

ІННОВАЦІЙНІ ПІДХОДИ ДО УПРАВЛІННЯ ВІДХОДАМИ В КОНТЕКСТІ СТАЛОГО РОЗВИТКУ

Сорочинська О.Л.

Державний університет інфраструктури та технологій

вул. Кирилівська, 9, 04071, м. Київ

ellena06.84@ulr.net

У сучасному світі проблема управління відходами набуває особливої актуальності в контексті сталого розвитку. Зростання населення, урбанізація та індустріалізація спричиняють значне збільшення обсягів відходів, що створюють екологічні, економічні та соціальні виклики. Традиційні методи поводження з відходами, такі як захоронення та спалювання, вже не відповідають сучасним вимогам екологічної безпеки та раціонального віку. Утримання енергії від відходів є одним із ключових інноваційних підходів у сфері управління відходами, які забезпечують екологічну безпеку та енергетичну ефективність. Сучасні технології, такі як спалювання з рекуперацією енергії, піроліз, газифікація та анаеробне зброджування, дозволяють перетворювати органічні та неорганічні відходи на електроенергію, тепло або біогаз. Це не лише зменшує обсяги відходів, що підлягають захороненню, а й сприяє зниженню викидів парникових газів, що відповідає принципам сталого розвитку. Крім того, впровадження таких технологій сприяє диверсифікації джерел енергії та зменшенню негативного впливу від викопного палива, що є кроком на шляху до екологічно чистої енергетики. Взаємодія між технологічними рішеннями для управління відходами та ланцюгами постачання енергії є багатосторонньою та може значно відрізнитися залежно від багатьох критеріїв та різних характеристик. Цей інноваційний підхід висуває концептуальну основу сталого розвитку на основі поняття «інтелекту» для стратегій перетворення відходів у енергію. Тим не менш, розумне уявлення про ланцюжок поставок не може бути самостійним. Потрібна систематична підтримка процесу участі за допомогою інструментів інформаційно-комунікаційних технологій (ІКТ) та електронних методів, які слід просувати для колективного сприяння та сталого управління. Цей процес повинен охоплювати мешканців, професіоналів як виробників відходів і розумних менеджерів для контролю за ланцюгом постачання в напрямку сталого управління енергією та ресурсами відходів. Інноваційні рішення для максимізації ефективності утилізації відходів за допомогою спільної потужності ІКТ-мереж є критично важливими для розгортання в місцевих громадах. Вони можуть базуватися на інтернеті речей, великих даних, оперативному моделюванні, науці про складні системи, а також соціальних мережах. Концептуальні засади сталого розвитку передбачають запровадження певної системи базових підходів до екологізації та гуманізації економічної та соціальної діяльності. Сучасні підходи до управління відходами повинні містити інноваційні методи, які в першу чергу полягають у зменшенні кількості відходів, що утворюються в процесі споживання та виробництва, забезпеченні їх максимальної утилізації та переробки, а також впровадженні ефективних технологій поводження з відходами. *Ключові слова:* поводження з відходами, стратегія, утилізація відходів, рециклінг, управління відходами, екологічна політика, сталий розвиток.

Innovative approaches to waste management in the context of sustainable development. Sorochynska O.

In the modern world, the problem of waste management is gaining particular relevance in the context of sustainable development. Population growth, urbanization and industrialization cause a significant increase in waste volumes, which create environmental, economic and social challenges. Traditional waste management methods, such as landfill and incineration, no longer meet modern requirements of environmental safety and rational age. Energy recovery from waste is one of the key innovative approaches in waste management that ensure environmental safety and energy efficiency. Modern technologies, such as incineration with energy recovery, pyrolysis, gasification and anaerobic digestion, allow converting organic and inorganic waste into electricity, heat or biogas. This not only reduces the amount of waste to be landfilled, but also contributes to reducing greenhouse gas emissions, which is in line with the principles of sustainable development. In addition, the implementation of such technologies contributes to the diversification of energy sources and the reduction of the negative impact of fossil fuels, which is a step towards environmentally friendly energy. The interaction between waste management technology solutions and energy supply chains is multifaceted and can vary significantly depending on many criteria and different characteristics. This innovative approach puts forward a conceptual framework for sustainable development based on the notion of “intelligence” for waste-to-energy strategies. However, an intelligent view of the supply chain cannot stand alone. A systematic support for the participatory process through information and communication technology (ICT) tools and electronic methods should be promoted for collective facilitation and sustainable management. This process should involve residents, professionals as waste producers and smart managers to control the supply chain towards sustainable energy and waste resource management. Innovative solutions to maximize waste management efficiency through the shared power of ICT networks are critical for deployment in local communities. They can be based on the Internet of Things, big data, operational modeling, complex systems science, and social networks. The conceptual principles of sustainable development provide for the introduction of a certain system of basic approaches to the greening and humanization of economic and social activities. Modern approaches to waste management should include innovative methods, which primarily consist in reducing the amount of waste generated in the process of consumption and production, ensuring their maximum utilization and recycling, as well as introducing effective waste management technologies. *Key words:* waste management, strategy, waste disposal, recycling, management, environmental policy, sustainable development.

Постановка проблеми. У сучасному світі проблема управління відходами стає дедалі гострішою через зростання обсягів виробничих і споживчих відходів, урбанізацію, зміну споживчих звичок та недостатню ефективність традиційних методів їх використання, та впровадження екологічних норм і політики. Значна частина відходів досі підлягає захороненню або спалюванню без належного рівня переробки, що спричиняє значний негативний вплив на довкілля. Водночас концепція сталого розвитку передбачає раціональне використання ресурсів, мінімізацію відходів та впровадження циркулярної економіки. Це вимагає нових підходів до приводу з відходами, зокрема застосування інноваційних технологій, процесів цифровізації, розвитку альтернативних методів переробки та використання вторинної сировини. Основним викликом є необхідність гармонійного поєднання екологічних, економічних і соціальних аспектів управління відходами, що потребує системного підходу та ефективних рішень на державному та комунальному рівнях.

Актуальність дослідження. Адекватна, безпечна та стабільна енергія є рушійною силою сталого розвитку, життєво важливий елемент якості життя та довголіття людства. Стійкість передбачає економічний розвиток шляхом забезпечення як захисту навколишнього середовища, так і соціальної згуртованості. Стале управління енергетичними ресурсами все ще стикається зі значними політичними, економічними, соціальними, технологічними, екологічними та правовими кутами, та вимагає структурних перетворень. Споживання енергії та відповідний тиск на навколишнє середовище та клімат супроводжується багатьма нестійкими практиками, які людство прийняло в минулому, які все ще присутні в енергетичній системі. Глобальна урбанізація сприяла соціальній трансформації та економічному переходу, сильно пов'язаному зі збільшенням споживання ресурсів, ефектом теплового острова та погіршенням навколишнього середовища в міських районах. Основною екологічною проблемою є відходи, як неминучий результат нашого суспільства. Відходи є проблемою, яка буде загострюватися, оскільки явище урбанізації посилюється, рівень доходів населення зростає, а економічна модель орієнтована на споживача. Прогнози щодо утворення загального обсягу відходів у всьому світі свідчать про зростання темпів. Прогнозується, що утворення відходів зросте з майже 2 мільярдів метричних тонн, оцінених у 2016 році, до приблизно 4 мільярдів метричних тонн до 2050 року [1]. Таким чином, стале управління цими величезними обсягами відходів є одним із найважливіших викликів для наступних поколінь.

Аналіз останніх досліджень та публікацій. Питання, пов'язані з розробкою нових, сучасних та ефективних механізмів та методів управління і поводження з відходами є нагальними у сьогоденні, чим і обумовлена досліджен-

нями в цій галузі великої кількості науковців. Дана проблематика висвітлена наукових працях Стройко Т.В., Ланецький А.А., Кишківська О.Л., Терлецька А.М., Корнелюк О., Левицький С., Замлинський В.А., Осик С.В., Замлинський Я.В., Нижниченко Я.Є., Погребенник В.Д., Коваль І.І., Джумеля Е.А., Vadivala M., Vagnani M., Пацева І.Г., Герасимчук О.Л., Кагукіна А.М., Матвєєва Ю., Росохата А., Коваленко Є., Гавриленко О. [2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9].

Виклад основного матеріалу. З огляду на те, що більше 50% населення планети живе сьогодні в міських агломераціях, а урбанізація є безперервним процесом, необхідність переходів у секторах енергетики та відходів є більш ніж необхідною. Цей перехід пов'язаний із усім спектром циркулярної економіки, декарбонізацією енергетики, кліматичними змінами та сталим розвитком. Взаємодія між технологічними рішеннями для управління як відходами, так і ланцюгами постачання енергії є багатосторонньою та може значно відрізнитися залежно від багатьох критеріїв і різних характеристик. Стратегічні питання ланцюга енергопостачання, пов'язані з проектуванням та оптимальною конфігурацією, є вирішальними.

Перетворення відходів в енергію (waste-to-energy, WtE) – це процес утилізації відходів шляхом їх перетворення на електроенергію, тепло або паливо за допомогою різних технологій. Цей підхід знижує зменшення обсяги захоронення відходів, забезпечує зменшує рівень забруднення довкілля та забезпечує альтернативне джерело енергії, що відповідає принципам циркулярної економіки. Основними методами такого перетворення є:

- спалювання з рекуперацією енергії;
- піроліз;
- газифікація;
- анаеробне зброджування.

В першу чергу для успішного поводження з відходами необхідно переглянути саму систему управління відходами, яка потребує кардинальних змін відповідно до цілей сталого розвитку. На рисунку 1 представлена сучасна схема системи управління відходами, яка дозволить більш раціонально підійти до проблеми відходів.

Головною особливістю інтелектуальної стратегії управління WtE є дотримання ієрархії [11], яка описує переважний курс дій для ланцюжка поставок. Основними напрямками серед іншого має бути те, що захоронення сміттєзвалищ пов'язане з критичним навантаженням на навколишнє середовище має бути мінімізоване, а переробка повинна мати сильну мотивацію в місцевих громадах і проводитися максимально організовано, а відновлення енергії має бути максимально збільшено з відходів. На рисунку 2 представлена стратегія управління відходами на базі трьох стовпів.

Компонент взаємодії між трьома стовпами є основним чинником «розумної» стратегії управління WtE. Потoki антропогенних відходів направ-



Рис. 1. Система управління відходами [10]

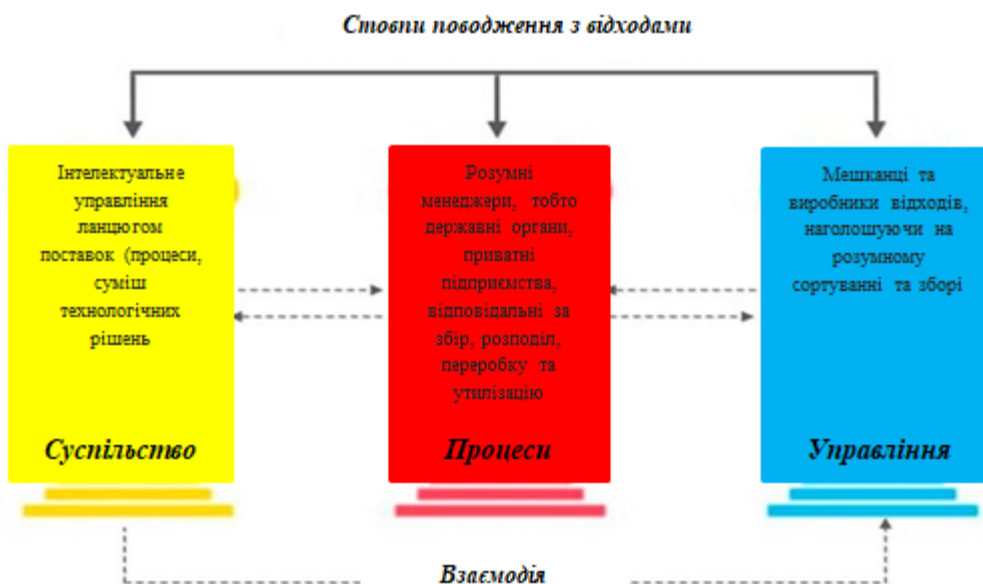


Рис. 2. Стовпи для стратегії управління відходами в енергію (WtE)

ляються через численні доступні технологічні рішення (наприклад, переробка, компостування, спалювання, анаеробне зброджування, газифікація, піроліз, захоронення) і перетворюються на придатні для використання носії енергії, органічні добрива, багаті поживними речовинами, і, загалом, інноваційні матеріали. Характерним прикладом є виробництво біопалива (біогазу або синтез-газу), основного «транспортного засобу» відновлення енергії з потоків біовідходів [12]. Стовп управління ланцюгом

постачання WtE (рис. 2) підтримує фундаментальні зміни в енергетичному секторі шляхом максимального повторного впровадження відходів як корисного ресурсу в ланцюг постачання енергії. Цього можна успішно досягти в рамках моделі чотирьох спіралей WtE (рис. 3).

Моделю чотирьох спіралей охоплює основні рушійні сили цього фундаментального переходу і є основою для прийняття оптимального поєднання технологічних рішень, прийнятих у інтелектуаль-



Рис. 3. Модель чотирьох спіралей WtE

ному ланцюжку постачання WtE. Спіраль включає в себе технологічні, економічні, соціально-політичні, екологічні та правові аспекти. Вони характеризуються сильними кореляціями, і розглядати їх у цілісній та інтегрованій манері є більш ніж обов'язковим. Основні рушійні сили для максимізації взаємодії між виробництвом енергії та управлінням відходами такі: захист відходів і енергії в оптимізованому ланцюжку постачання, захист навколишнього середовища та клімату, зміцнення конкурентоспроможності енергетичного ринку за допомогою економічно ефективних технологічних рішень, прагнення до соціальної участі та взаємодії.

Адекватність і переваги кожного технологічного рішення повинні бути прийняті до уваги для підтримки рішень щодо обробки, враховуючи тип відходів, їх теплотворну здатність, місцеві умови та характеристики. Тим не менш, надлишок або відпрацьовані матеріали, які раніше вважалися відходами, повинні забезпечувати безперервний потік енергії, також маючи на увазі, що установки WtE працюють у безперервному потоці [13].

Захист навколишнього середовища та пом'якшення наслідків зміни клімату також є основною характеристикою чотириспіральної моделі WtE.

Інтелектуальне керування ланцюгом постачання WtE показано на рисунку 4. Він визначається як розумна мережа мешканців, виробників відходів, сортувальників, збирачів і розповсюджувачів конкретних процесів, які займаються різними видами діяльності. Крім мешканців, які виробляють у домашньому масштабі, виробників відходів можна в основному класифікувати за категоріями типів відходів, тобто, сільськогосподарські (від фермерів), оператори об'єктів з муніципальних служб та професіонали з подібних секторів, наприклад лісове господарство, комерційні, медичні та медичні послуги, промислові та будівельні компанії. Весь спектр ланцюжкових заходів охоплює від збору до остаточної утилізації неоднорідної суміші відходів, що походять від різних продуктів/послуг. Як приватні, так і державні учасники дотримуються поетапної систематичної процедури, де послідовним пріоритетом є переосмислення, перепроєктування, запобігання, мінімізація, скорочення, повторне використання та переробка.

Інтелектуальний ланцюг постачання WtE повинен задовольняти різні екологічні, економічні, соціально-політичні, технологічні та законодавчі фактори. Само собою зрозуміло, що відходи є продуктом



Рис. 4. Інтелектуальне управління ланцюгом поставок WtE

суспільства зі значними соціальними та політичними вимірами, як це чітко демонструють відповідні багатокритеріальні підходи в багатьох регіонах світу. Необхідно враховувати специфічні характеристики на національному, регіональному та місцевому рівнях за умови, що вони мають різний вплив на процес генерації.

Інтелектуальний ланцюг поставок повинен враховувати динамічний характер зростання населення, рівень урбанізації, місцевий клімат, економічні аспекти та показники (наприклад, ВВП), звичайний спосіб життя та сезонність (наприклад, утворення відходів у туристичній зоні, пов'язане з високим рівнем сезонного споживання). Враховуючи відмінності в демографії, моделях поведінки, кліматологічних параметрах, економічних і культурних характеристиках, а також національних енергетичних системах між різними спільнотами, умови утворення відходів також сильно відрізняються. Економічний статус території відіграє вирішальну роль у кількості утворених відходів. Беручи до уваги різноманітність секторів утилізації відходів на міжнародному рівні, можна зробити подібні зауваження щодо глобальних відмінностей у ланцюгу постачання енергії. Наприклад, різні кліматичні параметри пов'язані з різними потребами в енергії з точки зору охолодження або опалення. Посилення економічного розвитку вимагає підвищення попиту на енергію (електроенергію для промисловості, паливо для транспорту, опалення приміщень тощо). Зростання населення та зростання попиту на транспорт збільшують попит на паливо.

Висновки. Сектор поводження з відходами стикається з багатьма питаннями, на які неможливо відповісти самостійно. Тим не менш, енергетичний сектор є ідеальним партнером через його необхідність постійно задовольняти зростаючий попит у ланцюзі постачання енергії. Технологія WtE може одночасно вирішувати дві фундаментальні проблеми: переробку потоків відходів, що не підлягають повторному використанню та переробці, і виробництво значної кількості енергії у відповідному ланцюжку поставок для задоволення зростаючих потреб по всьому світу. У відповідь на зростаючу стурбованість екологічними проблемами, пов'язаними з відходами, сектор утилізації відходів повинен перейти до «інтелектуального» у своєму ланцюзі постачання, щоб врахувати його вплив з точки зору погіршення навколишнього середовища та зміни клімату та прийняти ініціативи для зменшення цього впливу. Шлях ІКТ до реалізації концепції підходу проміжного шляху має вирішальне значення. ІКТ формують основу для розширення можливостей мешканців і мотивації професіоналів приєднуватися до більш екологічно чистих моделей поведінки з метою максимізації ефективності використання ресурсів. Існує нагальна потреба спрямувати зусилля суспільства на економіку замкнутого циклу, декарбонізацію та сталість. Максимізація ефективності використання відходів тісно пов'язана з оптимальним управлінням енергетичними ресурсами з метою створення сталої енергетичної системи для найбільшої суспільної вигоди, а також життєво важлива проблема для сталого розвитку.

Література

1. UN/The Sustainable Development Goals Report 2019 URL: <https://unstats.un.org/sdgs/report/2019/The-Sustainable-Development-Goals-Report-2019.pdf>.
2. Стройко Т.В., Ланецький А.А., Кишковська О.Л., Терлецька А.М. Інноваційні аспекти переробки відходів в контексті сталого розвитку регіонів України. Вісник ХНАУ. Серія : Економічні науки. 2020. № 4. Т1. С. 300-311.

3. Корнелюк О., Левицький С. Економіка замкнутого циклу та стратегії управління відходами. Наукові інновації та передові технології. Серія «Економіка». 2023. № 14(28). С. 679-691. DOI : [https://doi.org/10.52058/2786-5274-2023-14\(28\)-679-691](https://doi.org/10.52058/2786-5274-2023-14(28)-679-691)
4. Замлинський В. А., Осик С. В., Замлинський Я. В. Циркулярна економіка в контексті перспектив конкурентоспроможності України. *Economic Bulletin of the Black Sea Littoral*. 2023, Issue 4. Р. 28-43.
5. Нижниченко Я. Є. Світові тенденції управління відходами та аналіз ситуації в Україні. *Актуальні питання економічних наук*, 2024, (5). <https://doi.org/10.5281/zenodo.14187042>
6. Погребенник В.Д., Коваль І.І., Джумеля Е.А. Тенденції розвитку методів і систем управління відходами. Науковий вісник НЛТУ України, 2019. 29(1), с. 78–82. <https://doi.org/10.15421/40290117>
7. Vadivala M., Vagnani M. Integrated solid waste management based on 3R's/ *International journal of advanced research in engineering, science and management (UJARESM)*, 2015. Рр. 1-6.
8. Пацева І.Г., Герасимчук О.Л., Кагукіна А.М Системний підхід управління відходами об'єднаних територіальних громад. *Екологічні науки*, 2022. № 4(43), с. 181-184.
9. Матвеева Ю., Росохата А., Коваленко Є., Гавриленко О. (2023). Сутнісно-змістовна основа та особливості освоєння сучасних технологій в розрізі поняття «енергія-із-сміття». *Bulletin of Sumy National Agrarian University*, (3 (95), 67-75. <https://doi.org/10.32782/bsnau.2023.3.11>
10. Практичні аспекти управління відходами в Україні. Посібник / *Барінов М.О., Олексієвець І.Л., Родная Д.В., Журавель Т.В., Коломієць С.В., Козлова І. А., Пархоменко Г.П.* – К.: «Поліграф плюс», 2021. – 118 с.
11. European Commission. *Directive 2008/98/EC on Waste (Waste Framework Directive)*; Official Journal of the European Union: Strasbourg, France, 2008
12. Vlachokostas, C.; Achillas, C.; Agnantiaris, I.; Michailidou, A.; Pallas, C.; Feleki, E.; Moussiopoulos, N. Decision Support System to Implement Units of Alternative Biowaste Treatment for Producing Bioenergy and Boosting Local Bioeconomy. *Energies* 2020, *13*, 2306.
13. International Solid Waste Association. Guidelines: Waste-to-Energy in Low- and Middle-Income Countries. 2013. Available online: <https://www.iswa.org/media/publications/knowledge-base>