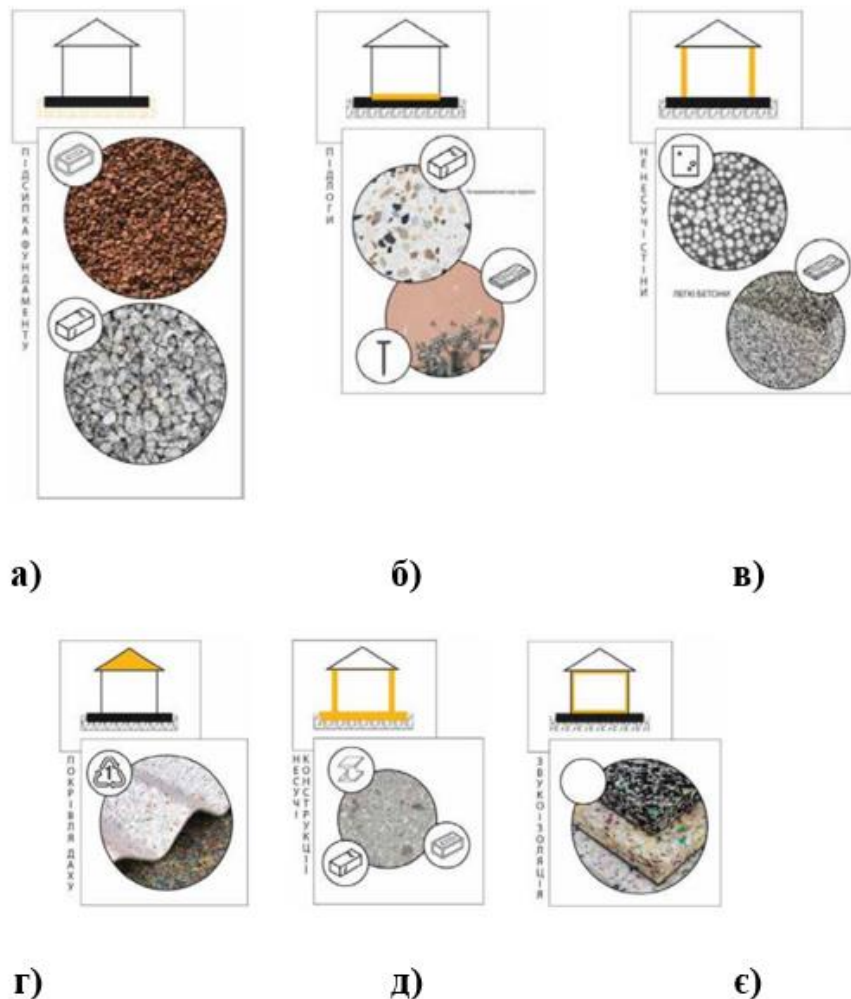


Рисунок 2.10 Схеми використання вторинних матеріалів: а- підсипка фундаменту; б- опорядження підлог; с- конструкція стін; г-покрівлі даху; д- несучі конструкції; е- ізоляція

2.2.3 Альтернативне застосування продуктів що утворюються під час руйнації

Вторинна сировина не є повноцінним будівельним матеріалом та має обмежене застосування. Однак такі матеріали, як залізобетон, цегла, скло, пластик і старий асфальт, після переробки знаходять нове використання в будівництві, отримуючи «друге життя» завдяки різним методам обробки.

Бетон — це композитний матеріал, властивості якого визначаються взаємодією його компонентів. Заповнювачі до 75% його об'єму, причому більшість становить крупний заповнювач. Бетон із вторинним заповнювачем підходить для малоповерхового будівництва, облаштування фундаментів виробничих і складських приміщень, гаражів, підсобних об'єктів. Переробка залізобетону у вторинний щебінь є вигідною, оскільки після демонтажу конструкцій він може бути використаний на цьому ж об'єкті, що дозволяє уникнути витрат на закупівлю, доставку і зберігання щебню.

У країнах ЄС, Британії, США та Японії визначено сфери використання переробленого крупного заповнювача. Його застосовують у бетонах міцністю 5-20 МПа для виготовлення бетонних та залізобетонних виробів, а також у бетонах до 30 МПа у поєднанні з природним щебнем. Заповнювачі з подрібненого бетону вже включені у стандарти США, Японії та Нідерландів. За даними компаній із США, переробка бетону потребує в 8 разів менше палива, а його вартість може бути нижчою до 25% [49].

Вторинний крупний заповнювач отримують шляхом обробки використаного бетону, найчастіше - дробленням. Первинне подрібнення бетону зазвичай здійснюється щокими дробарками, після чого зерна мають кутасту форму, що підвищує водопоглинання. Для зниження пористості та поліпшення властивостей щебню використовують вторинне подрібнення, наприклад, молотковими дробарками. Інші ефективні види обладнання для переробки включають роторні дробарки та ударні млини, які забезпечують зниження кількості голчастих зерен і поліпшують структуру заповнювача. Це

сприяє зменшенню абсорбції води та підвищує стійкість матеріалу до зовнішніх впливів, таких як карбонізація і проникнення хлоридів.

За для оптимізації логістики отримання заповнювача з бетонного брухту і виробництво на його основі доцільно організовувати на місці демонтажних робіт. Мобільне обладнання для отримання сировини встановлюють безпосередньо на місці демонтажних робіт, таким чином отриманий заповнювач зразу потрапляє на будівельний об'єкт, або може бути відправленим на бетонний завод.

Скло відрізняється від інших вторинних ресурсів можливістю багаторазового перероблення без втрати своїх якостей. Фактично зі 100 кг склобою може бути виготовлено 100 кг нового продукту. Використання склобою замість природної сировини призводить до зниження викидів CO₂, що утворюються в процесі плавлення, подовжує термін служби скловарних печей через зниження температури плавлення та зменшує обсяги споживання енергоресурсів витрачаємих на плавильний процес та викиди NO_x, SO₂ і тверді частки у навколишнє середовище [50].

Нажаль, скlobій, зібраний на об'єктах демонтажу (кераміка, дзеркала, жаростійке і ударостійке скло (триплекс), віконне скло) важко піддається сортуванню, сильно забруднений та не придатний для кольороподілу. За відсутності можливостей для сортування, скlobій очищують від домішок, подрібнюють та розподіляють на фракції.

У дорожньому будівництві додавання склобою до асфальтобетону сприяє кращому збереженню тепла, що дозволяє створювати щільніше дорожнє покриття порівняно зі звичайним асфальтом. Додавання склобою до традиційних глиняних сумішей (30% скло, 70% глина) суттєво покращує водостійкість та міцність цегли. При виготовленні бетону скляні фракції понад 5 мм застосовують як великі заповнювачі, замінюючи щебінь, а дрібні частинки (менше 5 мм) або скляний пил – як зв'язувальний компонент, що підвищує довговічність і міцність матеріалу. Крім того, подрібнене скло у суміші з піноутворювачем, застосовують як компонент для теплоізоляційних

матеріалів, легких бетонів, що знижують вагу конструкцій, та у виробництві тротуарної плитки з підвищеною зносостійкістю [51].

Пластик. Відходи віконних рам, сайдингу - це потенційна сировина для отримання вторинного полівінілхлориду(ПВХ), побутовий посуд, меблі – поліпропілен; труби, лінолеум –поліетилен. Після належного сортування по видам та ступеню забруднення, такі відходи можуть бути перероблені в ізоляційні та облицювальні матеріали, підкровельні мембрани, профілі, покриття та ін. Але враховуючи складнощі сортування та різноманіття пластику в зонах руйнацій а також те, що пластик, який використовується багаторазово, має шкідливі домішки, така сировина все більше розглядається для виробництва дорожніх покриттів.

Для виготовлення «Вічної бруківки» використовують суміш піску та агломерату з переробленого пластику, здебільшого плівки. Додавання до суміші барвників дозволяє виготовлення тротуарної плитки будь-якого необхідного кольору. Найцікавіше, що коли термін експлуатації плитки підійде до кінця, її можна буде точно так само подрібнити, додати ще агломерованої плівки і дати плитам друге життя. (рисунок 2.11).



Рисунок 2.11 - Тротуарна плитка вироблена з вторинного пластику Одеською групою «Дорогоцінний пластик. Precious plastic Ukraine » та на сміттєсортувальному комплексі в Іллінцях.

Лос-Анджелеський стартап BuFusion розробив інноваційний підхід до переробки пластику, перетворюючи його на великі блоки, придатні для будівництва. Спеціальний пристрій Blocker, використовуючи комбінацію пари і пресування, обробляє будь-який пластик, навіть той, що зазвичай не підлягає переробці. У результаті виходять блоки розміром, аналогічним бетонним, готові до використання у різних будівельних проектах [52].



Рисунок 2.12 Будівельні блоки BuFusion

Технологія створення доріг із пластику — це інноваційне, наукове, більш екологічне і доступне технологічне рішення для переробки пластикових відходів шляхом їх повторного використання для асфальтування доріг.

Нідерландська Компанія VolkerWessels запропонувала концепцію PlasticRoad — будівництво монолітних пластикових блоків з отворами для комунікацій, які можна укласти в траншеї за принципом конструктора (рисунок 2.13). Це дозволить замінити шарово-насіпний метод, полегшити ремонт та обслуговування доріг. Нові траси обіцяють бути стійкішими до температур від -40°C до $+80^{\circ}\text{C}$ і підходити для різних ґрунтів. Крім того, такі дороги мають бути тривкішими до корозії й пошкоджень та служити втричі довше, ніж звичайні асфальтовані [53].



Рисунок 2.13 Монолітні пластикові блоки з отворами для комунікацій

Індія лідирує у світі за технологією «пластикових» доріг. Станом на 2017 рік тут прокладено понад 100 тисяч кілометрів таких доріг [54]. «Пластикові дороги» не лише екологічні, а й міцніші та довговічніші за традиційне покриття, знижуючи потребу в обслуговуванні та витримуючи термін експлуатації у 3-5 разів довше. Для дорожнього покриття використовують різні види пластикових відходів, від обгортки цукерок до пакетів. Подрібнений пластик змішують і плавлять при температурі близько 170 °С, після чого до нього додають гарячий бітум. Готову суміш укладають, як звичайний асфальт, що дозволяє зменшити витрати бітуму на 8–10%.

Шотландська компанія MacRebur надихнувшись досвідом Індії також створила «пластиковий асфальт» MR6. Подрібнені відходи пластика додають у суміш замість бітуму. MR6 повністю замінює потребу в бітумі, який є невіддільною складовою звичайного асфальту. Технологія укладання MR6 така ж, як і під час укладання асфальту, не вимагає зміни процесу, що дуже зручно (рисунок 2.14) [55].



Рисунок 2.14 Гранули MR6 та дорожнє покриття MacRebur.

РОЗДІЛ 3. ТЕОРЕТИЧНІ ЗАСАДИ РЕЦИКЛІНГУ БУДІВЕЛЬНИХ МАТЕРІАЛІВ ТА ПРОДУКТІВ ЗНОСУ

3.1 Аналіз засобів та механізмів рециклінгу

Для прискорення процесу переробки будівельного сміття застосовуються дробильні установки, які перетворюють бетонні залишки демонтованих об'єктів на щебінь та видаляють небажані домішки. Залежно від обсягу робіт, рециклінг може проводитися на спеціальних полігонах або безпосередньо на місці демонтажу.

Основні етапи рециклінгу демонтованих бетонних конструкцій та інших матеріалів включають:

1. Збір будівельних відходів в одному місці — на майданчику або полігоні для дроблення.
2. Розподіл відходів на категорії (залізобетон, метал, деревина).
3. Розрізання великих фрагментів за допомогою спеціального інструменту, як-от гідроніжці.
4. Подрібнення бетонних відходів у щебінь за допомогою дробарок.
5. Сорткування матеріалу за фракціями та очищення від деревини й металу.

3.1.1 Спецтехніка, яка застосовується при демонтажі та рециклінгу **Спецтехніка, яка застосовується при демонтажі та рециклінгу**

Демонтаж фундаментів та інших конструкцій вимагає спеціалізованої техніки, зокрема:

- Гусеничних і колісних екскаваторів різних типів.
- Навантажувачів, які транспортують відходи на короткі відстані або для вивезення з об'єкта.
- Самоскидів, що доставляють будівельні відходи на переробку або полігони.
- Бульдозерів, які допомагають вирівнювати та очищати територію.

Це обладнання забезпечує ефективний демонтаж і транспортування відходів для подальшої утилізації.

Для зручності демонтажу металевих конструкцій та бетонних основ екскаватори оснащують спеціальними насадками. В більшості використовують гідроніжці та гідромолоти для розрізання або руйнування

елементів будівлі. Для подрібнення будівельного сміття при рециклінгу застосовують щоківі дробарки, які ефективно перетворюють бетонні залишки на щебінь.

Вибір конкретних моделей екскаваторів і дробильного обладнання залежить від масштабів запланованих робіт та побажань замовника.

До відомих світових виробників важкої будівельної техніки належать:

- Caterpillar (США) — лідер у виробництві екскаваторів, бульдозерів, навантажувачів.
- Komatsu (Японія) — великий виробник гірничо-будівельної техніки.
- Volvo Construction Equipment (Швеція) — постачальник екскаваторів, самоскидів та дорожніх машин.
- Hitachi Construction Machinery (Японія) — спеціалізується на екскаваторах та кар'єрній техніці.
- Liebherr (Німеччина) — виробник будівельної, вантажопідйомної та гірничої техніки.

Ці компанії відомі своїм надійним обладнанням, яке активно використовується на будівельних майданчиках у всьому світі.

Далі детальніше розглянемо кожен із перелічених типів переробного обладнання

3.1.2 Екскаваторна техніка

Основне знаряддя при демонтажі будівель – демолятор (рисунок 3.1).

Прикладом гусеничного екскаватора з подовженою стрілою для демонтажу висотних будівель є модель Hitachi ZX870LCH-5G с High Reach від Hitachi. Ця машина має спеціальну стрілу, яка дозволяє працювати на висоті до 51 метрів.

Основні технічні характеристики включають:

- Робоча вага: до 100 тон
- Довжина стріли: до 51 метра
- Максимальна висота демонтажу: понад 50 метрів
- Потужність двигуна: близько 397 кВт (532 к.с.)

Цей екскаватор забезпечує високу продуктивність при роботі з висотними конструкціями.



Рисунок 3.1 Екскаватор-руйнівник Hitachi ZX870LCH-5G [56]

3.1.3 Навісне обладнання

Механічні пристосування – наступний важливий елемент будівельної техніки для знесення будівель. Класичним ударним вузлом – "бабою", оснащений екскаватор-драглайн з кульовим розпушувачем (рисунок 3.2)



Рисунок 3.2 Екскаватор-драглайн з кульовим розпушувачем

Механічні пристрої є ключовими компонентами будівельної техніки для знесення будівель. Перетворення екскаватора на переробний комплекс відбувається шляхом заміни навісного обладнання (рисунки 3.3 та 3.4). Сьогодні замість металевого шару на сталевому тросі використовують

комплекс навісних механізмів, включаючи:

- дробильні ковші,
- гідромолоти й ножиці,
- бетоноломи,
- вібронавантажувачі,
- сортувальні або дробильні ковші,
- різні типи захоплень.

Ці інструменти значно підвищують ефективність робіт.

Основним типом навісного обладнання для демонтажу є ківш. Його функціонал об'єднує два основних типи дій: руйнівний та дробильний. Залежно від механізму подрібнення, розрізняють два види ківшів:

- роторний — бетон та інші матеріали дробляться завдяки парі зустрічних роторів.

- щоківний — подрібнення здійснюється через ударний вплив статичної та рухомої щік.

	GSH555 Багатоцелесовий захват GSH Маса перевантажувача, т 35 – 60 Маса екскаватора, т 22 – 50 Місткість, л 1000 – 1500
	P360 Гідраножиці Маса екскаватора, т 60 – 85 Маса пристрою, кг 5230 Зусилля на передньому зубі, т 210
	MP365 Мультипроцесори Маса екскаватора, т 65 – 90 Маса корпусу без щелеп, кг 3050 Гідравлічний потік, л/хв 450
	H215s Гідромолоти серії Performance Маса екскаватора, т 43 – 80 Макс. експлуатаційна маса, кг 4750 Робочий тиск, бар 160 Гідравлічний потік, л/хв 230 – 380

Рисунок 3.3 Навісне обладнання Zerpelin CAT [57]



Рисунок 3.4. Екскаватор оснащений ковшем для просіювання

3.1.4 Види дробарок для дроблення бетону та залізобетону

Повторне використання вихідної сировини шляхом подрібнення залізобетонних відходів (рециклінг) є поширеним методом, який дозволяє зекономити на будівельних матеріалах. Для цього застосовуються спеціальні приводні механізми - циклічні дробарки. У різних модифікаціях цих агрегатів використовуються такі методи переробки, як ударне дроблення, роздавлювання, розколювання та стирання. Вхідною сировиною є розбиті балки і колони, а також залізобетонні плити, ферми та інші елементи будівельних конструкцій.

У відповідність за принципом подрібнення бетону всі дробильні агрегати діляться на наступні види:

- Щоків дробарки (рисунок 3.5). Дроблення будівельних відходів в таких агрегатах проводиться шляхом їх пропускання між рифленими сталевими плитами (щокми).

Мобільні щоків дробарки (від 25 до 38 тон) є оптимальним варіантом для переробки/дроблення будівельних відходів.



Рисунок 3.5 Щокова дробарка

Продуктивність дробильних агрегатів визначається такими параметрами:

- розмір завантажувального люка,
- ступінь фрагментації вхідної сировини,
- частота коливання рухомої частини машини,
- показник її вільного ходу,
- кут захоплення сировини.
- щільність матеріалу.

Для більшості моделей продуктивність коливається в межах від 1 до 500 тон на годину. Основною перевагою щоккових дробарок вважається простота робочої конструкції, а також зручність обслуговування і ремонту.

Прикладом типового представника щоккових дробарок високої продуктивності є модель McCloskey J40 (до 300 тон на годину) [58]. Цей агрегат відрізняється високою продуктивністю, що досягає показника до 300 тон на годину, а також значними габаритами завантажувального отвору (1016x610 мм). Розмір гуркоту цього гіганта 12700x2500x3200 мм.

Пристрої конусного типу (рисунок 3.6). У агрегатах цього типу вихідна сировина подрібнюється в кільцеподібному просторі, який утворюється фіксованою зовнішньою чашею і вібруючим конусом, що знаходиться всередині. Під час переробки залізобетону конус здійснює циклічні рухи в межах виділеного йому простору. Коли два конуси наближаються один до одного, завантажені фрагменти дробляться, а при їх віддаленні роздрібнена маса падає через розвантажувальний отвір.

Дробарки конусного типу більш економічні та продуктивні, ніж щоккові агрегати, але більш масивні, та складніші в обслуговуванні.

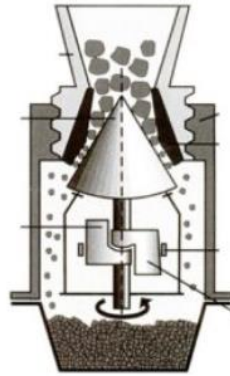


Рисунок 3.6 Дробарка конусного типу

Молоткові дробарки (рисунок 3.7) призначені для переробки сировини різних розмірів. Процес дроблення відбувається завдяки системі молотків, які обертаються на високій швидкості. Частки сировини подрібнюються як внаслідок ударів молотків, так і через зіткнення з внутрішніми стінками корпусу. Роздрібнена маса виводиться через щілини колосників.

Ефективність молоткових пристроїв залежить від фізичних властивостей вихідної сировини. Розміри вихідного отвору та відстань між молотками і ґратами налаштовуються відповідно до потрібного розміру фракцій. До переваг таких агрегатів належать їх компактність, проста конструкція та здатність до ретельного подрібнення сировини. Однак недоліком молоткових дробарок є швидкий знос робочих частин, зокрема колосників і молотків.

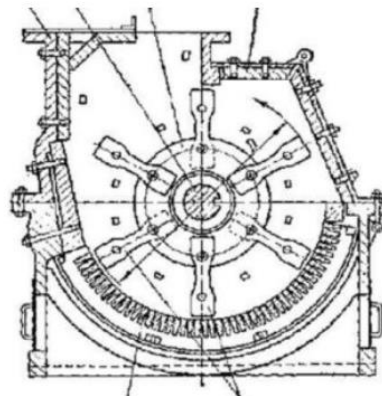


Рисунок 3.7 Молоткова дробарка

3.1.5 Сортувальні комплекси для очищення території від будівельного сміття

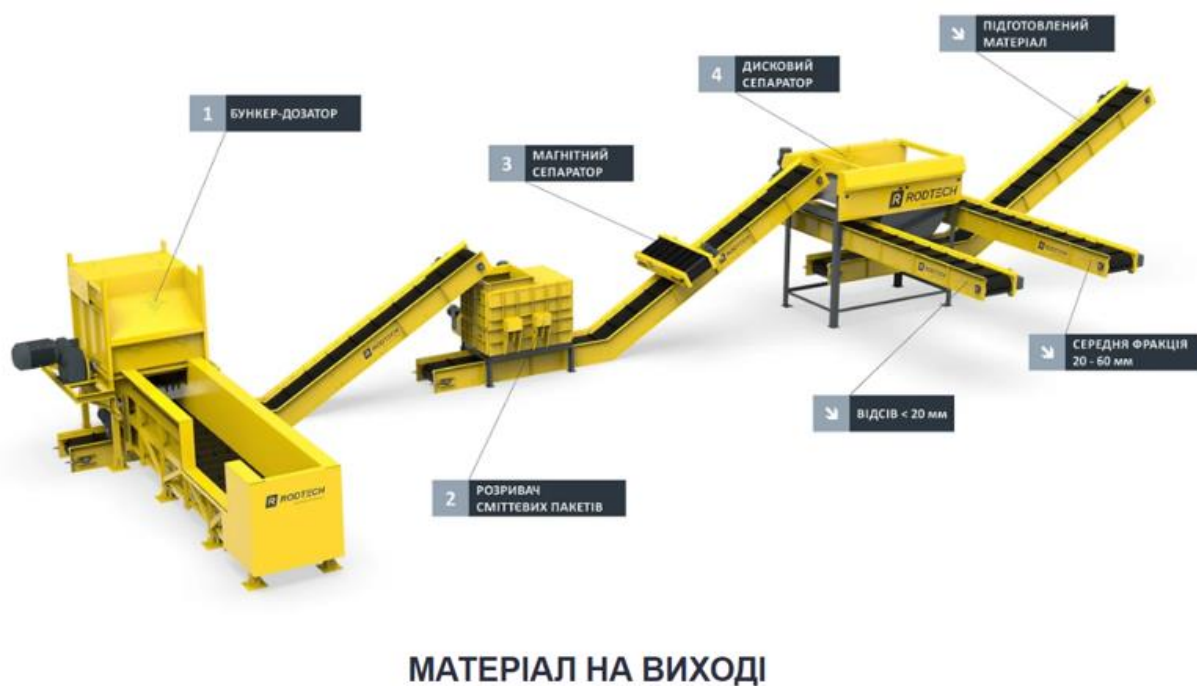
Будівельні відходи в основному складаються з інертних матеріалів, металів, дерева, паперу та пластмаси. Ці матеріали мають комерційну цінність і, при належному вилученні, можуть бути використані для повторного

виробництва.

Сортувальні комплекси та дискові сепаратори є необхідними на майданчиках для знесення та будівельних майданчиків, оскільки вони допомагають очищати територію від будівельного та побутового сміття, та полегшують транспортування цих відходів [59].

Як приклад – сортувальний комплекс RODTECH RECYCLING (рисунок 3.8)

Комплекс працює в автоматичному режимі, забезпечує відсів дрібної фракції (пісок, скло, каміння та ін.) до 80 мм, вилучення не тільки чорних але й кольорових металів завдяки комплектуванню вихрострумовими сепараторами. Продуктивність комплексу до 35 т / год.



ВІДСІВ < 20 мм

У даній фракції міститься пісок, земля, харчові відходи, дрібні камені, органіка, пластик, скло та ін. Даний продукт відправляється на компостування або захоронення.

СЕРЕДНЯ ФРАКЦІЯ 20-60 мм

Складається з каменів, пластика, металу, органічних відходів, будівельних відходів. Відправляється на сепарацію (аеро-сепарацію, вихрострумову сепарацію та ін.) або на захоронення.

ПІДГОТОВЛЕНИЙ МАТЕРІАЛ

Розкритий матеріал без вмісту дрібної фракції (до 60мм) і чорного металу, рівномірним шаром подається на подальше сортування (ручне або автоматичне).

Рисунок 3.8 - Комплекс підготовки та сепарації RODTECH RECYCLING: 1- бункер-дозатор; 2- розривач пакування; 3- магнітний сепаратор; 4- дисковий сепаратор

3.2 Альтернативні автоматизовані засоби механізації та роботизації для оптимізації циклів та збільшення продуктивності робіт при демонтажі та рециклінгу будівель

У будівельній галузі нові моделі спеціальної техніки, такі як екскаватори, підйомні механізми та автокрани, з'являються дуже рідко. Більшість механізмів, які використовуються сьогодні, були винайдені і служать людству вже понад сторіччя. Усі зміни, що відбулися за цей час, не можна вважати принциповими — вони здебільшого стосуються деталей конструкції та потужності двигунів, які приводять ці машини в рух.

В теперішньому часі демонтаж будівель може виконуватися за допомогою роботів, оснащених бетоноломами, ротаційними фрезами та іншими механізованими пристроями. Переваги такої техніки для демонтажу включають дистанційне керування, що підвищує безпеку оператора, а також маневреність, яку забезпечують компактні розміри обладнання.

Будівельна галузь нині переживає революцію завдяки новітньому промислому обладнанню, зокрема роботам, штучному інтелекту (ШІ), інформаційному моделюванню будівель (BIM) та дронам.

3.2.1 Роботизація та автоматизація процесів для зменшення потенційних ризиків при демонтажних роботах

Інтеграція робототехніки в обстеження об'єктів, що зазнали руйнації від стихійного лиха або воєнних дій, автоматизує традиційно трудомісткі та тривалі завдання, підвищуючи продуктивність і знижуючи ризик травматизму на виробництві. Роботизовані пристрої працюють без перерв, стабільно забезпечуючи точні результати швидше, ніж людська праця. Виконуючи небезпечні операції, вони відіграють ключову роль у захисті працівників.

Для впровадження робототехніки важливо визначити етапи демонтажу, які найбільше виграють від автоматизації. Вибір роботизованих рішень проводиться залежно від завдань, які потрібно виконати, з урахуванням специфіки проєкту.

Переваги роботів включають компактні розміри та дистанційне керування, що дозволяє працювати в обмежених просторах, зокрема в зонах хімічного забруднення. Навісне обладнання відрізняється високою питомою потужністю, що значно пришвидшує виконання робіт.

Роботи здатні працювати в умовах, де використання важкої техніки неможливе, а ручна праця не підходить. Вони ідеально підходять для швидких завдань у вузьких просторах: всередині труб, у підвалах, технічних тунелях.

Brokk 90 (рисунок 3.9 а) завдяки малим габаритам (1210 x 789) легко транспортується на причепі (980кг). Виліт стріли 3,6м. Комплектується навісним обладнанням, таким як гідромолот, бетонолом або ківш. Завдяки низькому центру ваги, на ньому передбачено встановлення навісне обладнання збільшеної маси.

Має дві незалежні гідросистеми для приводу шасі і робочих органів. Таке конструкторське рішення дозволяє легко роз'єднувати верхню і нижню частини робота, для полегшення транспортування.

Finmac F16 (рисунок 3.9 б) також має дві незалежні гідросистеми, трохи важчий за попередника - 1600кг, з вильотом стріли до 5м, але вдвічі потужніший – 22 кВт.

Husqvarna DXR 140 (рисунок 3.9 в) - найменший (1932 x 771) і легший (960кг) з усієї лінійки демонтажних роботів Husqvarna, обладнаний дистанційним керуванням. Важить 960 кг при потужності в 15 кВт. Завдяки індивідуально регульованим аутригерам, він легко переміщається по сходах і може працювати на нерівній поверхні або близько до стін.



а



б



в

Рисунок 3.9 - Роботизована техніка: а - Brokk 90 [60]; б –Finmac F16 [61]; в - Husqvarna DXR 140 [62]

Компактний робот Bob Cat (рисунок 3.10) завдяки додатковому модулю може бути дистанційно керованою машиною. В залежності від поставленого завдання він може бути переоснащеним різнонаправленими модулями для оптимального виконання робіт [63].



Рисунок 3.10 Мініавантажувач Bobcat

3.2.2 Дрони оптимізують ресурси

Дрони стали незамінними інструментами в будівельних проектах. Оснащені камерами та датчиками високої роздільної здатності, вони

дозволяють робити детальні знімки, що допомагає у плануванні, обстеженні та картографуванні.

Впровадження безпілотників у сферу демонтажу потребують визначення конкретних застосувань, які виходять за межі зйомки, картографування та інспекцій.

Розширення сфер використання спонукає розробників займатись оснащенням дронів різноманітними додатковими модулями, які дозволяють їм закріплюватися на поверхнях або захоплювати різні предмети. (рисунок 3.11)

Американські інженери розробили пасивний маніпулятор, який дозволяє дрону фіксуватися на об'єктах, таких як гілки чи балки, або захоплювати речі у польоті. Конструкція складається з пари пластикових ніжок, які при зіткненні з об'єктом замикаються та міцно його обхоплюють. Ніжки здатні витримати навантаження понад три кілограми, що також дозволяє дрону надійно фіксуватись у підвішеному стані [64].

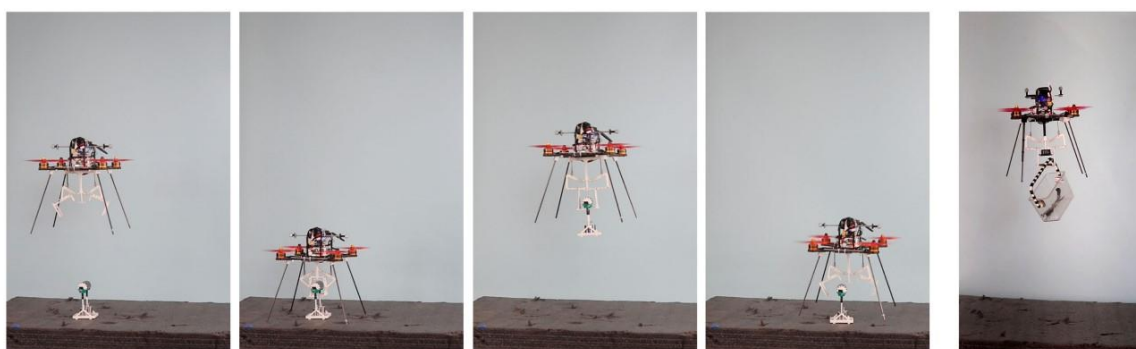


Рисунок 3.11 БПЛА з пасивним маніпулятором

Сільськогосподарські дрони – розпилювачі можуть бути ефективно застосовані для обезпилювання робочого майданчику, хімічної обробки об'єктів демонтажу в зимовий період проти ожеледиці та знезараження в разі виявлення хімічного забруднення.



Основна інформація.

Модель NO.	BC 92	Рідина, що міститься	Ліки, Дезінфектор, Гербіциди, Пестициди
Форма напilenня	Сектор	Обсяг	92 л
Живлення	Електричних	Місткість бака	92 л
Максимальне корисне навантаження	100кг	Максимальний радіус польоту	5000м
Ширина розпилення	8-20хв	Батарея	18с 30000 мА·год *2
Транспортний пакет	Дерев'яна упаковка / упаковка льотного кейсу	Специфікація	4445 * 4445 * 1300 мм (в розкладеному вигляді)
Торговою маркою	Настроюється		

Рисунок 3.12 Розпилувач для сільського господарства 72 л літрів Gran Capacidad Dron

Використання безпілотних дронів для обстеження об'єктів на сьогодні є розповсюдженою практикою, але безпосереднє вивчення стану багаторівневих руїн народжує потребу в наземних роботах дослідників.



Рисунок 3.14 Собака-робот Spot

Собака-робот Spot (рисунок 3.14), на думку фахівців KONE [65] має низку переваг у порівнянні з безпілотними дронами, особливо коли йдеться про обстеження об'єктів, підготовку до демонтажу та інші завдання, які вимагають наземної мобільності та детального огляду:

- маневреність на складних поверхнях, де дрони можуть мати обмежену ефективність через недостатню стабільність або ризик зіткнення,
- стійкість до вітру та погодних умов, адже повітряні дрони чутливі до поривів вітру та змінних погодних умов,
- тривалість роботи і можливість перерви для підзарядки завдяки можливості заміни акумулятора в польових умовах,
- стабільність для встановлення додаткових сенсорів та обладнання, яке часто вимагає стабільного розташування для точного збору даних,
- можливість зупинки та точкового огляду для збору точних даних або сканування місцевості на місці,
- мінімізація шуму і безпека: Spot працює тихо і безпечніше для роботи поряд із людьми.

Його використання може включати такі функції:

- 3D-сканування і картографія об'єкта: Spot може збирати 3D-дані та створювати точні моделі приміщень, фіксуючи стан стін, підлог, колон і перекриттів,
- моніторинг стабільності та цілісності конструкцій: робот може збирати дані про стан несучих елементів, визначати зони ослаблення конструкції, допомагаючи інженерам розробити безпечний план демонтажу.
- виявлення небезпечних речовин: Оснащений датчиками, Spot може виявляти гази, пил, хімічні речовини або інші небезпечні матеріали, зменшуючи ризик для працівників,
- визначення міцності підлогових плит: Spot може обстежувати підлоги на предмет надійності для важкої техніки, визначаючи, чи можна використовувати певні зони для розміщення демонтажних машин.

Отже, Spot може виконувати завдання, які недоступні для безпілотних літальних апаратів через обмеження конструкції або принципи роботи, забезпечуючи більшу гнучкість і ефективність при обстеженні та демонтажі об'єктів.

Інша модифікація собаки-робота Spot Arm американської компанії Boston Dynamics [66] (рисунок 3.15), розроблена в 2018 році. Робот здатен переносити вантажі вагою до 14 кілограмів. Водночас сама роботизована рука здатна підіймати максимальне навантаження у 4 кілограми. При виявленні небезпечних об'єктів при обстеженні споруд зруйнованих в результаті воєнних дій, Spot оснащений роботизованою рукою має можливість перетягувати небезпечні об'єкти у спеціально відведені місця для подальшого знешкодження.



Рисунок 3.15 Spot Arm на виконанні завдання

Наземний дрон типу XAG R150 2022 (рисунок 3.16) забезпечує швидке транспортування вантажів до місця призначення. Робоча платформа розміром 1080 x 1080 мм здатна розмістити та витримати до 200 кг вантажу.

Модернізована модель такого дрону може виконувати точне обприскування, огляд території та транспортування різних матеріалів. Завдяки

оснащенню 4D-радаром забезпечується точне виявлення перешкод, автоматичне прокладання маршрутів і розумне паркування.



Рисунок 3.14 Наземні дрони для сільського господарства XAG R150 2022 [67]

Вагомий поштовх в розвитку використання наземних дронів внесли воєнні дії. Військові дрони (рисунок 3.16) часто використовуються для безпечного транспортування небезпечних вантажів. Подібним чином, у демонтажі вони можуть транспортувати небезпечні або важкі для обробки матеріали, зменшуючи ризик для робітників.



а



б

Рисунок 3.16 а - наземний дрон-евакуатор; б – універсальний дрон для мінування та перевозу вантажу [68]

3.2.3 Екзоскелети

За аналогією з екзоскелетами у тварин, вчені створили роботизовані екзоскелети, які посилюють фізичні можливості будівельників, допомагаючи їм підіймати і переносити важкі предмети.

Наразі екзоскелети є однією з ключових тенденцій у будівництві (рисунок 3.17). Їх широке використання може суттєво підвищити ефективність праці, безпеку на будмайданчиках, знизити витрати, скоротивши потребу в кількості робітників.

Згідно досліджень аналітичної компанії ABI Research [69], обсяг продажів екзоскелетів-роботів у 2021 році становив 6000 одиниць. Завдяки більш широкому впровадженню цієї технології на 2025 рік очікується збільшення попиту до 2,6 млн таких технічних костюмів.



Рисунок 3.17 Екзоскелети: а – DeltaSuit; б - Guardian XO

В залежності від поставлених задач та виду навантажень екзоскелети можуть бути комбінованими (рисунок 3.17 а) або повними (рисунок 3.17 б).

Комбіновані екзоскелети DeltaSuit та OmniSuit [70] для спини та плеча - це моделі верхнього екзоскелета, які забезпечують працівникам покращену

підтримку плечей та необмеженість руху. Завдяки такій конструкції виконується багатозадачна підтримка для виконання робіт над головою та підйому.

Екзоскелет Guardian XO від компанії Sarcos Robotics[71] позиціонується як перший у світі промисловий екзоскелет з повним корпусом на батареях. За інформацією виробника цей костюм може працювати до восьми годин без підзарядки та пропонує користувачам збільшення сили у 20 разів.

3.2.4 Автоматизовані системи

Сучасні технології постійно змінюють підхід до будівництва. Завдяки інтеграції штучного інтелекту, робототехніки та машинного навчання відкриваються нові можливості, які дозволяють проєктувальникам виходити за межі традиційних методів будівництва, реконструкції та демонтажу.

Ці технології також сприяють сталому розвитку, зменшуючи негативний вплив будівельних продуктів на довкілля. Автоматизація і застосування «розумних» систем дають змогу ефективно використовувати ресурси, скорочуючи відходи та споживання енергії.

Крім того, використання штучного інтелекту й робототехніки значно підвищує безпеку на будівельних майданчиках, знижуючи ризик травм і нещасних випадків для працівників за рахунок автоматизації ризикованих процесів.

Використання штучного інтелекту в демонтажних процесах також покращує точність і якість робіт. Системи машинного навчання здатні аналізувати великі обсяги даних і робити прогнози, що допомагає виявляти потенційні проблеми й запобігати їм ще до початку будівельних робіт.

Загалом, штучний інтелект, робототехніка та машинне навчання стають важливими чинниками у досягненні соціальних та екологічних цілей, сприяючи створенню безпечнішого, ефективнішого та більш сталого майбутнього для будівельної галузі.

Говорячи за передові розробки штучного інтелекту та сучасної робототехніки потрібно згадати останні сучасні напрацювання у цьому напрямку, так компанія Tesla займається розробкою роботів помічників, які у майбутньому зможуть допомагати у домашньому господарстві, за словами одного із засновників Тесла, Ілона Маска, при найблагоприятливіших строках розробки, такі роботи, рисунок вже можуть піти у серію у 2026 році.



Рисунок 3.18 – Tesla bot [72]

У останніх новинах про Tesla bot, за жовтень 2024 говориться, що компанії потрібно для досягнення кінцевої мети із створення такого робота створення пакетів програмного забезпечення, які забезпечують баланс, навігацію, сприйняття та взаємодію з фізичним світом [72]. Компанія вже сьогодні наймає інженерів із глибокого навчання штучного інтелекту, комп'ютерного бачення, планування руху, керування, механіки та загального програмного забезпечення для вирішення деяких із наших найскладніших інженерних завдань.

3.3 Розробка технологічних послідовностей та оптимізації демонтажних робіт та рециклінгу сировини для будівельних матеріалів

Розробимо технологічні послідовності для отримання продуктивності без використання роботизованих систем та з ними при демонтажних роботах умовної двоповерхової монолітної будівлі розмірами в осях А-Б 6 м, 1-4 14 м, висотою поверху 3 м.

Дані технологічні послідовності можуть слугувати у якості методологічної основи для розробки технологічних карт при розробці проектів виконання демонтажних робіт, проектів організації демонтажу, а також іншої організаційно-технологічної документації, а також з метою ознайомлення робітників та інженерно-технічних працівників із правилами виконання робіт з демонтажу монолітних будівель з використанням роботизованих засобів підвищення продуктивності.

Демонтаж монолітних конструкцій можна виконувати у будь-який період року з огляду на метеорологічний прогноз, щодо швидкості вітру, який може знизити продуктивність автоматизованих засобів.

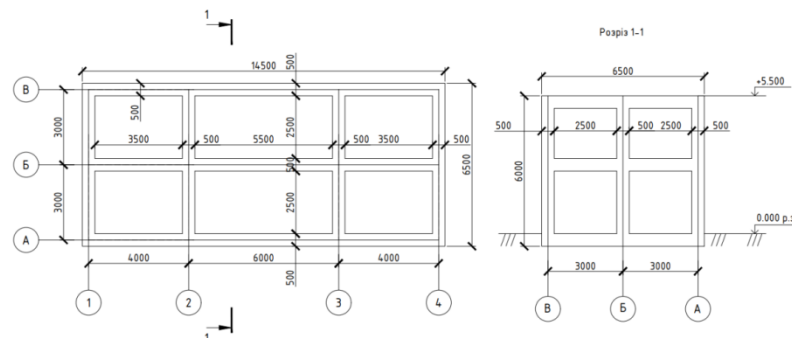


Рисунок 3.19 – Схема будівлі для демонтажу

У всіх випадках застосування цих методологічних вказівок необхідна прив'язка до місцевих умов виконання демонтажних робіт. При прив'язці до конкретного об'єкта та умов демонтажу уточнюються схеми виконання та обсяги робіт, витрати праці, засоби механізації та автоматизації, потрібне обладнання та ручний інструмент.

Роботи з демонтажу повинні виконуватись відповідно до проекту виконання робіт з дотримання вимог відповідних діючих нормативних документів.

Усі демонтажні, вантажно-розвантажувальні, транспортні роботи повинні виконуватись з дотриманням діючих правил техніки безпеки норм пожежної і екологічної безпеки, виробничої санітарії.

Технологічна послідовність демонтажного процесу.

Демонтаж залізобетонних монолітних конструкцій схематично зображено на рисунку 3.18 та складається з наступних технологічних операцій:

- підготовка будівельного майданчику та влаштування демонтажної площадки із підстилаючого шару, який здатний задовільнити потреби використання засобів механізації та автоматизації;
- демонтажні роботи;
- сортування та переробка сировини, що утворилася під час демонтажних робіт;
- очистка та будівельного майданчика.

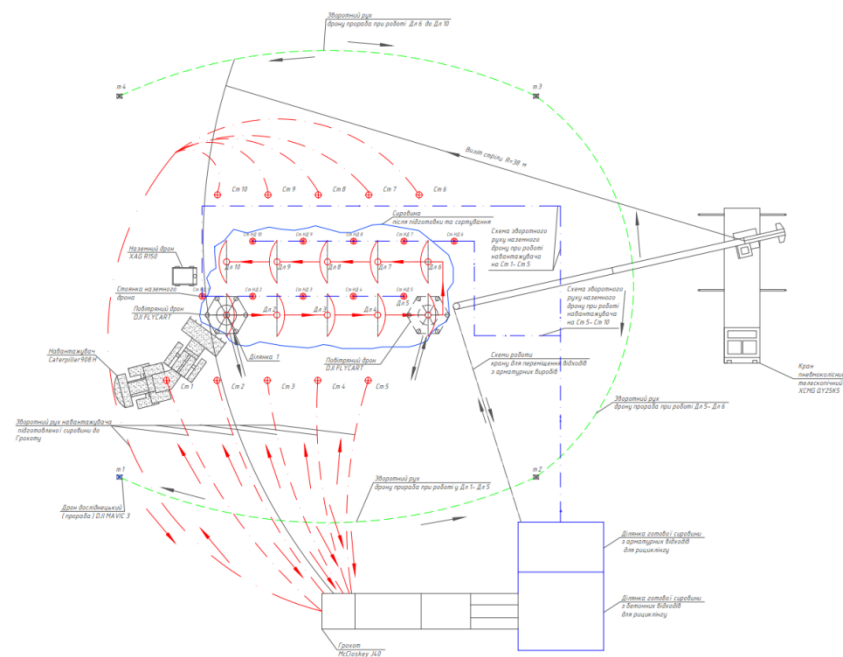


Рисунок 3.20 – Технологічна схема демонтажних робіт з автоматизованими засобами механізації

Таблиця 3.1 – Засоби механізації та автоматизації для виконання
демонтажних робіт

№ п/п	Обладнання	Кільк.	Модель	Характеристики
1	Навантажувач	1	Caterpillar 908H	Ковш універсальний 1,1 м³ Висота: від рівня землі до кабіни 2670 мм. Висота: від рівня землі до пробліскового маячка** 2853 мм Висота: від рівня землі до середньої частини мосту** 519 мм Висота - дорожній просвіт 320 мм Довжина - габаритна, з ковшем 5707 мм. Довжина: від заднього моста до бампера 1391 мм. Довжина: від зчіпного пристрою до переднього моста 1085 мм. Довжина - колісна база 2170 мм. Дорожній просвіт - ківш під кутом 45 ° 2502 мм Зазор: висота вильоту стріли** 2957 мм Дорожній просвіт — ківш у горизонтальному положенні 3189 мм Висота: до пальця ковша 3404 мм Висота: габаритна** 4395 мм Виліт - ківш під кутом 45 ° 872 мм Висота у транспортному положенні: до пальця ковша 374 мм Глибина копання 117 мм Ширина з ковшем 2080 мм. Ширина по центру протектора 1570 мм. Радіус повороту по краю ковша 4613 мм. Ширина по зовнішній стороні шин 1990 мм. Радіус повороту: по зовнішній стороні шин 4087 мм Радіус повороту - по внутрішній стороні шин 2033 мм. Кут нахилу ковша при повному піднесенні 49° Кут розвантаження при повному підйомі 45° Кут нахилу ковша у транспортному положенні 53° Кут з'їзду - градуси 30 ° Кут повороту шарнірного зчленування - градуси 39 °
2	Екскаватор	1	Crawler Excavator FR150E2	Основні параметри Вага (кг) 13850 Ємність ковша (м³) 0,58/300/420 Розміри (мм) 7700*2505*2850 Номинальна потужність/швидкість обертання (кВт/об/хв) 86/2200 Сила копання ковша (КН) 101 Ківш Rob Digging Force (KN) 75 Максимальна тяга (КН) 115
3	Кран пневмоколісний телескопічний	1	XCMG QY25K5	Вантажопідйомність 25 т Довжина стріли 38,5 м. Висота підйому гака 38,6 м Довжина стріли + гусек 46,8 м Висота підйому гака з гусяком 47.6 м Колісна формула 6 x 4

4	Гідромолот	1	Soosan SB70	Маса, кг – 1500 Частота ударів, уд. / Хв. – 350-600 Енергія удару, (по СІМА / max), Дж-2560/3600 Діаметр піки гідромолота, мм – 135
5	Повітряний вантажний дрон	2	DJI FlyCart 30 Oversea	Вага 42,5 кг (без акумулятора) 65 кг (з двома батареями DB2000) Максимальна злітна вага 95 кг (з вантажем на рівні моря) Максимальна діагональна колісна база 2200 мм Розміри 1590 x 1900 x 947 мм (ДхШхВ) (руки розгорнуті, пропелери складені) 2800x3085x947 мм (ДхШхВ) (рука та пропелери розгорнуті) 1115x760x1027 мм (ДхШхВ) (рука і пропелери складені) Метод складання До тіла Завантажена кількість батарей 2 Витривалість у зависанні (порожня вага з максимальною ємністю акумулятора) 29 хв (режим двох батарей) 15 хв (режим однієї батареї) Витривалість у зависанні (максимальна вага з максимальною ємністю акумулятора) 18 хв (навантаження 30 кг, режим подвійної батареї) 8 хв (навантаження 40 кг, режим роботи від однієї батареї) Максимальна дальність польоту (максимальна вага з максимальною ємністю акумулятора) 16 км (навантаження 30 кг, режим подвійної батареї) 8 км (навантаження 40 кг, режим роботи від одного акумулятора) Максимальний час польоту (максимальна вага з максимальною ємністю акумулятора) 18 хв (навантаження 30 кг, режим подвійної батареї) 9 хв (навантаження 40 кг, режим від одного акумулятора) Робоча температура від -20° до 45°C Максимальна швидкість підйому 5 м/с *Дані були зібрані в контрольованих умовах: нульова висота, безвітряне середовище, з корисним вантажем 30 кг. Тільки для довідки. Максимальна швидкість спуску 3 м/с (вертикальний) 5 м/с (під нахилом) *Дані були зібрані в контрольованих умовах: нульова висота, безвітряне середовище, з корисним вантажем 30 кг. Тільки для довідки. Максимальна горизонтальна швидкість 20 м/с *Дані були зібрані в контрольованих умовах: нульова висота та безвітряне середовище, з корисним навантаженням 30 кг, лише для довідки.
6	Наземний дрон	2	XAG R150	Технічні характеристики XAG R150 2022 Система контролю SuperX 4 Pro Габаритні розміри 1695*1205*1205

				Вага 180 кг Максимальна швидкість 1,2 м/с Максимальний кут сходження 15° Діаметр повороту 1м Шина Гумова шина 16" TL Технічні характеристики двигуна Тип мотору Синхронний двигун з постійними магнітами Номінальна напруга 48 V Номінальна потужність 1500 W Номінальна швидкість 1450 об/хв Номінальний крутний момент 7 Н-м Спосіб охолодження Повітряний Тривалість роботи на 2 батареях (без навантаження) 4 години Тривалість роботи на 2 батареях (Повне навантаження) 1 година
7	Дрон дослідницький	1	DJI Mavic 3 Classic з пультом Dji RC	Розміри У складеному стані: 221×96×90 мм (Д×Ш×В) У розкладеному стані: 347×283×107 мм (Д×Ш×В) Розмір по діагоналі 380 мм Макс. швидкість набору висоти 8 м/с (режим S) 6 м/с (режим N) 1 м/с (режим C) Макс. швидкість зниження 6 м/с (режим S) 6 м/с (режим P) 1 м/с (режим C) Макс. швидкість (на рівні моря у штиль) 19 м/с (режим S) 15 м/с (режим N) 5 м/с (режим C) Макс. висота польоту над рівнем моря 6000 м Макс. час польоту 46 хвилин (вимірювалися при польоті без вітру)
8	Грохот	1	McCloskey J40	Справжня щелепа 1016 мм х 610 мм Гідравлічна пряма подача Гідравлічний складаний бункер великої місткості Головний конвеєр 900 мм Зручна панель керування Ідеальний транспортний розмір шириною 2,5 м Додатковий магніт над смугою Час налаштування 10 хвилин Транспортна висота 3,2 м Транспортна довжина 13,78м Транспортна ширина 2,5м Вага 36 940 кг

9	Автосамоск ид	1	16 м³ Volvo FMX 6x6	Volvo FMX 6×6 — це потужний великотоннажний самоскид з повним приводом, обладнаний дизельним двигуном об'ємом 12,8 літра та потужністю 420 к.с. Він розроблений для транспортування сипучих, навалювальних та інших видів вантажів у складних умовах будівництва, включаючи бездоріжжя. Колісна база машини становить 3500+1370 мм, вантажопідйомність — 26 тон. Габаритні розміри автомобіля (Д×Ш×В) складають 8218×2490×3110 мм, а об'єм кузова дорівнює 16,00 м³.
---	------------------	---	------------------------	--

Розрахуємо загальний час виконання робіт, час роботи циклу машин та механізмів та їх продуктивність при наведених нижче параметрах.

Будівля:

$$\text{Обсяг будівлі: } V=371,75 \text{ м}^3$$

$$\text{Кількість ділянок: } n_{\text{ділянок}}=10$$

$$\text{Обсяг матеріалів на одну ділянку: } V_{\text{ділянки}}=V/n_{\text{ділянок}}=371,75/10=37,175 \text{ м}^3.$$

Розподіл демонтажу:

Екскаватор виконує 80% роботи:

$$V_{\text{екскаватор}}=0,8 \cdot V_{\text{ділянки}}=0,8 \cdot 37,175=29,74 \text{ м}^3.$$

Робітники виконують 20% роботи:

$$V_{\text{робітники}}=0,2 \cdot V_{\text{ділянки}}=0,2 \cdot 37,175=7,435 \text{ м}^3.$$

Склад матеріалів:

$$\text{Бетон: } V_{\text{бетон}}=0,7 \cdot V_{\text{ділянки}}=26,0225 \text{ м}^3$$

$$\text{Арматура: } V_{\text{арматура}}=0,3 \cdot V_{\text{ділянки}}=11,1525 \text{ м}^3$$

Відстань до склада:

$$\text{Середнє значення: } l=(17+25)/2=21 \text{ м}=0,021 \text{ км.}$$

$$\text{Обсяг роботи: } V_{\text{екскаватор}}=29,74 \text{ м}^3$$

$$\text{Продуктивність: } Q_{\text{екскаватора}}=418,07 \text{ м}^3/\text{год.}$$

$$\text{Час роботи: } T_{\text{екскаватора}}=V_{\text{екскаватор}}/Q_{\text{екскаватора}}=29,74/418,07=0,071 \text{ год.}$$

$$\text{Обсяг роботи робітників: } V_{\text{робітники}}=7,435 \text{ м}^3$$

$$\text{Продуктивність двох робітників: } Q_{\text{робітників}}=0,2 \text{ м}^3/\text{год.}$$

$$\text{Час роботи: } T_{\text{робітників}}=V_{\text{робітники}}/Q_{\text{робітників}}=7,435/0,2=37,175 \text{ год}$$

Обсяг бетону: $V_{\text{бетон}}=26,0225 \text{ м}^3$

Продуктивність навантажувача: $Q_{\text{навантажувача}}=985,07 \text{ м}^3/\text{год.}$

Продуктивність дрона: $Q_{\text{дрона}}=0,0167 \text{ м}^3/\text{год.}$

Сумарна продуктивність:

$Q_{\text{бетон}}=Q_{\text{навантажувача}}+Q_{\text{дрона}}=985,07+0,0167=985,0867 \text{ м}^3/\text{год.}$

Час роботи: $T_{\text{бетон}}=V_{\text{бетон}}/Q_{\text{бетон}}=26,0225/985,0867=0,0264 \text{ год.}$

Обсяг арматури: $V_{\text{арматура}}=11,1525 \text{ м}^3$

Продуктивність крана: $Q_{\text{крана}}=60 \text{ м}^3/\text{год.}$

Продуктивність дрона: $Q_{\text{дрона наземного}}=0,0833 \text{ м}^3/\text{год.}$

Сумарна продуктивність:

$Q_{\text{арматура}}=Q_{\text{крана}}+Q_{\text{дрона наземного}}=60+0,0833=60,0833 \text{ м}^3/\text{год.}$

Час роботи: $T_{\text{арматура}}=V_{\text{арматура}}/Q_{\text{арматура}}=11,1525/60,0833=0,1856 \text{ год.}$

Оскільки частина механізмів працює паралельно, час роботи для однієї ділянки визначається максимальним часом серед усіх компонентів:

Компонент	Час роботи (год.)
Екскаватор Crawler FR150E2	0,071
Робітники з ручними гідромолотами	37,175
Навантажувач + Повітряний дрон	0,0264
Кран + Наземний дрон	0,1856

Загальний час роботи:

$$T_{\text{загальний}}=\max (T_{\text{екскаватора}}, T_{\text{робітників}}, T_{\text{бетон}}, T_{\text{арматура}}) T_{\text{загальний}}=\max (0,071,37,175,0,0264,0,1856)=37,175 \text{ год.}$$

Продуктивність механізмів і дронів:

1. Екскаватор:

$Q_{\text{екскаватор}}=418,07 \text{ м}^3/\text{год.}$

Ручні роботи:

$Q_{\text{робітників}}=0,2 \text{ м}^3/\text{год.}$

Бетон (навантажувач + дрон):

$Q_{\text{бетон}}=985,0867 \text{ м}^3/\text{год.}$

Арматура (кран + наземний дрон):

$Q_{\text{арматура}} = 60,0833 \text{ м}^3/\text{год.}$

Основну частину роботи виконує екскаватор (80%), що займає 0,071 год. на ділянці.

Ручна робота (20%) залишається найбільш часозатратною — 37,175 год.

Навантажувач і дрон ефективно транспортують бетон за 0,0264 год.

Кран і наземний дрон транспортують арматуру за 0,1856 год.

Для скорочення загального часу слід додати більше екскаваторів або підвищити автоматизацію ручних робіт.

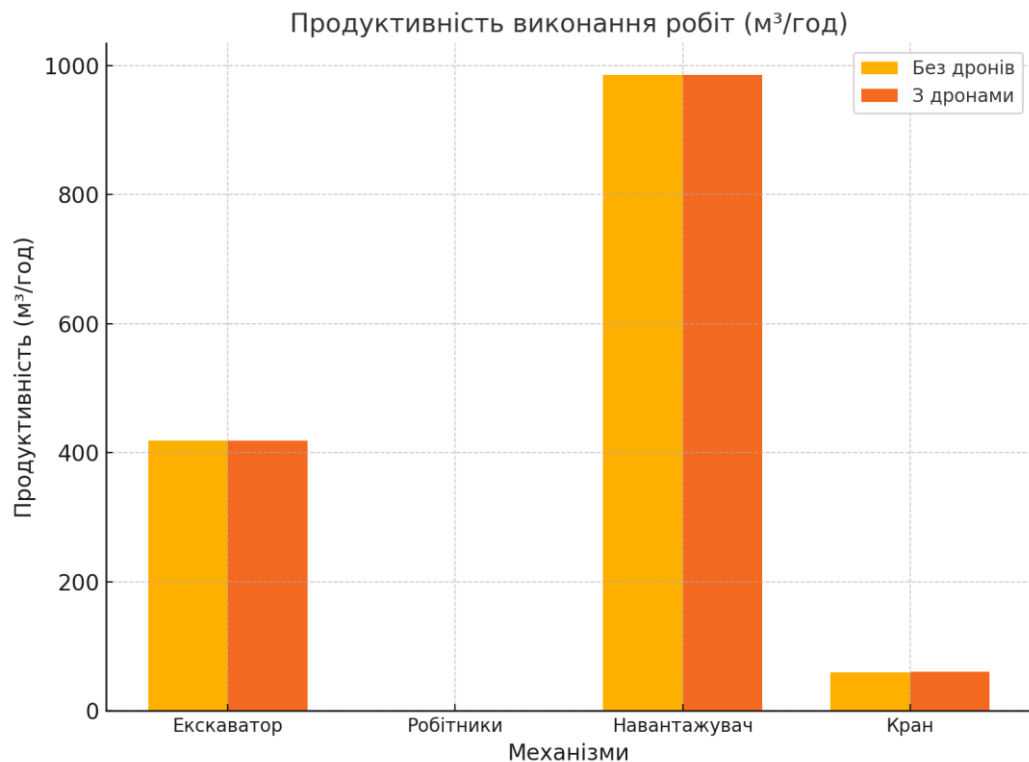


Рисунок 3.21 – Графік продуктивності механізмів та дронів

Графік демонструє, що вплив дронів незначний, оскільки основна продуктивність припадає на механізми.

Аналіз орендної плати за годину використання зазначених машин, механізмів та дронів.

Навантажувач Caterpillar 908H. Орендна плата: приблизно 5 200 грн за зміну (8 годин), що становить близько 650 грн/год.

Екскаватор Crawler FR150E2. Орендна плата: орієнтовно 11 900 грн за зміну (8 годин), тобто близько 1 487 грн/год.

Кран пневмоколісний телескопічний XCMG QY25K5. Орендна плата: близько 1 200 грн/год.

Гідромолот Soosan SB70. Орендна плата: зазвичай надається в комплекті з екскаватором. Додаткова плата за гідромолот може становити близько 200–300 грн/год.

Повітряний вантажний дрон DJI FlyCart 30 Oversea. Орендна плата: специфічна техніка; оренда може коштувати від 2 000 до 5 000 грн/год, залежно від постачальника та умов оренди.

Наземний дрон XAG R150. Орендна плата: орієнтовно 1 500–3 000 грн/год, залежно від комплектації та умов оренди.

Дослідницький дрон DJI Mavic 3 Classic. Орендна плата: близько 1 000–2 000 грн/год.

Грохот McCloskey J40. Орендна плата: приблизно 15 000–20 000 грн за зміну (8 годин), тобто близько 1 875–2 500 грн/год.

Автосамоскид 16 м³ Volvo FMX 6×6. Орендна плата: близько 1 000–1 500 грн/год.

Ціни є орієнтовними та можуть змінюватися залежно від регіону, постачальника послуг та умов оренди.

Для оцінки можливого прибутку від продажу демонтованих матеріалів, враховуючи, що на 1 м³ залізобетону припадає 110 кг арматури, проведемо наступні розрахунки:

1. Бетон:

Загальний об'єм залізобетону: 371,75 м³

Ціна продажу відхідних матеріалів з бетону: 100 грн/м³

Дохід від продажу бетону: 371,75 м³ × 100 грн/м³ = 37 175

2. Арматура:

Маса арматури на 1 м³ залізобетону: 110 кг

Загальна маса арматури: 371,75 м³ × 110 кг/м³ = 40 892,5 кг

Ринкова ціна сталі: 4,79 грн/кг

Дохід від продажу арматури: $40\,892,5 \text{ кг} \times 4,79 \text{ грн/кг} \approx 195\,874 \text{ грн}$

Загальний можливий дохід:

$37\,175 \text{ грн} + 195\,874 \text{ грн} = 233\,049 \text{ грн}$

Ці розрахунки є орієнтовними. Фактичний дохід може змінюватися залежно від ринкових цін, якості матеріалів та витрат на транспортування та обробку.

Розрахуємо загальну кількість коштів, що потрібні для демонтажу, при умові оренди всіх зазначених машин механізмів та дронів.

Робочий час на день: $T_{\text{день}} = 16 \text{ год./день}$.

Загальний час роботи: $T_{\text{загальний}} = 33 \text{ днів} \cdot T_{\text{день}} = 33 \cdot 16 = 528 \text{ год}$.

Орендні ставки.

Екскаватор Crawler Excavator FR150E2: 1,487 грн/год.

Робітники (не оренда, враховані окремо).

Навантажувач Caterpillar 908H: 650 грн/год.

Кран XCMG QY25K5: 1,200 грн/год.

Повітряний дрон DJI FlyCart 30 Oversea: 3,000 грн/год (середня ціна).

Наземний дрон HAG R150: 2,000 грн/год (середня ціна).

2. Розрахунок загальної орендної плати для кожної одиниці:

Екскаватор.

$\text{Плата}_{\text{екскаватор}} = T_{\text{загальний}} \cdot \text{Ставка}_{\text{екскаватор}} = 528 \cdot 1,487 = 784,86 \text{ тис. грн}$.

Навантажувач.

$\text{Плата}_{\text{навантажувач}} = T_{\text{загальний}} \cdot \text{Ставка}_{\text{навантажувач}} = 528 \cdot 650 = 343,2 \text{ тис. грн}$.

Кран.

$\text{Плата}_{\text{кран}} = T_{\text{загальний}} \cdot \text{Ставка}_{\text{кран}} = 528 \cdot 1,200 = 633,6 \text{ тис. грн}$.

Повітряний дрон.

$\text{Плата}_{\text{дрон_повітряний}} = T_{\text{загальний}} \cdot \text{Ставка}_{\text{дрон_повітряний}} = 528 \cdot 3,000 = 1,584 \text{ тис. грн}$.

Наземний дрон:

$\text{Плата}_{\text{дрон_наземний}} = T_{\text{загальний}} \cdot \text{Ставка}_{\text{дрон_наземний}} = 528 \cdot 2,000 = 1,056 \text{ тис. грн}$.

3. Загальна сума орендної плати:

$$\text{Плата}_{\text{загальна}} = \text{Плата}_{\text{екскаватор}} + \text{Плата}_{\text{навантажувач}} + \text{Плата}_{\text{кран}} + \text{Плата}_{\text{дрон_повітряний}} + \text{Плата}_{\text{дрон_наземний}}$$

$$\text{Плата}_{\text{загальна}} = 784,86 + 343,2 + 633,6 + 1,584 + 1,056 = 4,401 \text{ тис. грн.}$$

Загальна орендна плата за 33 дні роботи всіх машин, механізмів і дронів становить 4,401 млн грн.

Навіть якщо розглянути ринкову ціну у 340-360 грн за 1 м³ - 130112,5 грн.

$$130\,112,5 \text{ грн} + 195\,874 \text{ грн} = 325\,986,5 \text{ грн}$$

Що майже у 10 разів дорожче аніж орендна плата за наведені вище машини та механізми

ВИСНОВКИ

Аналіз технологій і методологічних підходів до демонтажу та вторинного використання будівельних матеріалів є основою для розробки сталих рішень у будівельній галузі. Це сприяє екологічній безпеці, економічній ефективності та інтеграції інноваційних підходів у процеси реконструкції та модернізації інфраструктури.

В даній роботі виконано комплексне дослідження технологій та методологічних підходів з демонтажу та повторному використанню будівельних відходів. Виділено основні аспекти аналізу:

1. Методи та інструменти для обстеження та оцінки технічного стану будівель та споруд: Поєднання інноваційних підходів до обстеження постраждалих будівель та споруд з інструментальною діагностикою технічного стану конструкцій будівель дозволяє забезпечити точність оцінки їхнього стану, оптимізувати процеси реконструкції або демонтажу, а також мінімізувати ризики під час виконання демонтажних робіт.

2. Технології демонтажу.

Механізований демонтаж: Використання важкої техніки для швидкого знесення будівель. Цей підхід забезпечує високу продуктивність, але менш ефективний для селективного відновлення матеріалів.

Селективний демонтаж: Пошаровий і ретельний розбір конструкцій з метою збереження будівельних матеріалів у придатному для повторного використання стані. Включає видалення елементів (цегли, деревини, металів) до загального знесення конструкції.

Демонтаж із використанням робототехніки: Інноваційний підхід, що передбачає застосування автоматизованих систем для виконання демонтажних робіт з високою точністю та мінімальним пошкодженням матеріалів.

3. Технології переробки будівельних матеріалів

Подрібнення: Використання дробарок для переробки бетонних і цегляних залишків у вторинний щебінь або наповнювач.

Сортування та очищення: Розділення відходів за типом матеріалів (деревина, бетон, скло, пластик, тощо).

Інноваційні методи: Використання відходів будівництва в розробках новітніх будівельних матеріалів.

4. Методологічні підходи

Системний підхід: Розгляд процесу демонтажу та переробки як частини будівельного життєвого циклу

Екологічний підхід: Максимізація повторного використання матеріалів із мінімальним впливом на навколишнє середовище.

Економічна оптимізація: Застосування логістичних ланцюжків для зменшення витрат на переробку та використання вторинних матеріалів.

Інноваційний підхід: Використання нових технологій і цифрових інструментів для оптимізації процесів демонтажу та переробки.

5. Аналіз ефективності

Екологічний вплив: Вивчення впливу вибраних технологій на довкілля, обсяги відходів та використання ресурсів.

Соціальний ефект: Врахування впливу на зайнятість населення, створення нових ринків та підвищення обізнаності про важливість сталого будівництва.

Результатом дослідження окресленні значення:

1. Оптимізації демонтажних проєктів: Вибір технологій, що забезпечують безпечний, економічний і екологічний процес демонтажу.

2. Підвищення ресурсоефективності: Максимальне повторне використання будівельних матеріалів, що зменшує залежність від первинних ресурсів.

3. Інтеграція інновацій: Впровадження новітніх підходів для підвищення ефективності демонтажу та вторинного використання матеріалів.

Розроблена технологічна послідовність для отримання продуктивності без використання роботизованих систем та з ними при демонтажних роботах умовної двоповерхової монолітної будівлі.

Розглянуто екскаватор, кран, навантажувач, повітряний та наземний дрони, а також роботу робітників. Визначено продуктивність кожного засобу та їх ефективність у різних етапах демонтажу. Орендна плата за годину для всіх механізмів і дронів. Потенційний дохід від реалізації демонтованих матеріалів (бетон та арматура). Відходи залізобетону (подрібнений бетон та арматура) можуть бути використані для виготовлення будівельних сумішей та інших продуктів.

Загальний час роботи для демонтажу будівлі обсягом 371,75 м³ становить 522 години або 33 дні при двозмінному графіку роботи.

Загальна орендна плата за 33 дні роботи всіх механізмів і дронів становить 4,401 млн грн.

Подрібнений бетон: 130,112 тис. грн.

Арматура: 195,874 тис. грн.

Загальний дохід: 325,986 тис. грн.

Розрахунки підтвердили що витрати на демонтаж значно перевищують доходи від продажу матеріалів, але важливо враховувати зниження витрат на утилізацію та підвищення вартості земельної ділянки. Тому, розглядати демонтаж потрібно як інвестицію у майбутню цінність території, а не лише як витратну статтю.

Демонтаж – це процес, який інтегрує економічні, екологічні та технологічні аспекти в реалізацію проєктів з максимальною економічною вигодою та мінімальним екологічним впливом.

Список використаних джерел

1. Базилевич, В. (2023). ДОСЯГНЕННЯ ЦІЛЕЙ СТАЛОГО РОЗВИТКУ ПІД ЧАС ВІДБУДОВИ УКРАЇНИ. Містобудування та територіальне планування, (83), 29–37. <https://doi.org/10.32347/2076-815x.2023.83.29-37>
2. Rockström J., Steffen W., Noone K. A safe operating space for humanity. Nature. 2009. Т. 461, № 7263. С. 472—475. URL: <https://doi.org/10.1038/461472a>.
3. Учасники проектів Вікімедіа. Цілі сталого розвитку – Вікіпедія. Вікіпедія. Інтернет посилання. URL: https://uk.wikipedia.org/w/index.php?title=Цілі_сталого_розвитку&oldid=38645966 (дата звернення: 03.10.2024).
4. У Гостомелі 90% будівельного сміття від знищених будинків використають утбудівництві нових кварталів. Твоє Місто - твоє телебачення. URL: https://tvoemisto.tv/news/u_gostomeli_90_budivelnogo_smittya_vid_znyshchenyh_budynkiv_vykorystayut_u_budivnytstvi_novyh_kvartaliv_145661.html (дата звернення: 03.10.2024).
5. Гончаренко, О., Денисюк, Б., & Онищук, Т. (2023). ВІДНОВЛЕННЯ ЗРУЙНОВАНОЇ ІНФРАСТРУКТУРИ НА ОСНОВІ ВИКОРИСТАННЯ ОЦИФРОВАНИХ ДАНИХ. Містобудування та територіальне планування, (83), 74–87. <https://doi.org/10.32347/2076-815x.2023.83.74-87>
6. Digital Heritage Age. [Електронний ресурс]. - Режим доступу: <https://www.digitalheritageage.com>
7. Castagnetti, C., Dubbini, M., Ricci, P. C., Rivola, R., Giannini, M., and Capra, A.: Critical Issues and Key Points from the Survey to the Creation of the Historical Building Information Model: the Case of Santo Stefano Basilica, Int. Arch. Photogramm. Remote Sens. Spatial Inf. Sci., XLII-5/W1, 467–474, <https://doi.org/10.5194/isprs-archives-XLII-5-W1-467-2017>, 2017.
8. Pavlovskis, M., Migilinskas, D., Antucheviciene, J., Kutut, V.: Ranking of Heritage Building Conversion Alternatives by Applying BIM and MCDM: A Case

of Sapieha Palace in Vilnius. *Symmetry* 2019, 11, 973.
<https://doi.org/10.3390/sym11080973>

9. Biloshytska B. O., Tatarchenko Z. S., Reveka A. V., Lobko D. I. (2022). Analysis of modern methods for technical survey of buildings and structures [Analiz suchasnihih metodiv provedennya tehnicznego obstezennya budivel ta sporud]. *Urban development and spatial planning, Vyp.79*, 45-56. <https://doi.org/10.32347/2076-815x.2022.79.45-56> (in Ukrainian).

10. Kuny, J.A. (2017). "Digital Preservation for Libraries, Archives, and Museums." Rowman & Littlefield Publishers.

11. "International Economic Aid as a Stimulus for the Revival of the Ukrainian Economy in the Post-War Period." (n.d.). Proceedings of the International Scientific and Practical Conference "Contemporary Management: Issues and Prospects," 58-61. Електронний ресурс]. – Режим доступу: <http://confmanagement.kpi.ua/proc/article/view/272136>

12. "Geo-Information Portal of Ukraine." (n.d.). Електронний ресурс]. - Режим доступу: <http://gisinfo.net.ua/content/view/1027/127/Pix4D>

13. Official website of Agisoft Metashape [Електронний ресурс]. - Режим доступу: <https://www.agisoft.com/>

14. Official website of ESRI ArcGIS [Електронний ресурс]. - Режим доступу: <https://www.esri.com/en-us/arcgis/products/arcgis-online/overview>

15. Official website of ERDAS IMAGINE [Електронний ресурс]. - Режим доступу: <https://www.hexagongeospatial.com/products/power-portfolio/erdas-imagine>

16. О.П. Кошевий, Д.В. Левківський, В.О. Кошева, М.О. Янсонс, А.Г. Чубарев, О.С. Марчук. Побудова комплексної моделі реконструкції шляхопроводу на основі обстеження з використанням вим-технологій/ Містобудування та територіальне планування: Наук.-техн. Збірник. – Вип. 83. – Київ, КНУБА, 2023. – С. 143-155.

17. О.П. Кошевий, Д.В. Левківський, В.О. Кошева, М.О. Янсонс, А.Г. Чубарев, О.С. Марчук Чисельне моделювання просторової моделі

шляхопроводу для оцінки міцності та жорсткості на основі обстеження з використанням розрахункового комплексу LIRA / Містобудування та територіальне планування: Наук.-техн. Збірник. – Вип. 84. – Київ, КНУБА, 2023. – С. 171-180.

18. Кошевий, О., Лазарева, М., Янсонс, М., Чубарев, А., Марчук, О., & Смоленський, А. (2024). ЧИСЕЛЬНЕ МОДЕЛЮВАННЯ ПРОСТОРОВОЇ МОДЕЛІ СТАНУ ПОШКОДЖЕНОГО ДЕВ'ЯТИПОВЕРХОВОГО БУДИНКУ ДЛЯ ОЦІНКИ МІЦНОСТІ ТА ЖОРСТКОСТІ НА ОСНОВІ РЕЗУЛЬТАТІВ ОБСТЕЖЕННЯ. Містобудування та територіальне планування, (86), 314–328. <https://doi.org/10.32347/2076-815x.2024.86.314-328>

19. Якименко О. В. Технічна експлуатація будівель та споруд : навч. посібник / О. В. Якименко, К. О. Кіктьова ; Харків. нац. ун-т міськ. госп-ва ім. О. М. Бекетова. – Харків : ХНУМГ ім. О. М. Бекетова, 2019. – 247 с.

20. Розпорядження Кабінету міністрів України від 8 листопада 2017 р. № 820-р., «Про схвалення Національної стратегії управління відходами в Україні до 2030 року». URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/820-2017-%D1%80#Text>.

21. А.А. Шуваєв (2023). АНАЛІТИЧНА ПЛАТФОРМА ПРОЦЕСУ УПРАВЛІННЯ ПОТОКАМИ ВТОРИННИХ РЕСУРСІВ В БУДІВЕЛЬНІЙ ГАЛУЗІ. Шляхи підвищення ефективності будівництва в умовах формування ринкових відносин, вип. 52(1), 2023. [https://doi.org/10.32347/2707-501x.2023.52\(1\).147-156](https://doi.org/10.32347/2707-501x.2023.52(1).147-156).

22. Шуваєв А. Організаційно-функціональна структура системи інформаційноаналітичного управління потоками відходів будівництва. Наука та прогрес транспорту. Вісник Дніпропетровського національного університету залізничного транспорту. 2021, №4(94). С. 69-78. DOI: 10.15802/stp2021/245674.

23. Ferriss, L. (2021). Sustainable reuse of post-war architecture through life cycle assessment. Journal of architectural conservation, vol. 27, No. 3, pp. 208–224. Retrieved from <https://doi.org/10.1080/13556207.2021.1943260>.

24. Larkham, Peter J., Adams, D. (2022). Relics of War: Damaged Structures and Their Replacement or Management in Modern Landscapes. *Sustainability*, 14, No. 20: 13513. Retrieved from <https://doi.org/10.3390/su142013513>.

25. Nikolić, E., Ivana, D., Mladen, J., Ljiljana, M., Nevenka, M. (2023). Recycling and Reuse of Building Materials in a Historical Landscape. *Viminacium Natural Brick (Serbia)* *Sustainability* 15, No. 3, 2824. Retrieved from <https://doi.org/10.3390/su15032824>.

26. Troian, V., Gots, V., Keita, E., Roussel, N., Angst, U.; Flatt, R.J. (2022). Challenges in Material Recycling for Postwar Reconstruction. *RILEM Tech Lett* 7, pp. 139–149. Retrieved from <https://doi.org/10.21809/rilemtechlett.2022.171>.

27. Sandeep, N. (2021). Utilization of recycled form of concrete, E-wastes, glass, quarry rock dust and waste marble powder as reliable construction materials. *Materials Today: Proceedings*, vol. 45, part 2, pp. 3231–3234. Retrieved from <https://doi.org/10.1016/j.matpr.2020.12.381>.

28. Шишкін Е.А. Методика реновації промислових об'єктів, розташованих на території міста / Е.А. Шишкін, Ю.І. Гайко, К.І. Вяткін, А.М. Панкєєва; Містобудування та територіальне планування: Наук-техн. Збірник. – Київ: КНУБА, 2020.– Вип.72. – С. 288–303. DOI: <https://doi.org/10.32347/2076-815x.2020.72.288-303>.

29. Ulucan, M., Esat K., Alyamac. (2022). A holistic assessment of the use of emerging recycled concrete aggregates after a destructive earthquake: Mechanical, economic and environmental. *Waste Management*, vol. 146, pp. 53–65. Retrieved from <https://doi.org/10.1016/j.wasman.2022.04.045>.

30. Nour, Madi, Issam, Srour. (2019). Managing emergency construction and demolition waste in Syria using GIS. *Resources, Conservation and Recycling*, vol. 141, pp.163–175. Retrieved from <https://doi.org/10.1016/j.resconrec.2018.10.018>.

31. Chepurna, S., Borziak, O., Zubenko, S. (2019). Concretes, modified by the addition of high-diffused chalk, for small architectural forms. *Materials Science Forum*, vol. 968, pp. 82–88. Retrieved from <https://doi.org/10.4028/www.scientific.net/MSF.968.82>.

32. Gyawali, T.R. (2022). Re-use of concrete/brick debris emerged from big earthquake in recycled concrete with zero residues. *Cleaner Waste Systems*, vol. 2, 100007, Retrieved from <https://doi.org/10.1016/j.clwas.2022.100007>

33. Шишкін, Е., Гайко, Ю., & Черноносова, Т. (2024). ШЛЯХИ РЕЦИКЛІНГУ БУДІВЕЛЬНОГО СМІТТЯ ПІД ЧАС ПІСЛЯВОЄННОЇ ВІДБУДОВИ ЗРУЙНОВАНИХ МІСТ. *Містобудування та територіальне планування*, (85), 679–697. <https://doi.org/10.32347/2076-815x.2024.85.679-697>.

34. Порядок поводження з відходами, що утворились у зв'язку з пошкодженням (руйнуванням) будівель та споруд внаслідок бойових дій, терористичних актів, диверсій або проведенням робіт з ліквідації їх наслідків, затверджений постановою Кабінету Міністрів України від 27 вересня 2022 р. No 1073 [Електронний ресурс]. Режим доступу URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/1073-2022-%d0%bf#text>.

35. Rathi Shweta & Khandve Pravin. Demolition of Buildings-An Overview. *International Journal of Advance Engineering and Research Development (IAERD)*. 2014. № 1. P. 8. ISSN: 2348–4470.

36. Чорноіван В. Н., Леонович С. Н., Чорноіван Н. В. Ефективні технології виконання робіт з ліквідації неексплуатованих виробничих об'єктів. *Наука та техніка*. 2016. Т. 15, № 2. URL: <https://doi.org/10.21122/2227-1031-2016-15-2-95-106>.

37. Мазурін Д. М., Дементьєва М. Є. Техніко-економічні показники виконання робіт з демонтажу багатоповерхової будівлі в умовах забудови, що склалася. *Вісник МДСУ*. 2021. Т. 16, вип. 6. С. 741–750. URL: <https://doi.org/10.22227/1997-0935.2021.6.741-750>.

38. Nikmehr B., Hosseini M.R., Wang J., Chileshe N., Rameezdeen R. BIM-Based Tools для Managing Construction and Demolition Waste (CDW): a Scoping Review. *Sustainability*. 2021. Vol. 13. P. 8427. URL: <https://doi.org/10.3390/su13158427>.

39. Топчій Д. В. Оцінка кореляційної залежності матеріаломісткості будівельних конструкцій різних типів виробничих будівель, що підлягають

демонтажу під час перепрофілювання промислових територій. *European Research*. 2015. № 6 (7).

40. Pavel Oleinik and Tatyana Kuzmina. The stage of demolition of buildings of the first industrial generation. *IOP Conf. Series : Materials Science and Engineering*. Vol. 365. 2018. Pp. 062016. URL: <https://doi.org/10.1088/1757-899X/365/6/062016>.

41. Кіліна І. А., Єфімова Т. Ю. Спеціальні методи демонтажу будівель. *Сучасні технології у будівництві. Теорія та практика*. 2019. № 2. С. 21–28.

42. Білоконь А. І. Систематизація і типізація проектних рішень знесення та демонтажу будівель і споруд // А. І. Білоконь, П. І. Несевря, В. О. Наумов / *Металознавство та термічна обробка металів*. – 2022. – № 4 (99). – С. 18-31. <http://srd.pgasa.dp.ua:8080/xmlui/handle/123456789/10043>.

43. Черненко К.В. СУЧАСНІ МЕТОДИ РОЗБИРАННЯ (ДЕМОНТАЖУ) КРУПНОПАНЕЛЬНИХ БУДІВЕЛЬ В ЩІЛЬНІЙ МІСЬКІЙ ЗАБУДОВІ. *Науковий вісник будівництва*, 2020, т. 102, №4. – С.194-199. doi.org/10.29295/2311-7257-2020-102-4-194-199 УДК 69.057.

44. Noguchi Y., Shinozaki Y., Ichihara H., et al. De-velopment of a New Clean Demolition System for TallBuildings. *CTVUN 2015.New York Conference*. 2015. С. 392-398.

45. Наумов В.О., Проценко Д. О. ТЕХНОЛОГІЇ ТА ОРГАНІЗАЦІЯ ДЕМОНТАЖУ КОЛОН ЗРУЙНОВАНИХ, ПОШКОДЖЕНИХ І ТИХ, ЩО ВТРАТИЛИ СТІЙКІСТЬ ТА НЕСНУЗДАТНІСТЬ У РЕЗУЛЬТАТІ ВИБУХУ. *Український журнал будівництва та архітектури*, 2024, № 2 (020), DOI: 10.30838/J.BPSACEA.2312.260324.57.1043.

46. Жусь О.М. Перспективні форми комплексного використання вторинної сировини на підприємствах будівельного комплексу. *ЕКОНОМІКА І СУСПІЛЬСТВО*, 2016, № 7. https://economyandsociety.in.ua/journals/7_ukr/54.pdf

47. Про схвалення Національної стратегії управління відходами в Україні до 2030 року. Офіційний вебпортал парламенту України. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/820-2017-p#Text>

48. Олексин М.В., Обиночна З.В. ВИКОРИСТАННЯ ВТОРИННОЇ СИРОВИНИ В АРХІТЕКТУРІ ТА БУДІВНИЦТВІ. Теорія та практика дизайну. Вип. 29–30. 2023. DOI <https://doi.org/10.32782/2415-8151.2023.29-30.12>

49. Савицький М.В., Смирнов А.С. ОСОБЛИВОСТІ ВИКОРИСТАННЯ ПОДРІБНЕНОГО БЕТОННОГО БРУХТУ ЯК КРУПНОГО ЗАПОВНЮВАЧА ДЛЯ БЕТОНУ. Український журнал будівництва та архітектури. No 6 (018). 2023. DOI:10.30838/J.BPSACEA.2312.261223.111.1013

50. Influence of glass furnace age, cullet share and glass color on the glass production energy efficiency. Skorek-osikowska A. Architecture civil engineering environment. The Silesian University of Technology. 2021. No. 4. P. 119–120.

51. Гурець Л., Котолевець А., Котова І. Зниження рівня техногенного навантаження на довкілля під час використання відходів скла. Екологічні науки: науково-практичний журнал. 2018. Т. 4, № 23. С. 43.

52. Американський стартап перетворює пластик на будівельний матеріал. Інтернет посилання. URL: <https://www.ukrinform.ua/rubric-yakisnezhyttia/3391447-amerikanskij-startap-peretvorue-plastik-na-budivelnij-material.html> (Дата звернення 03.11.2024).

53. От отходов к чуду: дорога, полностью сделанная из переработанного пластика. Інтернет посилання. URL: <https://www.orbia.com/this-is-orbia/news-and-stories/plastic-road/> (Дата звернення 03.11.2024).

54. Промислова політика як ключовий інструмент стратегії розвитку : науковоаналітична доповідь / за ред. д-ра екон. наук Дейнеко Л.В. ; НАН України, ДУ«Ін-т екон. та прогнозув. НАН України». – Електрон. дані. – К., 2019. – Режим доступу : <http://ief.org.ua/docs/sr/304.pdf>.

55. В Шотландії розробили технологію створення доріг із переробленого пластику. Інтернет посилання. URL: <https://www.epochtimes.com.ua/novyny->

svitu/v-shotlandiyi-rozrobyly-tehnologiyu-stvorenniya-dorig-iz-pereroblenogo-plastyku-124618 (Дата звернення 03.11.2024).

56. Специфікація екскаватора Hitachi ZX870LCH-5G. Інтернет посилання. URL: <https://www.lectura-specs.com.ua/ua/model/budivel-na-tehnika/gusenichni-ekskavatori-hitachi/zx870lch-5g-11690672> (Дата звернення 10.11.2024).

57. Навісне обладнання. Інтернет посилання. URL: <https://zeppelin.ua/products/attachments/> (Дата звернення 10.11.2024).

58. Шокові дробарки. Інтернет посилання. URL: https://construction-group.com.ua/uk/product/mccloskey-j40?srsId=AfmBOopSG9u8Ln72I9MiQ3F6U8hQ-sNsHH_0tMi6tW0erXoCqmHhTOmt (Дата звернення 10.11.2024).

59. Сортивальні комплекси та дискові сепаратори RODTECH RECYCLING. Інтернет посилання. URL: <https://uk.metalengi.com/stroitelnye-othody> (Дата звернення 10.11.2024).

60. Робот міні-екскаватор BROKK-90. Інтернет посилання. URL: <https://impeks.com.ua/remont-spetstekhniky/brokk-90-ua/> (Дата звернення 07.11.2024).

61. Екскаватори машини для демонтажних робіт FINMAC F16. Інтернет посилання. URL: <https://hydromarket.com.ua/ua/p809407019-ekskavatory-mashiny-dlya.html> (Дата звернення 07.11.2024).

62. Робот для демонтажних робіт Husqvarna DXR 140. Інтернет посилання. URL: <https://td-tehnika.com.ua/ua/robot-dlya-demontazhnyh-rabot-husqvarna-dxr-140.html> (Дата звернення 07.11.2024).

63. BOBCAT. Інтернет посилання. URL: <https://agromoto.com.ua/ua/m100-n> (Дата звернення 11.11.2024).

64. Коптер з пасивними ніжками повисів на гілці і поносив вантаж. Інтернет посилання. URL: <https://nauka.ua/amp/kopter-z-pasivnimi-nizhkami-povisit-na-gilkah-i-pidhopit-vantazh> (Дата звернення 11.11.2024).

65. Чи може робототехніка сприяти збільшенню ефективності в будівельній галузі? Інтернет посилання. URL: <https://www.kone.ua/ua/stories-and-references/stories/robotics-construction-spot-robot-dog.aspx> (Дата звернення 11.11.2024).

66. Очищатиме від російських мін: на що здатний потужний собака-робот Spot, який їде в Україну. Інтернет посилання. URL: https://24tv.ua/robot-spot-tsina-vsi-harakteristiki_n2055571 (Дата звернення 11.11.2024).

67. Наземний дрон XAG R150 2022 XAUV Транспортна версія. Інтернет посилання. URL: <https://store.drone.ua/nazemnyi-dron-xag-r150-2022-xauv-transportna-versiia/> (Дата звернення 11.11.2024).

68. Багі Мангуст. Інтернет посилання. URL: https://bagi-mangust.com.ua/?gad_source=1&gclid=Cj0KCQjw4Oe4BhCcARIsADQ0csk5tmp5UWCkpfFGpDjJd0ReRsOEYJ0ahPdKdlZub-nLo8Ajsfqv6mAaAsEJEALw_wcB (Дата звернення 11.11.2024).

69. 7 потужних трендів, які очікуються в будівельній галузі. Інтернет посилання. URL: <https://stulov.group/7-potuzhnih-trendiv-yaki-ochikuyutsya-v-budivelnij-galuzi/> (Дата звернення 12.11.2024).

70. DeltaSuit. Новий екзоскелет для покращеної підтримки плечей. Інтернет посилання. URL: <https://auxivo.com.ua/deltasuit/> (Дата звернення 12.11.2024).

71. Екзоскелет Sarcos допомагає робочим піднімати вантажі у промислових умовах. Інтернет посилання. URL: https://buduemo.com/ua/news/materials_technologies/ekzoskelet-sarcos-pomogaet-rabochim-podnimat-tjzhelye-gruzy-v-promyshlennyh-uslovijah.html (Дата звернення 12.11.2024).

72. Tesla AI. Інтернет посилання. URL: <https://www.tesla.com/AI> (Дата звернення 07.11.2024).