**УДК 502.1:628.4:005(477)**
**DOI https://doi.org/10.32846/2306-9716/2026.eco.6-69.56**

# АЛГОРИТМИ ФОРМУВАННЯ ЕКОЛОГІЧНО ОРІЄНТОВАНОЇ МОДЕЛІ УДОСКОНАЛЕННЯ СИСТЕМИ УПРАВЛІННЯ ВІДХОДАМИ В УКРАЇНІ

**Козаченко Т.П. (orcid.org/0000-0003-3875-4804)**
Державна наукова установа «Інститут екологічного відновлення та розвитку України»
вул. Митрополита Василя Липківського, 35, корп. 2, 03035, м. Київ
erdu@ukr.net

Розглянуто методологічні підходи до формування екологічно орієнтованої моделі управління відходами в Україні та обґрунтовано необхідність комплексного вдосконалення її організаційних, економічних, технологічних та інституційних складових. Встановлено, що ефективність системи управління відходами визначається не лише раціональністю управлінських рішень, а й рівнем їх екологічної спрямованості, здатністю забезпечувати запобігання утворенню відходів, скорочення обсягів їх захоронення, розширення повторного використання та перероблення ресурсів. Запропоновано чотири альтернативні алгоритми формування екологічно орієнтованої моделі управління відходами: аналітично-ієрархічний, циклічної оптимізації, процесно-інтегративний та інтегративно-стратегічний. Кожен із них передбачає власну послідовність управлінських етапів і механізмів реалізації екологічних пріоритетів. Їх застосування створює методичні передумови для систематизації управлінських рішень, узгодження діяльності учасників системи та врахування екологічних наслідків під час планування заходів у сфері управління відходами. На підставі порівняльного аналізу чотирьох алгоритмів формування екологічно орієнтованої моделі удосконалення системи управління відходами доведено, що найбільш доцільним для застосування в Україні є інтегративно-стратегічний алгоритм, який поєднує стратегічне прогнозування, багаторівневу координацію управління, технологічні інновації та міжсекторальну взаємодію. Його особливістю є можливість узгодження екологічних цілей із соціально-економічними пріоритетами розвитку територій та довгостроковими завданнями трансформації системи управління відходами. Обґрунтовано використання інтегративно-стратегічного алгоритму формування екологічно орієнтованої системи управління відходами для України як базової методології для всієї країни, що дозволить сформувати стійку, адаптивну та ефективну систему управління відходами, орієнтовану на довгостроковий розвиток України; сприяти визначенню екологічних пріоритетів, обґрунтуванню напрямів розвитку інфраструктури та підвищенню узгодженості заходів у сфері охорони довкілля. *Ключові слова:* відходи, охорони довкілля, алгоритми, управління відходами, екологічно орієнтована система, модель удосконалення системи

**Algorithms for developing an ecologically oriented model to improve the waste management system in Ukraine. Kozachenko T.**

The study examines methodological approaches to developing an environmentally oriented waste management model in Ukraine and substantiates the need for a comprehensive improvement of its organizational, economic, technological, and institutional components. It is established that the effectiveness of a waste management system is determined not only by the rationality of management decisions but also by the extent to which they are environmentally oriented–specifically, their capacity to prevent waste generation, reduce landfill disposal volumes, and expand the reuse and recycling of resources. Four alternative algorithms for developing an environmentally oriented waste management model are proposed: the analytical-hierarchical, cyclic optimization, process-integrative, and integrative-strategic approaches. Each entails a distinct sequence of management stages and mechanisms for implementing environmental priorities. Applying these approaches establishes a methodological foundation for systematizing management decisions, coordinating the activities of system stakeholders, and accounting for environmental impacts when planning waste management initiatives. Based on a comparative analysis of these four algorithms, it is concluded that the integrative-strategic approach is the most suitable for implementation in Ukraine, as it combines strategic forecasting, multi-level management coordination, technological innovation, and cross-sectoral interaction. A key feature of this approach is its capacity to align environmental goals with the socio-economic development priorities of specific territories, as well as with the long-term objectives for transforming the waste management system. The study substantiates the use of an integrative-strategic algorithm for developing an environmentally oriented waste management system in Ukraine–serving as a foundational methodology for the entire nation. This approach facilitates the creation of a sustainable, adaptive, and efficient waste management system geared toward Ukraine's long-term development; it also aids in defining environmental priorities, justifying infrastructure development directions, and enhancing the coherence of environmental protection measures. *Key words:* waste, environmental protection, algorithms, waste management, environmentally oriented system, system improvement model.

**Постановка проблеми**. Сучасний стан системи управління відходами, який склався в Україні, характеризується необхідністю комплексної трансформації організаційних, економічних, технологічних та інституційних механізмів її функціонування. За словами Міністра економіки, довкілля і сільського господарства України (02.01.2026р.)[1]: «Щороку в Україні утворюється понад 460 млн т онн відходів: 85% - від видобувної промисловості, ще

[1] Понад 460 млн тонн відходів щороку утворюється в Україні – очільник Мінекономіки. 02.01.2026 р. ДА Інтерфакс-Україна. URL:https://interfax.com.ua/news/general/1133192.html

© Козаченко Т.П., 2026
Стаття поширюється на умовах ліцензії відкритого доступу CC BY 4.0

11% – від переробної. Але найбільш «відчутна» для людей і громад частина - побутові відходи: це понад 10 млн тонн на рік, і ми переробляємо лише близько 8–10%. Решта їде на полігони, тобто ми буквально захоронюємо економічні можливості замість того, щоб перетворювати відходи на ресурс».

Зростання обсягів утворення відходів, недостатній рівень їх сортування та перероблення, значна залежність від захоронення, нерівномірність розвитку відповідної інфраструктури й обмеженість фінансових ресурсів зумовлюють потребу в пошуку ефективних моделей управління. Додатковими чинниками є наслідки воєнних дій, руйнування інфраструктури, виникнення значних обсягів відходів руйнування та необхідність узгодження національної системи з європейськими принципами управління відходами. За таких умов удосконалення системи управління відходами потребує не лише впровадження окремих технічних або організаційних заходів, а й розроблення комплексного методологічного підходу до формування відповідної моделі управління. Важливо забезпечити узгодженість рішень на національному, регіональному та місцевому рівнях, визначити функції й відповідальність учасників системи, сформувати дієві механізми фінансування, стимулювання перероблення, цифрового моніторингу та контролю за досягненням установлених цілей.

Водночас проблема полягає у відсутності універсального алгоритму формування екологічно орієнтованої моделі вдосконалення системи управління відходами, який одночасно враховував би екологічні, економічні, технологічні, інституційні та соціальні критерії, специфіку територіального розвитку й обмеженість ресурсів. Використання окремих підходів, таких як системний аналіз, процесне управління, стратегічне планування або математична оптимізація, дає змогу розв'язувати певні завдання, проте потребує їх методологічного узгодження для комплексного оцінювання альтернатив і вибору найбільш обґрунтованого варіанта. Особливої актуальності набуває проблема формалізації процедури вибору алгоритму вдосконалення системи управління відходами.

Перехід від існуючої практики поводження з відходами до системи управління ними вимагає прийняття і реалізації радикальних рішень на законодавчому та виконавчому рівнях ієрархії управління (керування), запровадження європейських принципів управління, що на практиці підтвердили свою дієвість та ефективність. Сьогоднішня система управління відходами в Україні перебуває на етапі реформування. Вона має певну інституційну структуру, базове законодавство та політичну підтримку, але залишається фрагментарною і неефективною у практичному вимірі [8].

Розв'язання цієї проблеми передбачає формування екологічно орієнтованої системи альтернативних алгоритмів, визначення критеріїв їх порівняльного оцінювання та застосування багатокритеріального підходу для обґрунтування найбільш доцільного варіанта. Це створить методичні передумови для підвищення ефективності управління відходами, раціонального використання ресурсів, зменшення екологічного навантаження та наближення національної системи до принципів циркулярної економіки й європейських стандартів.

**Аналіз останніх досліджень і публікацій**. Сучасні дослідження у сфері управління відходами в Україні зосереджені на вдосконаленні нормативно-правового забезпечення, переході до циркулярної економіки, формуванні регіональних систем управління відходами, розвитку інноваційної інфраструктури та застосуванні математичних методів для обґрунтування управлінських рішень. Так, А. Росохата, Ю. Матвєєва визначають функціональний бенчмаркінг як спосіб структурувати досвід і зробити його корисним для розробки політики на місцях та створення карти еталонних рішень та наводять мультирівневу систему врегулювання процесу переробки сміття в енергію [4; 12]. В. Кравців, І. Колодійчук обґрунтовують та представляють концептуальну модель інтегрованого екологічного менеджменту, що поєднує цифрові технології моніторингу, інноваційні методи перероблення, розширену відповідальність виробника та розвиток державно-приватного партнерства [7]. Важливе значення мають праці Ю. Хрутьба, Н. Гончаренко, О. Сорочинська, присвячені трансформації муніципальних систем управління відходами в парадигмі циркулярної економіки [14]. Питання циркулярної економіки в контексті досягнення цілей сталого розвитку розглядає Т. Білоусько Ю. [1]. Окремий напрям досліджень становить математичне моделювання й оптимізація систем управління відходами М. Сандовала-Рейєса та співавторів, де систематизовано моделі математичної оптимізації, розглянуто їхні характеристики та підходи до вибору методів аналізу невизначеності [15]. Розвиток економічного механізму розглядає М. Височанська [2]. Питання інтеграції економічної, організаційної та фінансової складових у єдиний механізм публічного управління екологічним розвитком територіальної громади розкрито у праці В. Фартушняк [13] та інші.

Водночас актуальним залишається питання розроблення цілісних алгоритмів формування екологічно орієнтованої моделі вдосконалення системи управління відходами, які б поєднували екологічні, економічні, технологічні та інституційні чинники.

**Метою дослідження** є розроблення та теоретико-методологічне обґрунтування альтернативних алгоритмів формування екологічно орієнтованої моделі вдосконалення системи управління відходами в Україні, проведення їх порівняльного аналізу за визначеними якісними критеріями та обґрунтування найбільш перспективного алгоритму з урахуванням сучасних екологічних, економічних, технологічних та інституційних умов.

**Наукова новизна** дослідження полягає в обґрунтуванні концептуальних підходів до формування екологічно орієнтованої моделі управління відходами в Україні на основі запропонованих альтернативних алгоритмів: аналітично-ієрархічний, циклічної оптимізації, процесно-інтегративний та інтегративно-стратегічний, які відрізняються послідовністю управлінських етапів, механізмами інтеграції екологічних пріоритетів та можливостями адаптації до сучасних умов України. За результатами якісного порівняльного аналізу обґрунтовано перспективність інтегративно-стратегічного алгоритму.

**Викладення основного матеріалу**. У світі існують ефективні моделі управління відходами, які базуються на інноваціях, законодавчих ініціативах та сталих практиках. Досвід таких країн, як Японія, США, Швеція, Сінгапур та Канада, може бути корисним для України при розробці національної стратегії [12]. За твердженням науковців В. Кравців та І. Колодійчук, «сучасне наукове середовище формує комплексний, мультидисциплінарний підхід до питання управління відходами, де поєднуються технічні інновації, інституційні реформи та соціально-поведінкові стратегії. Для України ключовим завданням є адаптація міжнародних концепцій (циркулярна економіка, ISWM21, EPR32) з огляду на місцеві ресурси, інфраструктурні обмеження і поточні ризики, а також напрацювання практичних інструментів, що поєднують техніко-економічну обґрунтованість із соціальною прийнятністю на регіональному рівні» [7]. Крім того, забезпечити стійку інтеграцію інноваційних технологій у регіональні екологічні системи є можливим за комплексного застосування технологічного, економічного, соціального та правового компонентів [6]. На рівні державної політики важливим орієнтиром є Національний план управління відходами до 2033 року [10]. Документ визначає рамкові напрями розвитку системи управління відходами та формує стратегічний контекст для узгодження державних і регіональних рішень. Тому алгоритми побудови відповідної моделі мають враховувати не лише поточні показники діяльності, а й довгострокові цілі, етапність реалізації заходів та механізми моніторингу.

Впровадження парадигми циркулярної економіки в муніципальний сектор України тісно пов'язане з глобальною концепцією ESG (Environmental, Social, and Governance). І, як стверджують науковці, це не просто набір екологічних стандартів, а комплексна система управління, яка дозволяє оцінювати сталість розвитку територіальних громад та підприємств [14]. Тлумачення даного феномену може трактуватися як «новаторська економічна модель, ключовим принципом якої є багаторазове використання матеріалів з метою продовження їх життєвого циклу та забезпечення мінімізації відходів [16]. Основна ідея цієї моделі полягає в збереженні ресурсів у постійному обігу та впровадженні безвідходних виробничих процесів.

Зазначимо, що наразі в Україні відсутня комплексна національна реформа економічної політики, орієнтована на створення замкнутих економічних циклів, однак окремі елементи циркулярної економіки інтегровані через низку законодавчих актів. Зокрема, Закон України «Про енергетичну ефективність» [9], Закон України «Про управління відходами» [11] та Національний план управління відходами до 2033 року [10] формують основу для створення замкнутих циклів у сфері екології, зокрема у сфері управління відходами. Фінансування управління відходами є важливим аспектом екологічної політики, оскільки ефективне функціонування системи поводження з відходами потребує значних ресурсів. Це стосується як державних, так і приватних інвестицій, що забезпечують реалізацію заходів зі збирання, транспортування, переробки та утилізації відходів. Війна в Україні суттєво вплинула на фінансову стабільність в цілому та у сфері екологічного управління включно, спричинивши необхідність перерозподілу ресурсів на першочергові потреби безпеки та відновлення інфраструктури [5]. Проте в умовах війни економіка та фінансова система держави стають надзвичайно вразливими до різноманітних внутрішніх і зовнішніх викликів, які можуть істотно вплинути на їхню стабільність і ефективність. Індекс фінансового стресу є важливим показником, що ілюструє масштаб впливу конфлікту на фінансову систему країни [1].

Вагомим внеском в контексті нашого дослідження є наукова праця [15], автори якої підкреслюють, що вибір моделі залежить від соціально-економічних умов, інфраструктури, цілей дослідження та потреб заінтересованих сторін, зокрема, визначають різноманітні можливості підвищення точності та надійності моделей WM-OM. Моделі WM-OM визначаються як «Waste Management Optimization Models» (моделі оптимізації управління відходами). Тобто спеціальний клас математичних та комп'ютерних моделей, які використовуються для проектування, екологічного планування та підвищення ефективності систем управління відходами. Поєднання оптимізації та аналізу невизначеності (Uncertainty Analysis) у цих моделях є ключовим науковим та практичним трендом.

Незважаючи на те, що позиція вчених знаходить підтримку в нашому аналізі, у межах нашого дослідження пропонуємо зосередитися безпосередньо на можливих алгоритмах формування екологічно орієнтованої моделі удосконалення системи управління відходами в Україні. Наша задача – представити алгоритми формування екологічно орієнтованої моделі удосконалення системи управління відходами в Україні структуровано у вигляді *поетапних процесів,* враховуючи результати досліджень і напрацювань вітчизняних та зарубіжних науковців [1; 3-8; 12-16] та гуртуючись на основних положеннях зако-

нодавчих та нормативно-правових актів, які визначають правові, організаційні екологічні та економічні засади діяльності у сфері управління відходами та окремі їх аспекти [9-11].

У даному контексті вважаємо за потрібне уточнити, що саме слово алгоритм походить від algorithmi – латинської форми написання імені великого математика IX ст. Аль-Хорезмі, який сформулював правила виконання арифметичних дій. Спочатку під алгоритмами і розуміли тільки правила виконання чотирьох арифметичних дій над багатоцифровими числами. В подальшому це поняття стали використовувати взагалі *для позначення послідовності дій, які приводять до розв'язання різних практичних задачі.* Алгоритмом називають зрозуміле і точне розпорядження виконавцю про виконання послідовності дій, спрямованих на досягнення зазначеної мети чи на вирішення поставленої задачі. В цьому означенні використовується поняття «виконавець». Що це означає? Під виконавцем алгоритму ми розуміємо будь-яку істоту (живу чи неживу), яка спроможна виконати алгоритм. Все залежить від того, якої мети ми намагаємося досягнути [2].

*Перший алгоритм* формування екологічно орієнтованої моделі удосконалення системи управління відходами – це узагальнений алгоритм побудови моделі удосконалення системи управління відходами, який можна адаптувати під державний, регіональний або корпоративний рівень; складається з восьми етапів (табл. 1).

Отже, наведений *перший алгоритм* формування екологічно орієнтованої моделі удосконалення системи управління відходами включає: аналіз – постановку цілей – концептуалізацію – математичне моделювання – вибір оптимального рішення – впровадження – моніторинг. Такий підхід дозволяє створити ефективну, екологічну й економічно обґрунтовану систему.

*Другий алгоритм* формування екологічно орієнтованої моделі удосконалення системи управління відходами, побудований за іншим логічним підходом – *циклічним алгоритмом оптимізації*, який часто застосовують у менеджменті та екологічному плануванні (табл. 2).

*Другий алгоритм* акцентує увагу на циклічності, генеруванні кількох альтернатив, математичній оптимізації, оцінюванні та виборі найкращого сценарію. Це підхід, який дозволяє створювати модель науково обґрунтовану, гнучку і придатну для довгострокового управління відходами.

*Третій алгоритм* формування екологічно орієнтованої моделі удосконалення системи управління відходами – заснований на процесному підході та *інтеграції принципів циркулярної економіки* (табл. 3).

*Третій алгоритм* зосереджується на процесному аналізі, цифровізації, інтеграції принципів циркулярної економіки та постійному вдосконаленні. Він більше підходить для модернізації сучасних систем управління відходами, де ключову роль відіграють дані, стандарти та оптимізація процесів.

*Четвертий алгоритм* формування екологічно орієнтованої моделі удосконалення системи управління відходами – заснований на стратегічному підході та інтеграційному підходах (табл. 4).

*Четвертий алгоритм* зосереджений на стратегічній, інтегрованій трансформації системи управління відходами з урахуванням довгострокових цілей розвитку України. Основний фокус даного алгоритму спрямований на стратегічне управління; довгострокове бачення розвитку системи управління відходами в Україні; інтеграції всіх рівнів учасників, тобто поєднання діяльності держави, органів місцевого самоврядування, бізнесу та населення; орієнтацію на циркулярну економіку та гнучкість та адаптивність, тобто здатність корегувати стратегію відповідно до змін соціально-економічних умов.

Іншими словами, четвертий алгоритм зосереджений не на окремих операціях або локальній оптимізації, але на побудові цілісної стійкої та адаптивної системи управління відходами, здатної забезпечити екологічну безпеку та відповідність європейським стандартам у довгостроковій перспективі.

Узагальнення основних процесних етапів удосконалення системи управління відходами в Україні в розрізі чотирьох алгоритмів подано в таблиці 5.

Далі, на основі порівняльного аналізу, системного, процесного та стратегічного підходів, експертно-аналітичного методу та багатокритеріальної якісної оцінки було здійснено порівняння 4-х алгоритмів формування екологічно орієнтованої моделі удосконалення системи управління відходами (табл. 6).

В результаті аналізу виявлено відносні переваги й недоліки (обмеження кожного алгоритму); визначено які алгоритми є фрагментарними, а які комплексними; виявлено алгоритми з високою процесною ефективністю та підвищеними вимогами до управління; визначено алгоритми, що мають стратегічні переваги, але потребують значних ресурсів; сформовано узагальнену, але обґрунтовану оцінку кожного алгоритму (табл. 7).

*Обґрунтування вибору алгоритму удосконалення системи управління відходами для України*.

У сучасних умовах розвитку України система управління відходами перебуває на етапі структурної трансформації, що зумовлено гармонізацією законодавства з нормами Європейського Союзу, необхідністю скорочення захоронення відходів, впровадженням принципів циркулярної економіки та обмеженістю фінансових і інституційних ресурсів.

Порівняльний аналіз чотирьох алгоритмів формування екологічно орієнтованої моделі удосконалення системи управління відходами показав, що найбільш доцільним для застосування в Україні є четвертий – *інтегративно-стратегічний алгоритм*.

Таблиця 1

**Перший алгоритм побудови моделі удосконалення системи управління відходами (аналітично-ієрархічний).**

| **Алгоритм 1 (аналітично-ієрархічний)** | | |
|---|---|---|
| **Етап** | **Складові етапу** | |
| 1. Аналітично-діагностичний етап | 1.1. Збір і систематизація даних | – типи, обсяги та морфологія відходів;<br>– існуюча інфраструктура (контейнери, полігони, станції сортування, переробні підприємства);<br>– чинні нормативні акти;<br>– фінансові потоки та витрати. |
| | 1.2. Ідентифікація проблем та «вузьких місць» | – низький рівень переробки;<br>– нестача контейнерів чи логістичних потужностей;<br>– застарілі полігони;<br>– відсутність роздільного збирання |
| | 1.3. Оцінка екологічних та соціально-економічних ризиків | |
| 2. Постановка цілей і критеріїв ефективності | 2.1. Формування цілей удосконалення | (наприклад: збільшення рівня переробки до 50%, зменшення захоронення на полігонах тощо) |
| | 2.2. Визначення ключових показників ефективності | – коефіцієнт переробки;<br>– обсяг вторинної сировини;<br>– витрати на 1 тонну зібраних відходів;<br>– рівень охоплення населення роздільним збором |
| | 2.3. Формування обмежень (визначення чітких правил, ресурсів, вимог) | – фінансові ресурси,<br>– законодавчі вимоги,<br>– технічні можливості |
| 3. Розробка концептуальної моделі | 3.1. Побудова логістичного ланцюга «збирання – сортування – переробка – утилізація» | |
| | 3.2. Опис потоків відходів у вигляді матеріальних, інформаційних та фінансових потоків | |
| | 3.3. Формування варіантів сценаріїв розвитку | – оптимізація маршрутів вивезення;<br>– впровадження роздільного збору;<br>– інвестиції в переробні комплекси;<br>– застосування цифрових технологій |
| 4. Математичне та економічне моделювання | 4.1. Створення математичної моделі | – балансні моделі потоків відходів;<br>– моделі оптимізації (лінійне програмування, цільове програмування);<br>– імітаційні моделі |
| | 4.2. Розподіл ресурсів | – оптимізація інвестицій;<br>– вибір технологій;<br>– моделювання ефективності системи в різних сценаріях |
| | 4.3. Оцінка витрат і вигід | |
| 5. Проєктування цільової моделі системи | 5.1. Розробка оптимальної конфігурації інфраструктури | – кількість і типи контейнерів;<br>– оптимальні маршрути транспортування;<br>– вибір місць переробних заводів;<br>– модернізація або закриття полігонів |
| | 5.2. Інтеграція інструментів циркулярної економіки | – повторне використання;<br>– компостування;<br>– переробка;<br>– енергетичне використання відходів |
| 6. Оцінка, валідація та вибір найкращої моделі | 6.1. Порівняння сценаріїв за визначеними ключовими показниками ефективності | |
| | 6.2. Моделювання ризиків та чутливості | |
| | 6.3. Громадське та експертне обговорення проєктів | |
| 7. Впровадження моделі | 7.1. Розробка дорожньої карти та плану дій | |
| | 7.2. Встановлення відповідальності та бюджетування | |
| | 7.3. Запуск пілотних проєктів, корекція моделі | |
| 8. Моніторинг і постійне удосконалення | 8.1. Збір даних у режимі реального часу (цифрові датчики, аналітика) | |
| | 8.2. Щорічний перегляд визначених ключових показників ефективності та адаптація системи | |
| | 8.3. Підготовка звітності та коригування стратегії | |

 ISSN: 2306-9716 (Print), ISSN: 2664-6110 (Online)

Таблиця 2

**Другий алгоритм формування екологічно орієнтованої моделі удосконалення системи управління відходами (циклічний, оптимізаційний)**

| **Алгоритм 2 (циклічний, оптимізаційний)** | | |
|---|---|---|
| **Етап** | **Складові етапу** | |
| 1. Ініціація та визначення проблеми | 1.1. Формулювання ключових екологічних та управлінських проблем | |
| | 1.2. Визначення зацікавлених сторін (муніципалітет, громадськість, бізнес, перевізники, переробники) | |
| | 1.3. Узгодження меж проєкту: територія, типи відходів, часовий горизонт | |
| 2. Базове картування системи | 2.1. Побудова карти існуючих потоків відходів:<br>– генерація → збирання → перевезення → сортування → переробка → захоронення | |
| | 2.2. Ідентифікація точок втрат та неефективностей | |
| | 2.3. Аналіз взаємодії суб'єктів системи (владні органи, підприємства, споживачі) | |
| | 2.4. Моделювання чинної системи у вигляді блок-схеми або мережевої моделі | |
| 3. Визначення параметрів та критеріїв удосконалення | 3.1. Формування цільових параметрів (зменшення обсягу відходів, збільшення переробки, оптимізація маршрутів) | |
| | 3.2. Встановлення критеріїв оцінки: | – економічні (витрати на переробку, логістику);<br>– екологічні (викиди, площа полігонів);<br>– операційні (ефективність збору, заповнюваність контейнерів) |
| 4. Генерування альтернативних рішень | 4.1. Розробка множини потенційних варіантів: | – удосконалення системи роздільного збирання;<br>– впровадження компостування;<br>– будівництво МПС (міні-потужностей сортування);<br>– оптимізація логістики за допомогою ГІС;<br>– автоматизація збору даних (датчики заповнення тощо) |
| | 4.2. Формування сценаріїв: мінімальний, оптимальний, інноваційний | |
| 5. Формалізація й математичне моделювання | 5.1. Перетворення потоків відходів у числову модель (матриці, графи, мережеві моделі) | |
| | 5.2. Побудова оптимізаційних моделей: | – лінійне/цільове програмування;<br>– міжгалузеві балансові моделі;<br>– моделі транспортних потоків;<br>– імітаційне або агентне моделювання |
| | 5.3. Визначення оптимальних параметрів системи (маршрути, обсяги інвестицій, кількість контейнерів) | |
| 6. Оцінювання альтернатив | 6.1. Багатокритеріальна оцінка | |
| | 6.2. Екологічно-економічний аналіз вигід і витрат | |
| | 6.3. Оцінка стійкості моделі до ризиків (чутливість, сценарний аналіз) | |
| 7. Вибір оптимальної моделі | 7.1. Відбір найефективнішого сценарію за зведеним критерієм | |
| | 7.2. Експертне узгодження моделі з органами влади/бізнесом | |
| | 7.3. Прийняття рішення щодо впровадження | |
| 8. План реалізації та впровадження | 8.1. Розробка дорожньої карти (покроковий план змін) | |
| | 8.2. Бюджетування та визначення джерел фінансування | |
| | 8.3. Пілотне впровадження (вибір тестових районів) | |
| | 8.4. Масштабування системи | |
| 9. Моніторинг та корекція | 9.1. Побудова системи постійного моніторингу на основі ключових показників ефективності | |
| | 9.2. Порівняння фактичних результатів із прогнозними | |
| | 9.3. Коригування моделі на основі відхилень | |
| | 9.4. Створення циклу постійного удосконалення | |

Таблиця 3

**Третій алгоритм формування екологічно орієнтованої моделі удосконалення системи управління відходами (процесно-інтеграційний)**

| **Алгоритм 3 (процесно-інтеграційний)** | | |
|---|---|---|
| **Етап** | **Складові етапу** | |
| 1. Ідентифікація процесів і структурування системи | 1.1. Визначення ключових процесів системи управління відходами: | – утворення → збирання → транспортування → сортування → переробка/утилізація → захоронення. |
| | 1.2. Формування дерева процесів | |
| | 1.3. Визначення взаємозв'язків між процесами та їх ресурсних потреб | |
| 2. Стандартизація та нормування процесів | 2.1. Порівняння поточного стану з вимогами європейських директив, ISO 14001, ISO 24162 | |
| | 2.2. Встановлення нормативних значень (навантаження на полігони, рівень переробки, допустимі викиди) | |
| | 2.3. Формування стандартів операцій для кожного процесу | |
| 3. Виявлення процесних втрат і бар'єрів | 3.1. Аналіз неефективностей за допомогою Lean/Six Sigma (інтегрована методологія для кращого результату без втрат) інструментів: | – діаграма Ісікави,<br>– Value Stream Mapping («систематизація потоку цінності» або «карта потоку створення цінності»),<br>– 5 Why (5 «Чому?» – аналіз причинно-наслідкових зв'язків),<br>– аналіз вартостей |
| | 3.2. Ідентифікація надлишкових витрат часу, палива, ресурсів | |
| | 3.3. Виявлення точок, де утворюються надмірні відходи або де процеси дублюються | |
| 4. Інтеграція принципів циркулярної економіки | 4.1. Розробка рішень зі зменшення утворення відходів (повторне використання) | |
| | 4.2. Формування циклів повторного обігу матеріалів | |
| | 4.3. Створення локальних замкнутих систем (наприклад, компостування для громади) | |
| | 4.4. Оцінка потенціалу перетворення відходів у ресурси | |
| 5. Моделювання та цифровізація | 5.1. Формування цифрової моделі системи управління відходами: | – BPMN-діаграми,<br>– цифрові двійники (Digital Twins),<br>– GIS-карти потоків |
| | 5.2. Визначення точок збору даних (смарт-контейнери, GPS-треки сміттєвозів) | |
| | 5.3. Аналіз процесів за допомогою симуляції (Arena, AnyLogic, Simul8) | |
| 6. Розробка оптимальної процесної моделі | 6.1. Перебудова логістики з урахуванням реального навантаження | |
| | 6.2. Перерозподіл ресурсів між процесами (контейнери, маршрути, сортувальні лінії) | |
| | 6.3. Формування нової структури бізнес-процесів (AS-IS → TO-BE (Як є → Як має бути)) | |
| | 6.4. Оптимізація точок прийняття рішень та інформаційних потоків | |
| 7. Екологічна, економічна та операційна оцінка | 7.1. Розрахунок екологічного ефекту: | – зниження викидів,<br>– скорочення захоронення,• відновлення ресурсів |
| | 7.2. Економічне оцінювання: | – LCC (оцінка життєвого циклу витрат),<br>– CBA (аналіз витрат і вигід) |
| | 7.3. Аналіз пропускної спроможності, надійності, стійкості до пікових навантажень | |
| 8. Впровадження оновленої моделі | 8.1. Розробка детальної процесної документації | |
| | 8.2. Навчання персоналу новим процесам | |
| | 8.3. Впровадження цифрових сервісів (мобільні додатки, системи моніторингу) | |
| | 8.4. Відпрацювання моделі у тестових районах | |
| 9. Постійне вдосконалення системи | 9.1. Створення циклу Kaizen/PDCA для безперервного покращення | |
| | 9.2. Збір даних та регулярний перегляд показників | |
| | 9.3. Корегування технологій та процесів у відповідь на зміни в обсягах чи структурі відходів | |
| | 9.4. Актуалізація політик і нормативів | |

Таблиця 4.

**Четвертий алгоритм формування екологічно орієнтованої моделі удосконалення системи управління відходами (інтегративно-стратегічний)**

| **Алгоритм 4 (інтегративно-стратегічний)** | |
|---|---|
| **Етап** | **Складові етапу** |
| 1. Стратегічний аналіз і прогнозування | 1.1. Оцінка довгострокових трендів утворення відходів |
| | 1.2. Прогноз демографічних, економічних та урбанізаційних змін |
| | 1.3. Визначення стратегічних викликів і можливостей |
| 2. Формування стратегічної архітектури системи | 2.1. Визначення ролей усіх суб'єктів: влада, бізнес, громада, оператори.<br>2.2. Створення багаторівневої структури управління.<br>2.3. Встановлення стратегічних пріоритетів (зменшення відходів, циркуляція ресурсів, мінімізація полігонів) |
| 3. Інтеграція технологічних інновацій | 3.1. Впровадження автоматизації та цифрових інструментів (датчики, блокчейн - цифрова база даних («ланцюжок блоків»)) |
| | 3.2. Аналіз потенціалу роботизованих ліній сортування |
| | 3.3. Оцінка можливості впровадження енергоутилізаційних технологій |
| 4. Створення моделі взаємодії між секторами | 4.1. Формування механізмів державно-приватного партнерства |
| | 4.2. Узгодження фінансових потоків між учасниками |
| | 4.3. Розробка стимулів для бізнесу та населення |
| 5. Синтез інтегрованої моделі | 5.1. Об'єднання потоків: матеріальних, інформаційних, енергетичних<br>5.2. Оптимізація мережі інфраструктури від генерації до переробки<br>5.3. Формування цільової інтегрованої моделі системи |
| 6. Перевірка моделі та тестування сценаріїв | 6.1. Застосування сценарного аналізу та моделювання |
| | 6.2. Перевірка ефективності в умовах різних рівнів навантаження |
| | 6.3. Тестування на пілотних територіях |
| 7. Реалізація та керування змінами | 7.1. Розробка стратегічної дорожньої карти<br>7.2. Проведення навчання учасників системи<br>7.3. Управління ризиками та комунікаціями |
| 8. Моніторинг і стратегічна адаптація | 8.1. Постійний аналіз результатів |
| | 8.2. Адаптація стратегії до нових умов |
| | 8.3. Регулярне оновлення даних і моделі |

Таблиця 5.

**Алгоритми формування екологічно орієнтованої моделі удосконалення системи управління відходами в Україні (поетапний процес)**

| **Алгоритми** | **Алгоритм 1** ***(аналітично-ієрархійний)*** | **Алгоритм 2** ***(циклічний, оптимізаційний)*** | **Алгоритм 3** ***(процесно-інтеграційний)*** | **Алгоритм 4** ***(інтегративно-стратегічний)*** |
|---|---|---|---|---|
| Е Т А П И | 1. Аналітично-діагностичний етап | 1. Ініціація та визначення проблеми | 1. Ідентифікація процесів і структурування системи | 1. Стратегічний аналіз і прогнозування |
| | 2. Постановка цілей і критеріїв ефективності | 2. Базове картування системи | 2. Стандартизація та нормування процесів | 2. Формування стратегічної архітектури системи |
| | 3. Розробка концептуальної моделі | 3. Визначення параметрів та критеріїв удосконалення | 3. Виявлення процесних втрат і бар'єрів | 3. Інтеграція технологічних інновацій |
| | 4. Математичне та економічне моделювання | 4. Генерування альтернативних рішень | 4. Інтеграція принципів циркулярної економіки | 4. Створення моделі взаємодії між секторами |
| | 5. Проєктування цільової моделі системи | 5. Формалізація й математичне моделювання | 5. Моделювання та цифровізація | 5. Синтез інтегрованої моделі |
| | 6. Оцінка, валідація та вибір найкращої моделі | 6. Оцінювання альтернатив | 6. Розробка оптимальної процесної моделі | 6. Перевірка моделі та тестування сценаріїв |
| | 7. Впровадження моделі | 7. Вибір оптимальної моделі | 7. Екологічна, економічна та операційна оцінка | 7. Реалізація та керування змінами |
| | 8. Моніторинг і постійне удосконалення | 8. План реалізації та впровадження | 8. Впровадження оновленої моделі | 8. Моніторинг і стратегічна адаптація |
| | | 9. Моніторинг та корекція | 9. Постійне вдосконалення системи | |

Таблиця 6.

**Порівняльна таблиця 4-х алгоритмів формування екологічно орієнтованої моделі удосконалення системи управління відходами**

| Критерій порівняння | Алгоритм 1 (аналітично-ієрархічний) | Алгоритм 2 (циклічний, оптимізаційний) | Алгоритм 3 (процесно-інтеграційний) | Алгоритм 4 (інтегративно-стратегічний) |
|---|---|---|---|---|
| Основна ідея | Поетапний аналіз і побудова моделі | Безперервний цикл оптимізації | Оптимізація бізнес-процесів | Довгострокова стратегічна трансформація |
| Рівень застосування | Держава, регіон | Регіон, громада | Громада, підприємство | Держава, регіон |
| Орієнтація | Аналітична | Оптимізаційна | Процесна | Стратегічна |
| Наявність циклу удосконалення | Частково | Так | Так | Так (стратегічний цикл) |
| Математичне моделювання | Базове | Поглиблене | Імітаційне | Сценарне |
| Інтеграція циркулярної економіки | Обмежена | Середня | Висока | Дуже висока |
| Роль цифрових технологій | Допоміжна | Значна | Ключова | Ключова |
| Складність реалізації | Середня | Висока | Висока | Дуже висока |

Таблиця 7

**Узагальнююча таблиця переваг і недоліків алгоритмів формування екологічно орієнтованої моделі удосконалення системи управління відходами**

| Алгоритм | Переваги | Недоліки |
|---|---|---|
| Алгоритм 1 | Простота, логічність, універсальність | Обмежена гнучкість |
| Алгоритм 2 | Висока точність оптимізації | Високі вимоги до даних |
| Алгоритм 3 | Глибока оптимізація процесів | Складність впровадження |
| Алгоритм 4 | Стратегічна цілісність | Значні ресурси і час |

Ключові аргументи щодо вибору *інтегративно-стратегічного алгоритму*:

1. *Відповідність державній політиці та законодавству України* – четвертий алгоритм орієнтований на стратегічне планування та багаторівневе управління, що повністю відповідає: Закону України «Про управління відходами»; Національній стратегії управління відходами; зобов'язанням України в межах Угоди про асоціацію з ЄС. Алгоритм забезпечує системну інтеграцію державного, регіонального та місцевого рівнів управління.

2. *Здатність до роботи в умовах трансформаційної економіки* – на відміну від суто оптимізаційних або процесних алгоритмів, інтегративно-стратегічний підхід: дозволяє поетапно впроваджувати зміни; враховує нестабільність фінансування; передбачає адаптацію до змін зовнішнього середовища (військові, соціальні, екологічні, економічні виклики). Це є критично важливим для сучасних українських реалій.

3. *Комплексне охоплення всієї системи управління відходами* – алгоритм поєднує: аналітичний підхід (алгоритм 1); циклічну оптимізацію (алгоритм 2); процесну та цифрову трансформацію (алгоритм 3). Таким чином, він виступає синтезуючою моделлю, що дозволяє забезпечити цілісність системи.

4. *Орієнтація на циркулярну економіку* – інтегративно-стратегічний алгоритм закладає основу для: скорочення утворення відходів; повторного використання ресурсів; розвитку переробної інфраструктури; зменшення залежності від полігонів. Це відповідає європейській ієрархії управління відходами та довгостроковим екологічним цілям України.

5. *Гнучкість і масштабованість* – алгоритм може бути: адаптований до регіонів з різним рівнем розвитку; масштабований від пілотних громад до національного рівня; модифікований відповідно до доступних ресурсів. Це дозволяє застосовувати його як *базову методологію* для всієї країни.

**Висновки**. Отже, для удосконалення системи управління відходами в Україні інтегративно-стратегічний алгоритм є найбільш доцільним, оскільки він: відповідає законодавчим і стратегічним вимогам; забезпечує комплексний і системний підхід; враховує реальні соціально-економічні умови; створює основу для переходу до циркулярної економіки. Його особливістю є можливість узгодження екологічних цілей із соціально-економічними пріоритетами розвитку територій та довгостроковими завданнями трансформації системи управління відходами. Застосування даного алгоритму дозволить сформувати стійку, адаптивну та ефективну екологічно орі-

єнтовану систему управління відходами, спрямовану на довгостроковий розвиток України.

**Перспективи використання результатів дослідження** полягають у поглибленні методологічного обґрунтування запропонованих алгоритмів шляхом розроблення системи кількісного оцінювання та порівняння альтернатив. Зокрема, доцільним є визначення системи кількісних критеріїв, обґрунтування їхніх вагових коефіцієнтів із використанням експертних методів, застосування методів багатокритеріального аналізу для встановлення інтегральних оцінок альтернатив та визначення їхньої пріоритетності.

**Література**


1. Білоусько Т. Ю. Циркулярна економіка в контексті досягнення цілей сталого розвитку. *Економіка та суспільство*. №65. 2024. DOI: https://doi.org/10.32782/2524-0072/2024-65-52.
2. Василенко Н. В. Алгоритм або послідовність управлінських дій фахівця з публічного управління: поняття, властивості, складання та виконання. *Сучасні інформаційні технології та інноваційні методики навчання в підготовці фахівців:методологія, теорія, досвід, проблеми*. №57. 2020. DOI: 10.31652/2412-1142-2020-57-146-154
3. Височанська М.Я. Розвиток економічного механізму управління твердими побутовими відходами в Україні. *Ефективна економіка*. 2024. № 1. DOI: http://doi.org/10.32702/2307-2105.2024.1.2**.**
4. Ілляшенко А. Г., Росохата А. С., Матвєєва Ю. А., Бенчмаркінг-аналіз моделей взаємодії основних стейкхолдерів системи управління відходами. *Економічний вісник НТУУ «КПІ»*. 2025. № 33. С.184-190. DOI: 10.20535/2307-5651.33.2025.335911.
5. Калініченко Л. Л. Стратегічні інструменти управління відходами в Україні: інтеграція інституційних та економічних механізмів. *Вісник економіки транспорту і промисловості.* № 90. 2025. С. 71-84. DOI: https://doi.org/10.18664/btie.90.337085.
6. Колодійчук І. А. Техніко-технологічний потенціал утилізації відходів в регіонах України. *Соціальноекономічні проблеми сучасного періоду України*: зб. наук. пр. 2023. Вип. 3(161). С. 34-40. DOI: https:// doi.org/10.36818/2071-4653-2023-3-5
7. Кравців В. С., Колодійчук І. А. Інноваційні засади формування регіональної системи управління відходами в Україні: методологічні орієнтири та практичні імплементації. *Регіональна економіка*. 2025. № 3. С. 20–28. DOI: 10.36818/1562-0905-2025-3-2.
8. Організаційно-економічні засади формування систем управління відходами в регіонах України: науково-аналітична доповідь / наук. ред. д.е.н., с.н.с. Колодійчук І. А. Львів, ІРД НАНУ. 2022. 170 с. (Серія «Проблеми регіонального розвитку»).
9. Про енергетичну ефективність: Закон України від 21 жовтня 2021 року № 1818-IX. URL: https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/1818-20#Text
10. Про затвердження Національного плану управління відходами до 2033 року та визнання такими, що втратили чинність, деяких актів: Розпорядження Кабінету Міністрів України від 27 грудня 2024 р. № 1353-р. URL: https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/1353-2024-%D1%80#Text.
11. Про управління відходами: Закон України від 20.06.2022 № 2320-IX. URL: https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/2320-9
12. Росохата А. С., Матвєєва Ю. А., Ілляшенко А. Г. Компаративний аналіз нормативного забезпечення системи управління відходами. Економіка та суспільство. 2025. Вип. 72. DOI: 10.32782/2524-0072/2025-72-57
13. Фартушняк В.Ю. Організаційно-економічний механізм публічного управління екологічним розвитком територіальної громади: інтеграція економічної, організаційної та фінансової складових. *Економічний простір.* № 216, 2026. С.345-353. DOI: https://doi.org/10.30838/EP.216.345-353.
14. Хрутьба Ю.С., Гончаренко Н.В., Сорочинська О.Л. Трансформація муніципальних систем управління відходами в парадигмі циркулярної економіки. Досвід україни. *Лісотехнічна освіта і наука: виклики сьогодення та перспективи розвитку:*Міжнародна конференція з питань бізнесу, стійкого розвитку та інновацій у деревині (ICBSDW 2026). DOI: https://doi.org/10.36930/conf_ICBSDW_33.
15. Sandoval-Reyes M., He R., Semeano R., Ferrão P. Mathematical optimization of waste management systems: Methodological review and perspectives for application. *Waste Management*. 2024. Vol. 174. P. 630–64. DOI: 10.1016/j.wasman.2023.10.006
16. Tukker A. Product services for a resource efficient and circular economy – a review. *Journal of Cleaner Production*. 2015. № 15. pp. 76–91. URL: https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2013.11.049.


Дата першого надходження статті до видання: 16.10.2026
Дата прийняття статті до друку після рецензування: 04.11.2026
Дата публікації (оприлюднення) статті: 23.11.2026