

<https://doi.org/10.31891/2307-5732-2025-351-8>

УДК 628.4:004.9:621.391:004.77

БРЕДУН ВІКТОР

Національний університет «Полтавська політехніка імені Юрія Кондратюка»

<https://orcid.org/0000-0002-8214-3878>

e-mail: bvi37h@gmail.com

БРЕДУН АНДРІЙ

Кременчуцький ліцей №10 «Лінгвіст»

e-mail: andreibredun0@gmail.com

АНАЛІЗ МОЖЛИВОСТЕЙ ВПРОВАДЖЕННЯ ТЕХНОЛОГІЙ ЦИФРОВОГО МОНІТОРИНГУ У МУНІЦИПАЛЬНІ СИСТЕМИ УПРАВЛІННЯ ТВЕРДИМИ ПОБУТОВИМИ ВІДХОДАМИ ГРОМАД ПОЛТАВСЬКОЇ ОБЛАСТІ

Однією з актуальних задач, яка стоїть перед сільськими громадами Полтавської області, є удосконалення систем управління відходами. Важливу роль у забезпеченні їх ефективності відіграє впровадження технологій Інтернету речей (IoT), RFID-систем та мобільних додатків, які дозволяють оптимізувати процеси збору, транспортування та утилізації відходів. Основним завданням роботи є дослідження напрямків і можливостей адаптації європейського досвіду до умов українських громад. У межах роботи проаналізовано сучасний стан систем управління відходами в Полтавській області, вивчено досвід європейських муніципалітетів з впровадження цифрових технологій в муніципальні системи управління твердими побутовими відходами, визначено фактори доцільності та можливості впровадження цифрових рішень, визначено категорії громад по ступеню готовності і сформульовано рекомендації щодо інтеграції цих технологій у системи поводження з відходами територіальних громад Полтавської області.

Ключові слова: тверді побутові відходи, цифрові технології, система управління відходами, екологічна ефективність, територіальна громада

BREDUN VIKTOR

National University «Yuri Kondratyuk Poltava Polytechnic»

BREDUN ANDRIY

Kremenchuk Lyceum № 10 «Linguist»

ANALYSIS OF THE POSSIBILITIES OF IMPLEMENTING DIGITAL MONITORING TECHNOLOGIES INTO MUNICIPAL SOLID WASTE MANAGEMENT SYSTEMS OF COMMUNITIES OF POLTAVA REGION

One of the urgent tasks facing rural communities in Poltava region is to improve waste management systems. Among the logistical aspects, the main ones are the structure of the road network and optimization of routes. In this regard, one of the ways to increase the efficiency of waste collection systems, as shown by European experience, is the introduction of operational route planning technologies based on digital waste accumulation monitoring systems such as the Internet of Things (IoT), RFID systems and mobile applications. This allows for dynamic route adjustment, which significantly increases the efficiency of waste management systems by optimizing logistics and involving citizens in active participation in waste management. However, due to a number of regional features, not all communities in Poltava region at this stage of their economic, infrastructural and demographic development have the opportunity to introduce digital technology in waste management systems. For individual communities, in addition to the issue of possibility, the issue of expediency of implementing such systems is also relevant. The main goal of the work is to study the directions and possibilities of adapting European experience to the conditions of Ukrainian communities. The work studies the experience of European municipalities in implementing digital technologies in solid waste management systems. The factors of feasibility and possibilities of implementing digital solutions in municipal waste management systems are determined. Based on the analysis of the current state of waste management systems of territorial communities of Poltava region, their typification was carried out and categories of communities were determined by the degree of readiness for the implementation of digital solutions. For each category of communities, recommendations are formulated for the integration of digital technologies into waste management systems. The results obtained substantiate the principles of modernization of the waste management system of territorial communities of Poltava region.

Keywords: solid waste, digital technologies, waste management system, environmental efficiency, territorial community

Стаття надійшла до редакції / Received 11.04.2025

Прийнята до друку / Accepted 26.04.2025

Постановка проблеми

Проблема вдосконалення регіональних і місцевих систем управління відходами залишається актуальною для більшості областей України. Ефективність функціонування всієї системи значною мірою залежить від процесів збору та транспортування, які забезпечуються транспортно-технологічною інфраструктурою.

Особливо важливою дана задача є при проектуванні систем управління відходами для сільських і селищних громад, які часто характеризуються невеликими обсягами утворення відходів та відстанями в декілька кілометрів між населеними пунктами. Одним із шляхів вирішення даної задачі є впровадження сучасних цифрових технологій, які дозволяють оперативно планувати маршрути в залежності від завантаженості контейнерів на майданчиках. Такі технології широко використовуються в Європі та дають суттєвий економічний та екологічний ефект. У зв'язку з цим важливим завданням є вивчення шляхів і можливостей адаптації європейського досвіду до умов українських громад, що сприятиме підвищенню ефективності муніципальних систем управління відходами.

Мета. Розробка рекомендацій для територіальних громад Полтавської області щодо впровадження сучасних цифрових технологій у системи управління відходами.

Аналіз останніх досліджень

Системи поводження відходами в Полтавській області України стикаються з широким спектром проблем, включно із застарілими технологіями, недостатньо розвиненою інфраструктурою, дефіцитом громадської обізнаності та фінансування. Ці обставини часто приводять до того, що місцеві системи управління відходами в громадах України відстають від передових європейських та світових технологій та методів організації. Основні шляхи і методи вирішення проблем в сфері організації поводження з відходами на місцевому рівні у громадах Полтавської області були намічені у Регіональному плані по управлінню відходами в Полтавській області до 2030 року [1]. Це концептуальний документ, але він не в повній мірі розглядає можливості застосування сучасних цифрових технологій для удосконалення систем управління відходами регіонального та місцевого рівня.

У рамках Регіонального плану управління відходами в Полтавській області до 2030 року [1] передбачається створення необхідної інфраструктури для збору, транспортування та переробки ТПВ. Це включає будівництво сміттєзвалищ, сортувальних станцій і розвиток логістичних схем, що забезпечать ефективність транспортування. Фінансова складова є однією з ключових проблем. Більшість комунальних підприємств забезпечують управління відходами за рахунок місцевого бюджету. Проте, фінансування часто є недостатнім для забезпечення технологічного розвитку комунальних підприємств [2, 3].

Процес впровадження цифрових технологій в місцеві системи управління відходами в умовах громад Полтавської області стикається з рядом проблем [4], таких як недостатній рівень розвитку необхідної технологічної інфраструктури. Значна частина сільських і селищних населених пунктів не має належних об'єктів для збору, зберігання та переробки відходів. Таке становище ускладнює впровадження цифрових технологій моніторингу ТПВ та створює серйозні екологічні загрози, включно із забрудненням навколишнього середовища, що негативно впливає як на здоров'я населення, так і на екосистему.

Другою суттєвою проблемою є застарілість та обмеженість видового складу технологічного обладнання. В першу чергу це стосується спеціалізованого транспортного обладнання. Часто у комунальних господарствах громад, особливо невеличких, використовуються зразки техніки 20-30-річної давнини, які вже морально і фізично застаріли [2-3]. Сучасні системи управління з використанням комп'ютеризованих комплексів, геоінформаційних технологій, сучасних технологій зв'язку взагалі відсутні.

Серед логістичних аспектів основними є структура дорожньої мережі та оптимізація маршрутів. В цьому плані одним із шляхів підвищення ефективності систем збирання відходів, як показує європейський досвід, є впровадження технологій оперативного планування маршрутів на основі цифрових систем моніторингу накопичення відходів. Це дозволяє динамічно коректувати маршрути, підвищуючи ефективність системи управління відходами.

Таким чином, цифрові технології відіграють важливу роль у вдосконаленні систем управління відходами в муніципалітетах країн ЄС. Вони дозволяють підвищити ефективність збору, переробки та утилізації відходів, а також забезпечують прозорість і зручність для громадян. Муніципалітети впроваджують інтелектуальні системи збору відходів, які використовують датчики для моніторингу наповненості контейнерів. Це дозволяє оптимізувати маршрути збору, зменшуючи витрати на паливо та час, необхідний для збору відходів [5]. Наприклад, у деяких містах Іспанії та Німеччини вже реалізовані проекти, які використовують технології IoT (Інтернет речей) для моніторингу стану контейнерів [6, 7].

Виклад основного матеріалу

На даний час існують різні технології реалізації цифрових рішень систем управління відходами. Їх можна розділити на чотири групи. До першої можна віднести системи локального рівня з фіксацією ступеня наповненості контейнерів. До другої групи - також системи локального рівня, які ведуть спостереження за станом території контейнерного майданчику. Системи третьої групи представляють собою комплексні рішення, які, як правило, поєднують різних операторів, працюючих на ринку збирання, перевезення та утилізації відходів в єдину систему. А це як правило системи регіонального чи державного рівня.

Базовими технологіями першої групи є технології інтернету речей (IoT). В нашому випадку – це система датчиків, кожен з яких має доступ до інтернету, тому інформація з датчиків передається на сервера для подальшого аналізу. Впровадження технологій Інтернету речей (IoT) та розширеної аналітики дозволяє відслідковувати та оптимізувати маршрути збирання відходів у режимі реального часу, що призводить до економії коштів для муніципалітетів та компаній з управління відходами [8]. До однієї з таких технологій відносяться RFID компоненти. Система RFID адаптується до різних технологічних складових систем управління відходами і передбачає фіксацію міток-транспондерів, мікрочіпи яких пов'язані із кодом користувача [9].

Важливим елементом технологічному ланцюгу є система зв'язку. Європейським досвідом доведено, що найбільш ефективними в системах управління відходами є шлюзи LoRaWAN LTE з можливостями GPS, які дозволяють менеджерам відстежувати місцезнаходження зовнішніх співробітників в режимі реального часу. Стільниковий шлюз LoRaWAN ідеально підходить для розвантаження трафіку шлюзу з високою мобільністю та швидкістю передачі даних, еквівалентною Wi-Fi [10]. LoRaWAN працює на відстанях приблизно 5-10 км і надсилає невеликі обсяги даних через нерегулярні проміжки часу, що робить його ідеальним для пристроїв із живленням від акумуляторів у віддалених районах. LoRaWAN працює в неліцензованому діапазоні ISM (промисловий, науковий та медичний), що вимагає відносно низьких витрат на розгортання порівняно з розгортанням кількох маршрутизаторів Wi-Fi в місцях з обмеженими ресурсами.

Прикладом системи другої групи може бути "Al City Vision" [11] для підвищення чистоти в містах. Ця ініціатива дозволяє використовувати 360-градусні зовнішні камери, які точно оцінюють стан сміттєвих баків, їх переповненість та чистоту контейнерних майданчиків. Ця технологія на основі штучного інтелекту оптимізує процеси управління відходами, заощаджуючи час.

Італійська система контролю відходів (SISTRIS) [12] відноситься до систем третьої групи. SISTRIS об'єднує всіх операторів, що беруть участь в управлінні відходами, від виробництва до утилізації, та охоплює всі види транспортування відходів (морським, залізничним та автомобільним транспортом) з онлайн-моніторингом всього життєвого циклу ТПВ по всій країні.

Іншою важливою частиною (четверта група) цифрової системи моніторингу ТПВ є спеціальні додатки для мобільних пристроїв, такі як ACDECHETS [13], які можуть використовувати громадяни. Люди, за допомогою цих додатків можуть надсилати комунальним службам інформацію про несанкціоновані місця захоронення ТПВ, переповнені контейнери.

Впровадження цифрових рішень у системи збирання та транспортування ТПВ може бути особливо ефективним при збиранні ресурсоцінних фракцій у малочисельних населених пунктах приклад Мартинівської, Диканської та інших громад [14]. Проблема полягає в тому, що об'єми відходів, які утворюються по невеликих селищах і селах часто є недостатніми для організації рентабельного збирання, особливо якщо враховувати відстані у 5-10 км між населеними пунктами. Тому, моніторинг завантаженості контейнерів дозволить коригувати маршрути відповідно до завантаженості контейнерів і виключити з маршрутів ті населені пункти чи контейнерні майданчики, які є недостатньо заповненими, і здійснювати їх обслуговування при наступних рейсах.

Одним з основних недоліків систем цифрового моніторингу ТПВ є високі початкові витрати на впровадження технології. Іншою проблемою є відсутність у більшості сільських та селищних громад Полтавської області висококваліфікованих кадрів, необхідних для експлуатації системи.

Перед впровадженням цифрових технологій моніторингу ТПВ важливо чітко визначити критерії доцільності, які дозволять оцінити ефективність, економічну обґрунтованість та екологічні наслідки такого впровадження. Одним із таких є демографічна структура громади та кількість утворених відходів. Фактор демографічної структури громади часто є визначальним у формуванні структури системи управління відходами громади. Так, за демографічними показниками в кожній громаді існують села, які можуть бути визнані не перспективними для подальшого розвитку та включення їх до інфраструктури управління відходами.

Громади з високими обсягами утворення відходів можуть отримати найбільшу вигоду від впровадження цифрових технологій. Для громад з невеликими обсягами утворення відходів впровадження цифрових систем може бути корисним при розвитку технологій роздільного збору для оптимізації процесів збирання ресурсоцінних фракцій шляхом регулювання періоду збирання в залежності від заповненості контейнерів.

Одним із факторів, який визначає доцільність та можливість впровадження технологій цифрового моніторингу ТПВ є поточний стан систем поводження з відходами. В громадах Полтавської області стан систем управління відходами доволі різний і впливає на ефективність цифрових технологій моніторингу ТПВ, хоч і не на пряму. Наприклад, чим сучасніше обладнання, тим швидше можна збирати відходи з контейнерів. Це, в свою чергу приводить до того, що маршрути, створені в динамічному режимі, будуть більш ефективними.

У якості організаційних аспектів доцільності можна виділити існуючу в громадах систему збирання. Існують громади, які орієнтовані на встановлення колективних контейнерних майданчиків. Також, існують громади, які орієнтовані на оснащення контейнерами кожного подвір'я. В результаті такої технології машина повинна кожен раз рухаючись по маршруту зупинятись біля кожного подвір'я, що суттєво збільшує час обслуговування території. Для громад, які використовують подібні технології збору, впровадження цифрових рішень є особливо актуальним тому, що далеко не в кожній оселі постійно утворюється велика кількість відходів. Тому, це дає можливість оптимізувати зупинки сміттєзбирального автомобіля, підвищити середню швидкість руху автомобіля по маршруту, зменшити витрати пального, викиди в атмосферу і час обслуговування маршруту.

Факторами, що визначають доцільність, можуть бути економічні та показники, такі як термін окупності, рівень рентабельності технології цифрового моніторингу ТПВ.

Кожна громада має свій рівень економічного розвитку, свою структуру комунального господарства, знаходиться на своєму етапі розвитку системи поводження з відходами. Тому можливості громад сильно відрізняються. У першу чергу - наявність достатнього для впровадження технологій бюджету. В залежності від наявних коштів розробляються плани по управлінню відходами і опираючись на цей фактор буде визначено, чи громада взагалі здатна закупити необхідну кількість обладнання та підтримувати його.

Іншим фактором є наявність висококваліфікованих кадрів технічного профілю, які могли б працювати з обладнанням. В більшості громад таких фахівців немає. Це пов'язано з демографічним станом. Велику частину населення по таких громадах складають люди похилого віку, які не завжди здатні працювати з комп'ютерами і не є висококваліфікованими фахівцями в цифрових технологіях.

Ще одним важливим фактором є наявність інфраструктури: у першу чергу надійного інтернет з'єднання та електричного живлення по всій території громад. По селах зазвичай використовується інтернет, наданий мобільними операторами і далеко не всюди він є стабільним. Ще одним важливим пунктом є наявна дорожня інфраструктура та її якість. Цей фактор у значній мірі впливає на можливість розстановки контейнерного забезпечення, можливість доступу транспорту, а відтак і можливість організації систем збирання на тих чи інших територіях, побудови маршрутів, в тому числі й у динамічному режимі.

На підставі аналізу факторів можливості та доцільності населені пункти Полтавської області можна поділити на чотири категорії залежно від ступеня готовності до впровадження цифрових технологій:

- готові до впровадження: ця група включає такі громади, як Полтавська та Кременчуцька, Котелевська, Пирятинська, міста Горішнє Плавні, Миргород, Лубни, Гадяч, які вже створили умови для цифрових технологій у моніторингу відходів. Їхня наявна інфраструктура готова підтримувати ефективне управління відходами та впровадження цифрових технологій моніторингу ТПВ;

- громади, що знаходяться на етапі попередньої готовності, такі громади, як Опішнянська. В цих громадах впровадження цифрових технологій моніторингу ТПВ буде можливим та доцільним в найближчому майбутньому;

- громади, які мають потенціал до розвитку системи поводження з відходами. Деякі громади, такі як, Диканська, мають необхідні передумови для переходу на вищі етапи розвитку системи управління відходами. Вони почали поступове впровадження інноваційних рішень, проте потребують подальшого розвитку організаційно-технологічних аспектів;

- громади з низьким рівнем готовності: категорія громад, які не мають достатньої інфраструктури та ресурсів для переходу на вищі етапи розвитку системи поводження з ТПВ. У таких громадах необхідно проводити детальні дослідження та реалізувати значний обсяг робіт щодо створення умов для реалізації проекту впровадження цифрових технологій управління відходами.

Громадам, які повністю готові до впровадження технологій цифрового моніторингу ТПВ рекомендується починати навчання персоналу та проведення тендерів на закупівлю обладнання. Після цього інтегрувати технологію в систему моніторингу ТПВ. Іншою важливою рекомендацією для таких громад є створення власних додатків для мобільних пристроїв, які могли б використовувати громадяни. Це дозволило б суттєво підвищити загальний рівень обізнаності населення та покращити екологічний стан на територіях громад.

Для громад, що розвиваються, рекомендується почати впроваджувати технології цифрового моніторингу ТПВ в пілотному режимі, поступово впроваджуючи по всій території громади, по мірі розвитку загальної системи поводження з відходами. В той же час громадам необхідно проводити системне навчання персоналу роботи з даними технологіями та обладнанням.

Громадам, що мають потенціал до розвитку систем поводження з відходами рекомендується спочатку провести аналіз, на предмет визначення часового проміжку доцільності впровадження системи. При позитивному результаті рекомендується впроваджувати цифрові системи починаючи з етапу технологічної підготовки. Ще однією рекомендацією є більш тісна міжмуніципальна співпраця з громадами свого кластеру.

Для громад з низьким рівнем готовності питання впровадження цифрових технологій моніторингу ТПВ має вирішуватись у індивідуальному порядку на основі ретельних попередніх досліджень соціально-демографічних, економічних тенденцій розвитку громад. Для громад такого типу характерні низькі демографічні та економічні показники, мала кількість відходів, що утворюються. Тому інтеграцію цифрових систем управління відходами в таких громадах не завжди може бути економічно оправданою.

Висновки

Багато громад Полтавської області стикається з проблемами застарілої інфраструктури, недостатнього фінансування, низького рівня обізнаності населення та відсутності кваліфікованого персоналу. Ці чинники суттєво обмежують можливості модернізації систем поводження з відходами. Однак, досвід впровадження цифрових технологій у системи управління відходами європейських муніципалітетів показує, що інтеграція цифрових рішень, таких як Інтернет речей, аналітичні

платформи та мобільні додатки, дозволяє суттєво підвищити ефективність систем управління відходами, оптимізувати логістику та залучити громадян до активної участі у поводженні з відходами.

Аналіз факторів можливості та доцільності впровадження сучасних цифрових технологій в системи управління відходами територіальних громад Полтавської області показує, що громади області можна розподілити на чотири категорії за їхнім потенціалом щодо впровадження цифрових рішень. Для громад готових до впровадження цифрових технологій запропоновано негайно розпочати інтеграцію рішень IoT та мобільних додатків. Для громад, що розвиваються, рекомендовано пілотні проекти та навчання персоналу. Громадам із потенціалом розвитку пропонується здійснити попередній аналіз доцільності та поступово впроваджувати цифрові технології. Громадам з низьким рівнем готовності рекомендовано зосередитися на базових аспектах, таких як покращення інфраструктури та кластерна співпраця.

Таким чином, впровадження цифрових технологій у системи управління відходами є перспективним напрямком розвитку для громад Полтавської області, але потребує врахування їхніх індивідуальних особливостей.

Література

1. Полтавська обласна адміністрація. (2021). *Регіональний план управління відходами у Полтавській області до 2030 року: проєкт*. <https://www.adm-pl.gov.ua/advert/oprilyudnennya-dlya-obgovorennya-proektu-regionalniy-plan-upravlinnya-vidhodami-u-poltavskiy>
2. Національний університет "Полтавська політехніка імені Юрія Кондратюка". (2023). *Схема санітарного очищення для смт Опішня, с. Попівка та с. Малі Будища Опішнянської територіальної громади Полтавської області*.
3. Національний університет "Полтавська політехніка імені Юрія Кондратюка". (2023). *Схема санітарного очищення населених пунктів Котелевської селищної територіальної громади (договір № 0033/23 від 25.05.2023)*.
4. Бредун, В. І., & Бредун, А. В. (2024). Проблеми впровадження систем цифрового моніторингу твердих побутових відходів в сільських та селищних громадах Полтавської області. У *Тези Всеукраїнської наукової конференції здобувачів вищої освіти та молодих учених «Екологічна безпека та раціональне природокористування»* (с. 127–128). Житомирська політехніка.
5. European Environment Agency. (2024). *Digital technologies will deliver more efficient waste management in Europe*. <https://www.eea.europa.eu/themes/waste/waste-management/digital-technologies-will-deliver-more>
6. Smart city policy between institutions and citizens: The perspective of the city of Milan. (2023). https://ibn.idsi.md/vizualizare_articol/204087
7. MATCHUP Project. (2020). *Major Smart City study on IoT-Infrastructures in eight German cities*. <https://www.matchup-project.eu/news/major-smart-city-study-on-iot-infrastructures-in-eight-german-cities/>
8. *IoT-enabled smart waste management systems for smart cities: A systematic review*. (2022). IEEE Xplore. <https://ieeexplore.ieee.org/abstract/document/9815071>
9. L'IoT nella gestione smart della raccolta differenziata dei rifiuti. (2022). *ZeroUnoWeb*. <https://www.zerounoweb.it/iot/liot-nella-gestione-smart-della-raccolta-differenziata-dei-rifiuti/>
10. Lavric, A., & Popa, V. (2017). Internet of Things and LoRa™ Low-Power Wide-Area Networks: A survey. *Semantic Scholar*. <https://www.semanticscholar.org/paper/Internet-of-Things-and-LoRa-Low-Power-Wide-Area-A-Lavric-Popa/b974d0999a8d3dc6153e005687b307df55615fa2>
11. MEP Middle East. (2023). *BEEAH AI City Vision: Region's 1st AI cameras for city cleaning and waste management*. <https://www.mepmiddleeast.com/news/beeah-ai-city-vision-region-1st-ai-cameras-city-cleaning-waste-management>
12. EU Monitor. (2010). *The Italian waste traceability control system (SISTR) and the Regulation on transboundary shipments of waste - Information from the Italian delegation*. <https://www.eumonitor.nl/9353000/1/j9vvik7m1c3gyxp/vila9f10umz1>
13. ACDECHETS. (2024). [Мобільний застосунок]. Google Play. https://play.google.com/store/apps/details?id=acdechets.smartidf.services&hl=en_US
14. Національний університет "Полтавська політехніка імені Юрія Кондратюка". (2024). *Матеріали з розроблення схеми збирання, перевезення та оброблення побутових відходів для населених пунктів Мартинівської сільської територіальної громади Полтавської області (договір № 0031/24 від 25.04.2024)*.

References

1. Poltavaska oblasna administratsiia. (2021). *Rehionalnyi plan upravlinnia vidkhodamy u Poltavskii oblasti do 2030 roku: proiekt*. <https://www.adm-pl.gov.ua/advert/oprilyudnennya-dlya-obgovorennya-proektu-regionalniy-plan-upravlinnya-vidhodami-u-poltavskiy>
2. Natsionalnyi universytet "Poltavska politekhnikha imeni Yurii Kondratiuka". (2023). *Skhema sanitarnoho ochyshchennia dlia smt Opishnia, s. Popivka ta s. Mali Budyshcha Opishnianskoi terytorialnoi hromady Poltavskoi oblasti*.

3. Natsionalnyi universytet "Poltavska politehnika imeni Yurii Kondratiuka". (2023). Skhema sanitamoho ochyshchennia naselennykh punktiv Kotelevskoi selyshchnoi terytorialnoi hromady (dohovir № 0033/23 vid 25.05.2023).
4. Bredun, V. I., & Bredun, A. V. (2024). Problemy vprovadzhennia system tsyfrovoho monitorynhu tverdykh pobutovykh vidkhodiv v silskykh ta selyshchnykh hromadakh Poltavskoi oblasti. U Tezy Vseukrainskoi naukovoï konferentsii zdobuvachiv vyshchoi osvity ta molodykh uchennykh «Ekolohichna bezpeka ta ratsionalne pryrodokorystuvannia» (s. 127–128). Zhytomyrska politehnika.
5. European Environment Agency. (2024). Digital technologies will deliver more efficient waste management in Europe. <https://www.eea.europa.eu/themes/waste/waste-management/digital-technologies-will-deliver-more>
6. Smart city policy between institutions and citizens: The perspective of the city of Milan. (2023). https://ibn.idsi.md/vizualizare_articol/204087
7. MATCHUP Project. (2020). Major Smart City study on IoT-Infrastructures in eight German cities. <https://www.matchup-project.eu/news/major-smart-city-study-on-iot-infrastructures-in-eight-german-cities/>
8. IoT-enabled smart waste management systems for smart cities: A systematic review. (2022). IEEE Xplore. <https://ieeexplore.ieee.org/abstract/document/9815071>
9. L'IoT nella gestione smart della raccolta differenziata dei rifiuti. (2022). ZeroUnoWeb. <https://www.zerounoweb.it/iot/liot-nella-gestione-smart-della-raccolta-differenziata-dei-rifiuti/>
10. Lavric, A., & Popa, V. (2017). Internet of Things and LoRa™ Low-Power Wide-Area Networks: A survey. Semantic Scholar. [https://www.semanticscholar.org/paper/Internet-of-Things-and-LoRa™-Low-Power-Wide-Area-A-Lavric-Popa/b974d0999a8d3dc6153e005687b307df55615fa2](https://www.semanticscholar.org/paper/Internet-of-Things-and-LoRa%26TM-Low-Power-Wide-Area-A-Lavric-Popa/b974d0999a8d3dc6153e005687b307df55615fa2)
11. MEP Middle East. (2023). BEEAH AI City Vision: Region's 1st AI cameras for city cleaning and waste management. <https://www.mepmiddleeast.com/news/beeah-ai-city-vision-region-1st-ai-cameras-city-cleaning-waste-management>
12. EU Monitor. (2010). The Italian waste traceability control system (SISTR) and the Regulation on transboundary shipments of waste - Information from the Italian delegation. <https://www.eumonitor.nl/9353000/1/j9vvik7m1c3gyxp/vila9f10umz1>
13. ACDÉCHETS. (2024). [Mobilnyi zastosunok]. Google Play. https://play.google.com/store/apps/details?id=acdechets.smartidf.services&hl=en_US
14. Natsionalnyi universytet "Poltavska politehnika imeni Yurii Kondratiuka". (2024). Materialy z rozroblennia skhemy zbyrannia, perevezennia ta obroblennia pobutovykh vidkhodiv dlia naselennykh punktiv Martynivskoi silskoi terytorialnoi hromady Poltavskoi oblasti (dohovir № 0031/24 vid 25.04.2024).