

у роботі також запропоновано діаграму прийняття рішень, що допомагає розподіляти тестові сценарії між двома інструментами, зрештою підвищуючи ефективність тестування та забезпечуючи більш надійну оцінку продуктивності API.

**Ключові слова:** тестування продуктивності, тестування API, навантажувальне тестування, стабільність системи, Postman, JMeter, аналіз часу відгуку, перцентильні метрики, оцінювання продуктивності, прийняття рішень, тестування програмного забезпечення

УДК 69:628.4:681.5:004

DOI <https://doi.org/10.36059/978-966-397-538-2-14>

## ІНТЕЛЕКТУАЛЬНА ІНФОРМАЦІЙНА ТЕХНОЛОГІЯ ІНВЕНТАРИЗАЦІЇ ТА ВИКОРИСТАННЯ БУДІВЕЛЬНИХ ВІДХОДІВ ПРИ РЕКОНСТРУКЦІЇ ПОШКОДЖЕНИХ ІНФРАСТРУКТУРНИХ ОБ'ЄКТІВ

**Dr.Sci. O. Arciprii**<sup>1[0000-0001-8130-9613]</sup>, **Ph.D. O. Іванов**<sup>2[0000-0002-8620-974X]</sup>,  
**Ph.D. N. Cudecka-Purina**<sup>3[0000-0002-5736-7730]</sup>, **К. Бєляєв**<sup>4[0009-0001-7135-3562]</sup>

<sup>1,2,4</sup>Національний університет «Одеська політехніка», Україна,

<sup>3</sup>BA School of Business and Finance, Riga, Latvia,

<sup>3</sup>EKA University of Applied Sciences, Riga, Latvia

EMAIL: <sup>1</sup>e.arsiriy@gmail.com, <sup>2</sup>lesha.ivanoff@gmail.com,

<sup>3</sup>natalija.cudecka-purina@ba.lv, <sup>4</sup>kirillbelyaev2921@gmail.com

**Анотація.** Ця робота розглядає потенціал підвищення ефективності інвентаризації та утилізації відходів від будівництва та демонтажу (ВБД) для створення та застосування як вторинних ресурсів під час відбудови пошкодженої інфраструктури, зокрема об'єктів, зруйнованих війною. Це досягається шляхом розробки інтелектуальної інформаційної технології (ІІТ). Актуальність вирішення цього питання підкреслюється тим, що великомасштабна відбудова пошкодженої інфраструктури вимагає значних витрат вітчизняних та інвестиційних первинних ресурсів. З огляду на немінучий дефіцит цих ресурсів, розвиток ринку вторинної сировини та можливість вилучення цінних матеріалів з потоків відходів для їх ефективного повторного використання стають надзвичайно важливими. Аналіз досвіду європейських колег щодо ефективного впровадження бізнес-моделі циркулярної економіки для подолання обмежень у використанні первинних ресурсів підкреслює необхідність розробки ІІТ для інвентаризації та утилізації ВБД. Попередній досвід розробників вказує на те, що ІІТ може бути реалізована як геоінформаційна система (ГІС), що дозволяє ідентифікувати об'єкти інфраструктури через базу даних. Розроблена база

# INFORMATION CONTROL SYSTEMS AND INTELLIGENT TECHNOLOGIES. ADVANCES AND APPLICATIONS

*даних ГІС містить просторові та атрибутивні дані, які відповідають вимогам бізнес-моделі циркулярної економіки, формуючи основу для концептуальної системи інвентаризації об'єктів. Інтелектуальний компонент ІТ базується на використанні великих мовних моделей для аналізу зображень місць утворення відходів (Sources). Цей аналіз включає інтерпретацію візуальних ознак, класифікацію типів будівельних матеріалів та надання приблизної оцінки обсягу. Дослідження також представляє рішення для попередньої класифікації центрів прийому відходів (Sinks) на основі атрибутивних та геопросторових даних, а також розробку інтерактивної карти «Sinks-Sources» та визначення ефективних маршрутів для транспортування ВБД, що сприяє створенню вторинних ресурсів.*

**Ключові слова.** Відходи від будівництва та демонтажу, великі мовні моделі (ВММ), інтелектуальна інформаційна технологія, геоінформаційна система, штучний інтелект, реконструкція.

## **1. Постановка проблеми**

У сучасній геополітичній ситуації в Україні життєво важливою є масштабна реконструкція пошкоджених інфраструктурних об'єктів, у тому числі зруйнованих війною, що безперечно потребує високих витрат внутрішніх та інвестиційних первинних ресурсів. Враховуючи їх неминучий дефіцит та тенденцію зростання цін на їх споживання, набуває великого значення розвиток ринку вторинної сировини, а також можливість вилучення цінних матеріалів із потоку відходів з метою їх ефективного повторного використання.

Під впливом цих факторів актуальною є розробка інтелектуальної інформаційної технології (ІТ) інвентаризації та використання відходів від будівництва та демонтажу (ВБД) для підвищення ефективності реконструкції пошкоджених інфраструктурних об'єктів на основі використання вторинних ресурсів. При розробці технології враховано досвід колег із країн Європи щодо розвитку циркулярної економіки при вирішенні проблем обмеженого використання первинних ресурсів [1]; зменшення інвестиційних та транспортних витрат на переробку первинних ресурсів і виробництво будівельних матеріалів; збільшення зайнятості на місцях, в тому числі «зелених» робочих місцях; потенційне зниження викидів CO<sub>2</sub> в процесі реконструкції тощо.

Для ефективного впровадження бізнес-моделі циркулярної економіки вторинних ресурсів пропонується створення геоінформаційної системи (ГІС) інфраструктурних об'єктів з визначенням тих, що потребують реконструкції, у тому числі зруйнованих війною. ГІС міститиме просторові атрибутивні дані, які відповідають запиту бізнес-моделі циркулярної економіки та складають основу для концептуальної системи інвентаризації об'єктів. Інтелектуальна складова технології базується на використанні великих мовних моделей (ВММ) для аналізу зображень об'єктів утворення ВБД та подальшої їх класифікації та центрів прийому.

## **2. Аналіз попередніх досліджень**

У статті [2] обговорюються загальні можливості та виклики використання ВММ, як-от моделі GPT, у будівельній галузі. Хоча вона не присвячена безпосередньо аналізу відходів, стаття створює основу для застосування цих моделей, зокрема для вибору та оптимізації матеріалів, що має відношення до повторного використання відходів. Стаття [3] надає ширший огляд генеративного штучного інтелекту (ШІ), включно з ВММ, у будівництві. Вона підкреслює їхній потенціал для різноманітних завдань, деякі з яких можуть бути адаптовані для управління відходами.

Наступні статті заглиблюються у критичні аспекти аналізу зображень для оцінки пошкоджень та класифікації відходів. У [4] оцінюються моделі генеративного ШІ (які можуть включати принципи ВММ для токенизації зображень) для класифікації структурних пошкоджень на зображеннях після землетрусу. Вони обговорюють використання ШІ для ідентифікації рівнів пошкодження та типів матеріалів. Дослідження [5] зосереджене на використанні нейронних мереж (як-от YOLO та ResNet) для класифікації ВБД за зображеннями. Хоча тут ВММ не використовуються безпосередньо в тому ж сенсі, як для тексту, стаття розглядає аспект аналізу зображень для класифікації відходів, що є ключовою частиною запропонованої технології.

Деякі джерела показують, як ШІ використовується для управління ВБД та впровадження циркулярної економіки. Високорелевантний проєкт [6] присвячений безпосередньо відбудові України. Він демонструє, як ШІ аналізує кадри з дронів, зняті над розбомбленими будівлями, для ідентифікації матеріалів, придатних для повторного використання. Джерело [7] обговорює різні способи, якими ШІ може сприяти скороченню відходів та їх переробці у будівництві, включно з плануванням демонтажу за допомогою ШІ для ідентифікації матеріалів, які можна зберегти. Стаття [8] надає ширше уявлення про те, як ШІ, машинне навчання та обробка природної мови (ОПМ) можуть оптимізувати процеси поводження з відходами, прогнозувати їхню генерацію та ідентифікувати можливості для повторного використання та переробки матеріалів у контексті циркулярної економіки.

Нещодавні досягнення підкреслюють, як ОПМ може використовуватися у будівництві (для текстових даних, що може доповнювати аналіз зображень). У [9] автори використовують ВММ для аналізу текстових даних (наприклад, звітів про нещасні випадки) у сфері будівельної безпеки. Хоча це не стосується безпосередньо відходів, це демонструє силу ВММ в обробці неструктурованого тексту, що потенційно може бути використано для аналізу звітів, специфікацій або інших текстових даних, пов'язаних з будівельними матеріалами та відходами. Огляд [10] надає вичерпний огляд застосувань ОПМ у будівництві, підкреслюючи потенціал для обробки та аналізу текстових даних для досягнення «будівельної інтелектуальності».

Подальші наукові роботи зосереджені на досягненнях у сфері розумних технологій та підходів, що ґрунтуються на даних, для управління ВБД.

## INFORMATION CONTROL SYSTEMS AND INTELLIGENT TECHNOLOGIES. ADVANCES AND APPLICATIONS

---

Дослідження [11] представляє стратегічну основу, розроблену для сприяння ефективній інтеграції розумних технологій у сферу управління ВБД. В окремому дослідженні [12] було ретельно вивчено класифікацію ВБД, що розглядається як ключовий інструмент для сприяння їх ефективній реінтеграції в матеріальний цикл. Дослідники всебічно вивчили технологічну доцільність процесів переробки та надали рекомендації щодо впровадження новаторських методологій утилізації. Стаття [13] є критичним оглядом різних методів машинного навчання, що використовуються для оцінки, класифікації та прогнозування обсягів ВБД з метою сприяння більш сталому управлінню відходами.

Впровадження ГІС відкриває значні перспективи для покращеного управління міськими відходами, зокрема у дослідженні [14] продемонстровано корисність інформаційного моделювання будівель (Building Information Modeling (BIM-моделей) у цифровому симулюванні фізичних атрибутів будівельних проєктів для цілей планування та управління. У синергії з ГІС цей підхід надає надійні інструменти для вищого рівня просторового та екологічного аналізу. Систематичний огляд літератури [15] досліджує застосування геопросторових технологій та дистанційного зондування в управлінні ВБД. Автори аналізують існуючі дослідження, щоб ідентифікувати ключові сценарії застосування – включно з ідентифікацією відходів, вибором майданчиків, кількісною оцінкою та підтримкою прийняття рішень – та визначити прогалини у дослідженнях для спрямування майбутніх робіт. Крім того, автори [16] розробили автоматизовану систему, здатну точно ідентифікувати географічне розташування ВБД та оптимізувати розподіл ресурсів, необхідних для операцій з демонтажу та подальшого транспортування відходів.

Недавні дослідження показують, що цифрові технології, як-от оцінка супутникових знімків та фотограмметрія, можуть суттєво сприяти точності обліку ВБД, зокрема на територіях, що постраждали від постійних руйнувань. Ці методи дозволяють ідентифікувати не лише обсяги відходів, але й їх геопросторове розташування, що значно полегшує планування логістики для управління вторинними ресурсами [17]. Крім того, інтеграція технологій блокчейну в управління даними дозволяє досягти більш прозорого та надійного відстеження матеріалів, що є однією з передумов для впровадження ефективної циркулярної економіки [18].

Одночасно стає все більш актуальною тема роботизації та автоматичного сортування ВБЗ. Низка досліджень підкреслює, що поєднання комп'ютерного зору з роботизованими маніпуляціями суттєво сприяє економії часу в процесі розділення матеріалів, одночасно знижуючи ризик негативного впливу на людину під час роботи з небезпечними матеріалами або у небезпечних місцях [19]. Алгоритми машинного навчання застосовуються для прогнозування обсягів генерації ВБД у конкретних проєктах, ґрунтуючись на історичних даних та параметрах, специфічних для будівельного процесу [20].

У контексті політики сталого розвитку Європейського Союзу значна роль відводиться синергії технологій BIM та цифрових двійників із ГІС-рішеннями. Вони дозволяють проводити моніторинг у режимі реального часу не лише самого будівельного процесу, а й динаміки генерації та управління відходами [21]. Такий тип інтеграції дозволяє моделювати різні сценарії повторного використання ресурсів та їхній вплив на зменшення викидів CO<sub>2</sub> [22]. Крім того, все частіше досліджується соціальний вимір бізнес-моделей циркулярної економіки – оцінка залучення місцевих громад та розвитку «зелених» робочих місць, що в сукупності веде до підтримки суспільством різних ініціатив з повторного використання та підвищення обізнаності громадськості щодо питань сталого розвитку в ширшому масштабі [23, 24].

### **3. Постановка мети дослідження**

Метою дослідження є підвищення ефективності реконструкції пошкоджених інфраструктурних об'єктів, у тому числі зруйнованих війною, за рахунок розробки інтелектуальної інформаційної технології інвентаризації та утилізації відходів від будівництва та демонтажу для створення та використання вторинних ресурсів. Для створення ІТ у роботі вирішуються наступні задачі:

- розробка методу автоматизованої інвентаризації ВБД на основі порівняльного аналізу зображень об'єкту до і після руйнування, із використанням ВММ для інтерпретації візуальних ознак, класифікації типів будівельних матеріалів та орієнтовної оцінки їх об'єму;
- розробка концептуальної схеми ІТ інвентаризації та утилізації ВБД для створення та використання вторинних ресурсів;
- реалізація версії ГІС інвентаризації пошкоджених об'єктів, що використовує базу геопросторових та атрибутивних даних щодо центрів прийому і утилізації ВБД (*Sinks*) та пошкоджених інфраструктурних об'єктів (*Sources*), а також їх взаємозв'язків у вигляді інтерактивної карти для переміщення відходів з метою подальшого отримання вторинних ресурсів.

### **4. Метод автоматизованої інвентаризації ВБД на основі порівняльного аналізу зображень інфраструктурного об'єкту до і після руйнування**

Авторами запропонований метод автоматизованої інвентаризації ВБД на основі порівняльного аналізу зображень інфраструктурного об'єкту до і після руйнування, що складається із наступних етапів.

*Етап 1. Отримання зображень інфраструктурного об'єкту до та після пошкодження/руйнування.* В якості джерел використовують зображення з дронів, супутників, архівні та приватні зображення, а також результати BIM-моделей, що надають цифрове 3D-представлення будівлі. Для подальшого аналізу рекомендовано використання візуальних пар (до/після), що дозволяє локалізувати зони пошкоджень та ідентифікувати нові об'єкти (відходи) на сцені. Приклад таких зображень для об'єкту «Школа» в форматі .jpg до та після руйнування показано на рис. 1.

## INFORMATION CONTROL SYSTEMS AND INTELLIGENT TECHNOLOGIES. ADVANCES AND APPLICATIONS

*Етап 2. Аналіз зображень з метою класифікації відходів (бетон, цегла, скло тощо). Для виконання сегментації зображень (тобто виділення та окреслення конкретних об'єктів або зон на зображенні, таких як руїни, цілі частини будівлі, різні типи сміття), використовують спеціалізовані інструменти машинного зору або інтеграцію з ними. До основних підетапів відносять попередню обробку зображень, сегментацію (кластеризацію) зображення на об'єкти/фрагменти та класифікацію сегментованих об'єктів. Проведення попередньої обробки дозволяє виконати вирівнювання та нормалізацію яскравості/контрасту, визначити області інтересу (Regions of Interest ROI) – фрагменти з відходами, де видно уламки будівлі (руїни, завали), області, де присутні матеріали (бетон, цегла, метал тощо), зони з контрастними змінами після руйнування (відсутні стіни, зсуви даху тощо). Зазначимо, що ROI – це області, які змінилися на зображеннях «після» у порівнянні з зображенням «до» (зникли частини фасаду, з'явився дим або уламки) (рис. 2).*



**Рисунок 1.** Зображення об'єкту «Школа» до та після руйнування

**INFORMATION CONTROL SYSTEMS AND INTELLIGENT  
TECHNOLOGIES.  
ADVANCES AND APPLICATIONS**

```

{
  "roi_1": {
    "location": [150, 300, 450, 600],
    "material": "brick",
    "confidence": 0.87
  },
  "roi_2": {
    "location": [500, 700, 900, 1100],
    "material": "concrete",
    "confidence": 0.92
  }
}

```

**Рисунок 2.** Приклад ROI в форматі JSON за зображеннями об'єкту «Школа»

Проведення сегментації об'єктів/фрагментів потребує використання моделей семантичної сегментації (наприклад, U-Net, DeepLabv3+, Mask R-CNN) для виділення окремих шматків будівельних матеріалів за зображеннями. При цьому можливе навчання на власному датасеті з фотографій реальних руйнувань. При класифікації сегментованих об'єктів кожному фрагменту призначається клас, наприклад бетон, цегла, скло, метал, дерево або змішані відходи. Можливо використання моделей типу ResNet, EfficientNet, або візуальні енкодерів з CLIP/BLIP2 для мультимодальних підходів в випадку змішаних відходів. В якості анотованих датасетів використовують існуючі open-source: TrashNet, TACO або власні сегментовані та марковані зображення руйнувань.

*Етап 3. Оцінка об'єму відходів.* Це ключовий етап для практичного застосування. Після класифікації матеріалів у кожній ROI зображення, враховуючи його масштаб, виконується перетворення піксельних площ у реальні площі. Наприклад, якщо 1 піксель зображення складає 10 см, тоді площа сегмента ROI  $S_{roi} = X \times Y \times (0,1 \times 0,1) \text{ м}^2$ . Для двовимірних зображень ROI робляться припущення щодо товщини шару уламків, наприклад товщина бетонних плит складатиме ~0,2–0,3 м і тоді  $S_{roi}$  перераховується зважаючи на товщину. Для отримання більш точних значень оцінок об'єму відходів створюються 3D-реконструкції з кількох зображень, використовуються геометричні методи для точного розрахунку кубатури уламків та порівняння об'ємів об'єкту до і після руйнування. Приклад орієнтовної оцінки об'ємів різних типів будівельних відходів на основі зображень об'єкту «Школа» до та після руйнування показаний в табл. 1.

Таблиця 1

**Фрагмент приблизної оцінки обсягів різних видів будівельних відходів на основі зображень об'єкту «Школа»**

Тип матеріалу	Площа, м <sup>2</sup>	Товщина шару, м	Об'єм, м <sup>3</sup>	Приблизна вага, т
Бетон	35	0,25	8,75	~20
Цегла	22	0,3	6,6	~10
Скло	8	0,02	0,16	~0,4

## INFORMATION CONTROL SYSTEMS AND INTELLIGENT TECHNOLOGIES. ADVANCES AND APPLICATIONS

*Етап 4. Застосування ВММ як мультимодального інструмента для генерації поясень.* Необхідно зазначити, що сценарії виконання цього інноваційного етапу залежатимуть від початкової ініціалізації ВММ. Тобто вказати режим використання ВММ – автономний або в комплексі з CV-моделлю, а також яка ВММ використовується – текстова (GPT3.5, Gemini) або мультимодальна (GPT-4o Gemini Pro Vision). Перевагою використання мультимодальної ВММ є можливість одночасного аналізу зображення та тексту, що є корисним при вирішенні задачі автоматизованої інвентаризації ВБД за зображеннями.

Успішне виконання етапів щодо автоматизованої інвентаризації ВБД на основі порівняльного аналізу зображень інфраструктурного об'єкту до і після руйнування залежить від ефективної генерації промпта для ВММ. Необхідно, щоб згенерований промпт мав чітку інструкцію, опис вхідних та вихідних даних, одиниці вимірювання даних, вказівку на рівень деталізації результату та персону (роль) ВММ. Далі наводимо приклад уточненого промпта для Gemini (Multimodal):

*«Призначення промпта: автоматизована інвентаризація будівельних відходів на основі зображень, класифікація матеріалів, оцінка обсягів і можливості повторного використання.»*

### **Промпт:**

Нижче наведено чотири зображення:

- перше (Image 1) показує інфраструктурний об'єкт до руйнування;
- три наступні (Image 2, Image 3, Image 4) – з різних ракурсів після руйнування.

Проаналізуй ці зображення разом і виконай наступне.

Визнач зони пошкоджень шляхом візуального порівняння між зображенням «до» та трьома зображеннями «після». Опиши локалізацію і характер пошкоджень (наприклад, обвалення фасаду, руйнування даху тощо).

Ідентифікуй типи матеріалів, які, ймовірно, стали будівельними відходами (наприклад: бетон, цегла, скло, дерево, метал). Зазнач, в яких зонах вони спостерігаються.

Оціни об'єм відходів для кожного матеріалу – у кубометрах або приблизних відсотках загального об'єму (якщо точно неможливо).

Оціни потенціал вторинного використання кожного виду відходів: придатний до переробки/повторного використання; частково придатний; непридатний.

Сформуль структурований інвентаризаційний звіт у табличному або JSON-форматі з такими полями: zone: опис або координати пошкодженої ділянки; material\_type: тип матеріалу; estimated\_volume: обсяг у м<sup>3</sup> або %; reuse\_potential: короткий висновок щодо вторинного використання; confidence: рівень впевненості (високий/середній/низький).»

Фрагмент результату відповіді ВММ Gemini у форматі JSON показаний на рис. 3. Повний JSON-файл доступний за посиланням [17].



```
[
  {
    "zone": "Central Facade and Entrance Group (from foundation to roof)",
    "description_of_damage": "Complete collapse of the upper floors above the entr",
    "material_type": "Concrete/Reinforced Concrete",
    "estimated_volume": "60-70% of total volume (approx. 2400-2800 m³)",
    "reuse_potential": "Suitable for recycling (secondary crushed stone, aggregate",
    "confidence": "High"
  },
  {
    "zone": "Central Facade and Entrance Group (from foundation to roof)",
    "description_of_damage": "Complete collapse of the upper floors above the entr",
    "material_type": "Brick/Stone/Plaster",
    "estimated_volume": "15-20% of total volume (approx. 600-800 m³)",
    "reuse_potential": "Partially suitable (crushing for backfill, limited reuse of",
    "confidence": "High"
  }
]
```

**Рисунок 3.** Фрагмент результату відповіді BMM в форматі JSON за зображеннями об'єкту «Школа»

Загальний орієнтовний об'єм будівельних відходів для такої чотириповерхової будівлі становить приблизно 3700–4300 м<sup>3</sup>. Детальний звіт у табличному форматі через його гоміздкість доступний за посиланням [17].

### **5. Концептуальна схема ІТ інвентаризації та утилізації ВБД**

Отже, можна виділити наступні завдання, які можуть бути вирішені за допомогою ІТ для аналізу та управління ВБД:

- попередня класифікація центрів прийому відходів на основі атрибутивних даних, а також отримання їхніх геопросторових даних та створення відповідної бази знань *Sinks*;
- автоматизована інвентаризація ВБД на основі порівняльного аналізу зображень інфраструктурного об'єкту до і після руйнування, класифікація типів будівельних матеріалів та орієнтовна оцінка їх об'єму (розділ 4);
- створення відповідної бази знань *Sources* («Джерела») на основі атрибутивних та геопросторових даних про пошкоджені інфраструктурні об'єкти;
- розробка інтерактивної карти *Sinks-Sources* та визначення ефективного маршруту переміщення ВБД з метою створення вторинних ресурсів.

Загальна концептуальна схема ІТ для інвентаризації та використання ВБД показана на рис. 4.

## INFORMATION CONTROL SYSTEMS AND INTELLIGENT TECHNOLOGIES. ADVANCES AND APPLICATIONS



**Рисунок 4.** Концептуальна схема ІТ для інвентаризації та утилізації ВБД

Стає очевидною нагальна потреба у зборі інформації про потоки відходів для їх подальшої категоризації та переробки. Для цього існують 2 основні методології збору даних: традиційний підхід, що передбачає використання структурованих форм для всебічного переліку типів відходів у контексті конкретного проєкту відбудови; та інноваційний підхід, що використовує ІІІ для визначення типів та обсягів відходів залежно від характеристик об'єкту відбудови.

*Порівняльний аналіз підходів до збору даних.* Кожен підхід має свої переваги та обмеження. Опитування користувачів через форми забезпечує високу точність збору даних, але часто обмежене значними витратами часу на ручне введення. Натомість, парадигма ІІІ дозволяє пришвидшити збір даних, хоча її точність безпосередньо залежить від якості навчання моделі. Наразі рівень точності ІІІ, як правило, не перевищує той, що досягається при ретельному заповненні форм.

У цьому дослідженні ми переважно використовували методологію, орієнтовану на форми, де користувачі вручну вводять обсяги відходів через інтерфейс опитування. Хоча підхід, керований ІІІ, демонструє значний потенціал у цій предметній області та потребує подальшого поглибленого вивчення та вдосконалення, його поточні обмеження не дозволяють використовувати його автономно для високоточної інвентаризації.

*Виклики у кількісній оцінці відходів на основі нейронних мереж.* Використання нейронних мереж для кількісної оцінки ВБД, отриманих з даних, специфічних для об'єктів будівництва, реконструкції чи знесення, є перспективним напрямом для прогнозування обсягів відходів за різними категоріями матеріалів. Однак цей напрям має кілька суттєвих обмежень.

По-перше, потрібна більш деталізована специфікація критеріїв для об'єктів утворення відходів. Ці критерії, хоча й вимагають мінімального введення даних користувачем, матимуть вирішальне значення для точності

## INFORMATION CONTROL SYSTEMS AND INTELLIGENT TECHNOLOGIES. ADVANCES AND APPLICATIONS

прогнозів обсягів відходів. По-друге, значна нестача даних створює серйозну перешкоду. Нейронні мережі потребують великих наборів даних для навчання, збір та підготовка яких вимагають значних підготовчих досліджень. По-третє, поточна точність прогнозування моделей нейронних мереж у цьому контексті залишається порівняно скромною, що потенційно робить цей метод недостатнім для надання надійних, практично застосовних рекомендацій.

Підсумовуючи, хоча цей підхід має свої недоліки, його синергічна інтеграція зі згаданими вище методами класифікації відходів має потенціал для спрощення та покращення результатів аналізу.

*Геопросторові дані та оптимізація маршрутів.* Результатом роботи ІТ є геопросторові дані, що стосуються центрів прийому відходів (*Sinks*), представлені у вигляді інтерактивної карти. Надаються рекомендації щодо належних протоколів поведінки з усіма класами відходів, визначеними користувачем через веб-форму, з вказівкою оптимального найближчого центру збору для кожного типу відходів.

Майбутні ітерації цього ІТ-рішення включатимуть можливості для пропонування транспортної логістики та визначення оптимальних маршрутів для перевезення відходів до центрів збору, використовуючи ГІС.

Завдання ідентифікації оптимального транспортного маршруту в межах цієї проблеми є нетривіальним. По-перше, може існувати не один маршрут через великі обсяги відходів, що потребують транспортування, та різноманітність типів відходів, які необхідно доставляти до різних центрів збору. По-друге, як зазначалося раніше, потрібно вирішити проблему розрахунку навантаження для кожного транспортного засобу. Додаткові параметри оптимізації можуть включати сценарії, де початкова точка маршруту – не сам об'єкт будівництва, реконструкції чи зносу, а початкові місця базування транспортних засобів.

### **6. Впровадження версії ГІС «*Sinks-Sources*» для інвентаризації пошкоджених об'єктів інфраструктури**

Була спроектована та розроблена ГІС-версія для комплексного аналізу та інвентаризації ВБД. Ця система складається з 4 основних модулів: 3 з них були ретельно розроблені нашою командою: фронтенд, сервер та база даних, – а четвертий модуль інтегрує запити до OpenStreetMap для візуалізації карти в інтерфейсі користувача (рис. 5).

*Архітектура системи та технології.* Серверна частина була спроектована з використанням мови програмування Java на базі Java Development Kit 21.0.8 з використанням надійного фреймворку Spring Framework, включно зі Spring Boot 3.3.0 та Spring Data JPA. Для системи управління базами даних було обрано PostgreSQL 17.0 зі стратегічним включенням PostGIS для розширення геопросторових можливостей у майбутніх розробках. Фронтенд-інтерфейс був створений за допомогою Thymeleaf 3.1.3, доповненого стандартними вебтехнологіями, такими як HTML5, CSS3 та JavaScript ES14.

# INFORMATION CONTROL SYSTEMS AND INTELLIGENT TECHNOLOGIES. ADVANCES AND APPLICATIONS

Сервер забезпечує зв'язок з веб-застосунком користувача через протокол HTTP, де вхідні запити обробляються контролерами, а потім керуються службами. Взаємодія між сервером та базою даних організована через Hibernate – бібліотеку, призначену для з'єднання Java-програм з базами даних.

Клас `BuildingController` відіграє ключову роль у збереженні даних для об'єктів та в аналізі зібраних даних для надання практичних рекомендацій. Одночасно клас `CenterService` відповідає за ідентифікацію всіх центрів збору відходів, які відповідають критеріям, визначеним користувачем [26].

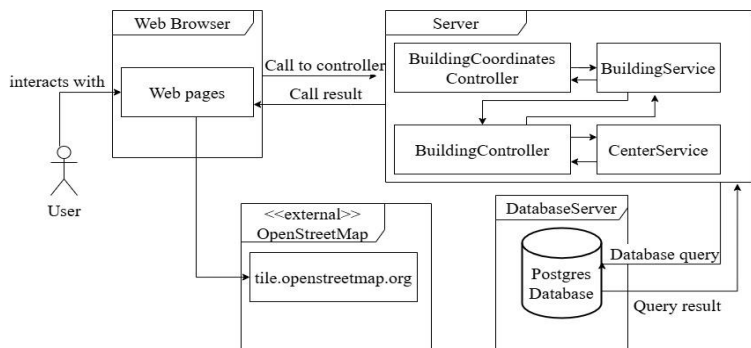


Рисунок 5. Логічна схема ГІС інвентаризації ВБД [26]

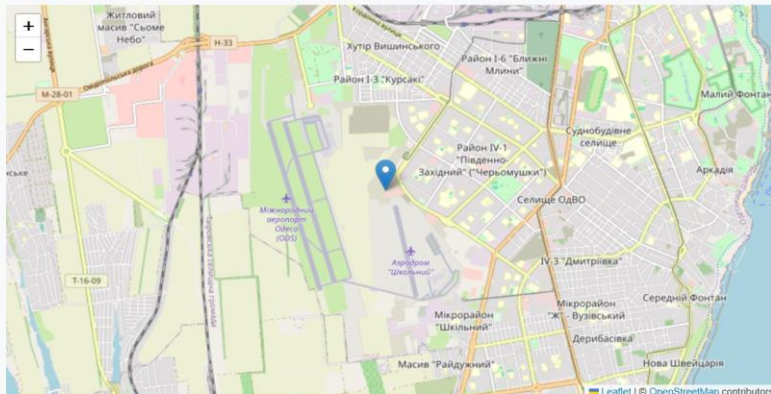
*Функції підтримки користувача та управління відходами.* У поточній версії ця прикладна ІТ має на меті допомогти користувачам в управлінні ВБД, надаючи відібраний перелік відповідних центрів збору відходів. Ці центри, класифіковані за типом, ідентифікуються на основі їхньої близькості до будівельного майданчика та їхньої здатності приймати хоча б один з типів відходів, зазначених користувачем у вхідній формі. При першому вході в систему користувачам пропонується вказати географічне розташування свого будівельного майданчика на інтерактивній карті (рис. 6).

Після завершення першого кроку, користувач переходить до наступного інтерфейсу, натискаючи кнопку «Далі», розташовану внизу екрана. Друга сторінка вимагає введення детальної інформації, що стосується будівельного майданчика. Перше завдання користувача – вказати тип об'єкту, де відбуваються будівельні роботи (рис. 7). За цим слідє вибір характеру робіт, які призведуть до утворення відходів. Обидва параметри: тип об'єкту та тип робіт – вибираються зі спадних меню, що дозволяє користувачеві обрати один відповідний варіант із заздалегідь визначеного списку. Для класифікації проєктів будівництва, реконструкції або знесення користувачам пропонується вибрати із заздалегідь визначених категорій, що включають квартири, приватні будинки, промислові будівлі та об'єкти інфраструктури. Аналогічно,

## INFORMATION CONTROL SYSTEMS AND INTELLIGENT TECHNOLOGIES. ADVANCES AND APPLICATIONS

для характеру робіт, що призводять до утворення відходів, доступні варіанти: будівництво, знесення, ремонт або «інше» для різноманітних робіт. Обидва запити вимагають вибору лише одного варіанту з відповідних спадних списків, що забезпечує стандартизацію введення даних.

Place a marker on the map to select the location of the building and click "Next"



Next

**Рисунок 6.** Екранна форма для вибору місця будівництва, реконструкції або зносу [26]

Enter the required information about construction waste

Choose the building type  
Private house

Choose the type of the work  
Construction

Wood	12	m <sup>3</sup>
Glass	1	m <sup>3</sup>

Add waste

Next

**Рисунок 7.** Екранна форма для введення даних про місце утворення відходів та даних про утворені ВВД [26]

## INFORMATION CONTROL SYSTEMS AND INTELLIGENT TECHNOLOGIES. ADVANCES AND APPLICATIONS

Після цього користувачі повинні вказати типи відходів та їх відповідні обсяги в кубічних метрах. Вибір типу відходів здійснюється за допомогою спадного списку з одним варіантом, що сприяє уніфікації даних. Натомість, обсяг відходів є обов'язковим числовим полем для введення. Для випадків, що включають кілька потоків відходів, система надає кнопку «Додати відходи», яка динамічно генерує додаткові рядки для введення. Кожен новий доданий рядок вимагає незалежного зазначення типу та обсягу відходів, що забезпечує повну документацію всіх утворених відходів [26].

Заздалегідь визначені категорії відходів, доступні для вибору, включають: бетон і кладка; дерево; метал; гіпсокартон; асфальт і покрівельні матеріали; скло; пластик; двері, вікна та сантехнічне обладнання; небезпечні матеріали; інше.

Після завершення введення даних про відходи користувачі переходять на третю сторінку, натиснувши кнопку «Далі». Ця сторінка представляє табличний огляд найближчих центрів збору ВБД (рис. 8). Таблиця динамічно показує, які типи відходів приймає кожен центр, на основі раніше введених користувачем даних, відмічаючи відповідні клітинки.



Nearest centers

The following table shows which types of waste can be transported to nearby centers. Click "Show map" for searching centers on map

Center name	Center type	Wood	Glass
Garbage dump	Landfill	✓	✓
Recycling point	Waste collection center	✓	
MP Efes	Waste recycling center	✓	

Show map

**Рисунок 8.** Екранна форма таблиці пунктів збору відходів, найближчих до місця утворення відходів [26]

Для оптимізації логістики утилізації відходів система застосовує максимально допустимі порогові значення відстані для різних типів об'єктів збору відходів відносно будівельного майданчика: центри збору відходів: включаються, якщо знаходяться в радіусі до 5 км; центри переробки: включаються, якщо знаходяться в радіусі до 10 км; полігони для захоронення: включаються, якщо знаходяться в радіусі до 20 км.

Для розрахунків відстані була використана метрика відстані Чебишова між джерелами відходів  $A_i$  та об'єктами їх збору  $B_j$  з відповідними координатами  $(x_i, y_i)$ :

$$d(A, B) = \max|x_i - y_i|$$

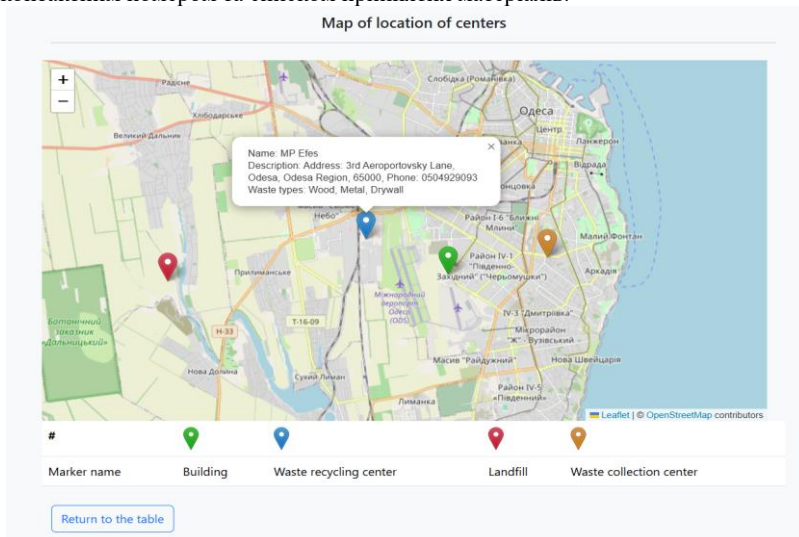
## INFORMATION CONTROL SYSTEMS AND INTELLIGENT TECHNOLOGIES. ADVANCES AND APPLICATIONS

Це було зроблено для підвищення обчислювальної ефективності, оскільки точність, яку пропонують альтернативні метрики, була визнана непотрібною для цього конкретного завдання.

Після перегляду табличних даних користувачі можуть вибрати «Показати карту», що переводить їх на наступну сторінку, де відображається інтерактивна карта з маркерами різного кольору для різних об'єктів збору відходів (рис. 9).

Символіка маркерів наступна: зелений маркер: позначає місце розташування об'єкту будівництва, реконструкції або знесення; синій маркер: позначає центр переробки відходів; червоний маркер: вказує на полігон для захоронення, призначений для утилізації відходів; помаранчевий маркер: позначає загальний центр збору відходів.

Умовні позначення, що пояснюють ці кольори, доступні внизу екрану. Для зручності, при наведенні курсора на маркер центру збору відходів з'являється підказка, що відображає відповідні деталі об'єкту, включно з назвою, адресою, контактним номером та списком прийнятих матеріалів.



**Рисунок 9.** Екранна форма для геопросторових даних про пункти збору відходів, найближчі до місця утворення відходів [26]

Важливо, що система фільтрує відображувані центри, гарантуючи, що на карті з'являться лише ті, які здатні приймати хоча б один з типів відходів, зазначених користувачем, навіть якщо інші центри знаходяться географічно ближче. Користувачі мають можливість повернутися до табличного вигляду, натиснувши кнопку «Повернутися до таблиці». Слід зазначити, що дані центрів

# INFORMATION CONTROL SYSTEMS AND INTELLIGENT TECHNOLOGIES. ADVANCES AND APPLICATIONS

збору відходів, представлені на рис. 8 і 9, є ілюстративними тестовими даними [26].

## 7. Висновки та перспективи

Дослідження спрямоване на підвищення ефективності інвентаризації та утилізації ВБД для створення та застосування вторинних ресурсів під час відбудови пошкодженої інфраструктури, включно з об'єктами, зруйнованими війною, шляхом розробки відповідної ІТ. Необхідність створення ІТ, заснованої на моделі циркулярної економіки, підкреслюється тим, що великомасштабна відбудова пошкодженої інфраструктури вимагає значних витрат вітчизняних та інвестиційних первинних ресурсів. Отже, можливість ідентифікувати та вилучати цінні матеріали з потоків ВБД для їх ефективного повторного використання стає надзвичайно важливою.

*Інтелектуальний компонент* ІТ ґрунтується на розробці автоматизованого методу інвентаризації ВБД, заснованого на порівняльному аналізі зображень об'єкту до та після руйнування. Після отримання зображень об'єкту інфраструктури з дронів, супутників, архівних джерел, приватних фотографій та результатів BIM, вони сегментуються на області інтересу ROI. Це включає ідентифікацію та окреслення руїн, уцілілих частин будівлі, різних типів відходів тощо, з використанням спеціалізованих інструментів машинного зору. Після класифікації матеріалів у кожній ROI зображення, з урахуванням масштабу, площі в пікселях перетворюються на реальні площі. Попередньо навчена BMM потім використовується як мультинструмент для генерації пояснень щодо автоматизованої інвентаризації ВБД.

ГІС-версія для інвентаризації пошкоджених об'єктів була реалізована як веб-застосунок, що дозволяє користувачам визначати джерела утворення відходів та оцінювати їх приблизні обсяги. Ця ГІС використовує базу геопросторових та атрибутивних даних щодо центрів прийому та утилізації ВБД, а також пошкоджених об'єктів інфраструктури та їх взаємозв'язків. Результати представлені у вигляді інтерактивної карти для навігації рухом відходів, що має на меті сприяти відновленню вторинних ресурсів. Маршрутизація відходів враховує тип ВБД та тип центру прийому відходів (відображаються на карті як маркери різних кольорів), надаючи запропоновані маршрути доставки відходів.

*Переваги та практичні наслідки дослідження.* Серед переваг цього дослідження – використання передових технологій, які дозволяють попередньо, хоча й приблизно, оцінити типи та обсяги відходів зі зруйнованого об'єкту інфраструктури. Також система надає потенційні варіанти поводження з відходами та центри прийому, інтегровані з інтерактивною картою. Запропонований метод, який ґрунтується на порівняльному аналізі зображень «до» і «після» з використанням BMM для візуальної інтерпретації, демонструє значний потенціал для швидкої та ефективно класифікації матеріалів та оцінки обсягів відходів.



## INFORMATION CONTROL SYSTEMS AND INTELLIGENT TECHNOLOGIES. ADVANCES AND APPLICATIONS

Для посилення розроблених висновків було б корисно ідентифікувати та виділити практичні наслідки дослідження, як на регіональному, так і на міжнародному рівнях. Розроблена ІТ не лише сприяє більш ефективному застосуванню великих даних у післявоєнному відновленні України, але й має реальний потенціал стати універсальним інструментом для подолання криз подібного характеру або тих, що виникають внаслідок різних природних катастроф у різних частинах світу. Цей підхід має сприяти зменшенню залежності від первинних ресурсів, просуванню принципів циркулярної економіки та скороченню викидів CO<sub>2</sub>, які в іншому випадку були б утворені при виробництві нових будівельних матеріалів. Таким чином, це дослідження робить суттєвий внесок у розвиток сталих будівельних і відновлювальних практик та пом'якшення наслідків зміни клімату.

Важливо також підкреслити відтворюваність розробленої методології. Система базується на технологіях, доступних для широкого кола користувачів – супутникових і дронних знімках, моделях комп'ютерного зору з відкритим кодом, ВММ та ГІС-інструментах. Це означає, що з відносно незначними адаптаціями це рішення може бути застосоване до різних географічних областей та будівельних контекстів. Крім того, відтворюваність дає можливість накопичувати порівняльні дані протягом тривалого часу, що є важливим для розробки міжнародних стандартів обліку та повторного використання будівельних відходів від руйнувань. Така перспектива значно розширює практичне застосування дослідження та посилює його актуальність у науковому та політичному дискурсі.

*Обмеження та майбутні напрямки досліджень.* Однак, обмеження цього дослідження включають його попередній характер, що представляє перше наближення реалізації ІТ. Воно не враховує повної різноманітності та складності класифікації ВБД або всіх можливих сценаріїв утилізації. Крім того, аналіз пошкоджених об'єктів за допомогою ВММ надає приблизну оцінку з певною похибкою. Поточна робота також не враховує витрати на транспортування до відповідних центрів, що може зробити певні види утилізації відходів економічно недоцільними.

Хоча повна валідація з використанням масштабних реальних даних не була проведена в рамках поточного дослідження, приблизні розрахунки, отримані за допомогою методу, показали 87 % відповідність у порівнянні з узагальненими експертними оцінками, наданими Одеською державною академією будівництва та архітектури. Цей результат підтверджує, що розроблена технологія може слугувати надійним інструментом для попередньої інвентаризації, оптимізації логістики та сприяння переходу до циркулярної економіки.

Майбутні напрямки досліджень включають більш детальне вивчення ВБД із залученням відповідних експертів з будівельної галузі та екологів для доопрацювання розробленої ІТ та покращення її якості. Також буде зроблено акцент на розширенні бази даних як для навчання ВММ, так і для доповнення даних про існуючі та нові пункти збору ВБД. Крім того, надзвичайно важливо

**INFORMATION CONTROL SYSTEMS AND INTELLIGENT  
TECHNOLOGIES.  
ADVANCES AND APPLICATIONS**

---

досягти повноцінного складання ІТ згідно з концептуальною схемою, що охоплює всі завдання, які ІТ покликана вирішувати.

**Література**

1. Cudecka-Purina, N., Kuzmina, J., Butkevics, J., Olena, A., Ivanov, O., & Atstaja, D. (2024). A comprehensive review on construction and demolition waste management practices and assessment of this waste flow for future valorization via energy recovery and industrial symbiosis. *Energies*, 17(21), 5506. <https://doi.org/10.3390/en17215506>.
2. Saka, A., Taiwo, R., Saka, N., Salami, B. A., Ajayi, S., Akande, K., & Kazemi, H. (2024). GPT models in construction industry: Opportunities, limitations, and a use case validation. *Developments in the Built Environment*, 17, 100300. <https://doi.org/10.1016/j.dibe.2023.100300>.
3. Ghimire, P., Kim, K., & Acharya, M. (2024). Opportunities and challenges of generative ai in construction industry: Focusing on adoption of text-based models. *Buildings*, 14(1), 220. <https://doi.org/10.3390/buildings14010220>.
4. Estêvão, J. M. C. (2024). Effectiveness of generative ai for post-earthquake damage assessment. *Buildings*, 14(10), 3255. <https://doi.org/10.3390/buildings14103255>.
5. Molchanova, M., Didur, V., Mazurets, O., Sobko, O., & Zakharkovich, O. (2025). Method for construction and demolition waste classification using two-factor neural network image analysis. In N. Shakhovska, A. T. Augousti, S. Liaskovska, & O. Duran (Eds.), *Proceedings of the 2nd International Conference on Smart Automation & Robotics for Future Industry (SMARTINDUSTRY 2025)* (Vol. 3970, pp. 168–182). CEUR. <https://ceur-ws.org/Vol-3970/PAPER14.pdf>.
6. Aouf, R. S. (2025, July 7). *Circularity on the Edge AI finds reusable materials in rubble of Ukrainian buildings*. Dezeen. <https://www.dezeen.com/2025/07/07/circularity-on-the-edge-ai-ukraine/>.
7. StruxHub. (2024, January 30). *AI in Construction: Reducing Waste & Promoting Recycling*. <https://struxhub.com/blog/top-15-ways-ai-and-digital-construction-management-tools-improve-waste-reduction-and-recycling-in-commercial-construction/>.
8. Alimi, K., Jin, R., Nguyen, B. N., Nguyen, Q., Chen, W., & Hosking, L. (2025). Exploring artificial intelligence applications in construction and demolition waste management: a review of existing literature. *Journal of Science and Transport Technology*, 5, 104–136. <https://doi.org/10.58845/jstt.utt.2025.en.5.1.104-136>.
9. Ahmadi, E., Muley, S., & Wang, C. (2025). Automatic construction accident report analysis using large language models (LLMs). *Journal of Intelligent Construction*, 3(1), 1–10. <https://doi.org/10.26599/JIC.2024.9180039>.
10. Ding, Y., Ma, J., & Luo, X. (2022). Applications of natural language processing in construction. *Automation in Construction*, 136, 104169. <https://doi.org/10.1016/j.autcon.2022.104169>.
11. Wu, Z., Pei, T., Bao, Z., Ng, S. T., Lu, G., & Chen, K. (2025). Utilizing intelligent technologies in construction and demolition waste management: From a

**INFORMATION CONTROL SYSTEMS AND INTELLIGENT  
TECHNOLOGIES.  
ADVANCES AND APPLICATIONS**

---

systematic review to an implementation framework. *Frontiers of Engineering Management*, 12(1), 1–23. <https://doi.org/10.1007/s42524-024-0144-4>.

12. Shuvaev, A. A. (2023). Tools for the involvement of construction and demolition waste in the repeated production cycle. *Science and Transport Progress*, 4(104), 48–55. <https://doi.org/10.15802/stp2023/297521>.

13. Samal, C. G., Biswal, D. R., Udgata, G., & Pradhan, S. K. (2025). Estimation, classification, and prediction of construction and demolition waste using machine learning for sustainable waste management: A critical review. *Construction Materials*, 5(1), 10. <https://doi.org/10.3390/constrmater5010010>.

14. Zawada, K., Mikołaj Donderewicz, Agnieszka Gertner, & Kinga Rybak-Niedziółka. (2024). The impact of BIM and GIS on the efficiency of implementing construction projects. *Acta Scientiarum Polonorum. Architectura*, 23, 358–368. <https://doi.org/10.22630/ASPA.2024.23.28>.

15. Bao, Z., Li, S., Chen, Y., Xie, H., Long, W., & Chen, W. (2025). Applications of geospatial technologies for construction and demolition waste management: A systematic literature review. *Journal of Industrial Ecology*, 29(1), 279–297. <https://doi.org/10.1111/jiec.13606>.

16. Marzouk, M., Othman, E., & Metawie, M. (2024). Managing demolition wastes using GIS and optimization techniques. *Cleaner Engineering and Technology*, 23, 100852. <https://doi.org/10.1016/j.clet.2024.100852>.

17. Saka, A., Taiwo, R., Saka, N., Oluleye, B., Dauda, J., & Akanbi, L. (2024). *Integrated bim and machine learning system for circularity prediction of construction demolition waste* (No. arXiv:2407.14847). arXiv. <https://doi.org/10.48550/arXiv.2407.14847>.

18. Wu, L., Lu, W., Peng, Z., & Webster, C. (2023). A blockchain non-fungible token-enabled ‘passport’ for construction waste material cross-jurisdictional trading. *Automation in Construction*, 149, 104783. <https://doi.org/10.1016/j.autcon.2023.104783>.

19. Li, X., Lu, W., Xue, F., Wu, L., Zhao, R., Lou, J., & Xu, J. (2022). Blockchain-enabled iot-bim platform for supply chain management in modular construction. *Journal of Construction Engineering and Management*, 148(2), 04021195. [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)CO.1943-7862.0002229](https://doi.org/10.1061/(ASCE)CO.1943-7862.0002229).

20. Xu, Y., Chi, M., Chong, H.-Y., Lee, C.-Y., & Chen, K. (2024). When BIM meets blockchain: A mixed-methods literature review. *Journal of Civil Engineering and Management*, 30(7), 646–669. <https://doi.org/10.3846/jcem.2024.21638>.

21. Shojaei, A., Ketabi, R., Razkenari, M., Hakim, H., & Wang, J. (2021). Enabling a circular economy in the built environment sector through blockchain technology. *Journal of Cleaner Production*, 294, 126352. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2021.126352>.

22. Cha, G.-W., Moon, H. J., Kim, Y.-M., Hong, W.-H., Hwang, J.-H., Park, W.-J., & Kim, Y.-C. (2020). Development of a prediction model for demolition waste generation using a random forest algorithm based on small datasets. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 17(19), 6997. <https://doi.org/10.3390/ijerph17196997>.

**INFORMATION CONTROL SYSTEMS AND INTELLIGENT  
TECHNOLOGIES.  
ADVANCES AND APPLICATIONS**

---

23. Yu, L., & Han, K. (2024). *Using construction waste hauling trucks' GPS data to classify earthwork-related locations: A Chengdu case study* (No. arXiv:2402.14698). arXiv. <https://doi.org/10.48550/arXiv.2402.14698>.

24. Bradley, P., Whittard, D., Green, E., Brooks, I., & Hanna, R. (2025). Empirical research on green jobs: A review and reflection with practitioners. *Sustainable Futures*, 9, 100527. <https://doi.org/10.1016/j.sfr.2025.100527>.

25. Arsirii, O., Ivanov, O., Bieliaiev, K., & Cudecka-Purina, N. (2025). *Construction & demolition waste AI analysis report*. <https://drive.google.com/drive/folders/1jJlurYWZrWomnhfOtOkNdQUXw-iwKyJ68?usp=sharing>.

26. Arsirii, O. O., Cudecka-Purina, N., Ivanov, O. V., & Bieliaiev, K. O. (2025). The intelligent information technology for construction waste analysis and management. *Herald of Advanced Information Technology*, 8(1), 87–99. <https://doi.org/10.15276/hait.08.2025.6>.

**INTELLIGENT INFORMATION TECHNOLOGY FOR  
INVENTORY AND UTILIZATION OF CONSTRUCTION AND  
DEMOLITION WASTE FROM DAMAGED INFRASTRUCTURE  
FACILITIES**

**Dr.Sci. O. Arsiriy**<sup>[0000-0001-8130-9613]</sup>, **Ph.D. O. Ivanov**<sup>[0000-0002-8620-974X]</sup>, **Ph.D. N. Cudecka-Purina**<sup>[0000-0002-5736-7730]</sup>, **K. Belyaev**<sup>[0009-0001-7135-3562]</sup>

<sup>124</sup>*Odesa Polytechnic National University, Ukraine*

<sup>3</sup>*BA School of Business and Finance, Riga, Latvia*

<sup>3</sup>*EKA University of Applied Sciences, Riga, Latvia*

EMAIL: <sup>1</sup>*e.arsiriy@gmail.com*, <sup>2</sup>*lesha.ivanoff@gmail.com*, <sup>3</sup>*natalija.cudecka-purina@ba.lv*, <sup>4</sup>*kirillbelyaev2921@gmail.com*

**Abstract.** *This work examines the potential for enhancing the efficiency of inventory management and utilization of construction and demolition (C&D) waste to create and apply secondary resources during the reconstruction of damaged infrastructure, including objects destroyed by war. This is achieved through the development of an intelligent information technology (IIT). The urgency of addressing this issue is underscored by the fact that large-scale reconstruction of damaged infrastructure demands significant expenditures of domestic and investment-based primary resources. Given the inevitable scarcity of these resources, the development of a secondary raw material market and the ability to extract valuable materials from waste streams for effective reuse become critically important. An analysis of European colleagues' experiences in effectively implementing a circular economy business model to address the limitations of primary resource utilization highlights the necessity of developing IIT for C&D waste inventory and utilization. Prior developer experience indicates that IIT can be implemented as a geoinformation system (GIS), enabling the identification of*

**INFORMATION CONTROL SYSTEMS AND INTELLIGENT  
TECHNOLOGIES.  
ADVANCES AND APPLICATIONS**

---

*infrastructure objects through a knowledge base. The developed GIS database contains spatial and attribute data that align with the requirements of the circular economy business model, forming the foundation for a conceptual object inventory system. The intelligent component of the IIT is based on the use of large language models to analyze images of waste generation sites (Sources). This analysis involves interpreting visual cues, classifying types of construction materials, and providing an approximate volume assessment. The work also presents solutions for the preliminary classification of waste reception centers (Sinks) based on attribute and geospatial data, along with the development of an interactive “Sinks-Sources” map and the determination of efficient routes for transporting C&D waste to facilitate the creation of secondary resources.*

**Keywords.** Construction and demolition waste, LLMs, intelligent information technology, geoinformation system, artificial intelligence, reconstruction.

УДК 004.8:681.5:697

DOI <https://doi.org/10.36059/978-966-397-538-2-15>

**ІНТЕЛЕКТУАЛЬНІ СИСТЕМИ КЕРУВАННЯ  
МІКРОКЛІМАТОМ У РОЗУМНИХ СЕРЕДОВИЩАХ  
INTELLIGENT MICROCLIMATE CONTROL SYSTEMS IN  
SMART ENVIRONMENTS**

**Dr.Sci. Н. Аксак**<sup>1</sup>[0000-0001-8372-8432], **Ph.D. М.Кушнар'ов**<sup>2</sup>[0000-0002-3772-3195],  
**Ю. Шеліхов**<sup>3</sup>[0009-0009-8970-6571]

*Харківський національний університет радіоелектроніки, Україна*

*EMAIL: <sup>1</sup>nataliia.axak@nure.ua, <sup>2</sup>maksym.kushnarov@nure.ua,*

*<sup>3</sup>yurii.shelikhov@nure.ua*

**Анотація.** Робота присвячена розробленню та впровадженню інтелектуальних систем керування мікрокліматом у «розумних» середовищах – від житлових і громадських будівель до замкнених виробничих приміщень та сіті-ферм. Запропоновано узагальнену тривірневу архітектуру Edge–Transport–Cloud з подієвою шиною, сховищами часових рядів і HMI, а також мультіагентну модель, що формалізує ролі агентів (клімат, пристрої, безпека, сповіщення) і інваріанти безпеки. Розглянуто методи ШІ для прогнозування та оптимізації: від supervised ML/DL (прогноз станів, оцінка VPD/PMV) до MPC і навчання з підкріпленням (RL), зокрема Q-learning для вироблення політик керування у змінних умовах. Окрема увага приділена інтелектуальному керуванню вентиляцією (DCV), енергомоделям і критеріям якості (точність регулювання, частка часу в «зелених» коридорах, енерговитрати, надійність). Наведено кейси для smart-home середовищ, замкнених приміщень і сіті-ферм, показано інтеграцію моделей у