

ОСОБЛИВОСТІ УТВОРЕННЯ СКЛАДНИХ І НЕКЛАСИФІКОВАНИХ ВІДХОДІВ СПОЖИВАННЯ В УМОВАХ СУЧАСНОГО СУСПІЛЬСТВА

Макєєв П.В., Байрачний В.Б., Сакун А.О., Зінковський А.О.

Національний технічний університет «Харківський політехнічний інститут»

вул. Кирпичова, 2, 61002, м. Харків

Pavlo.Makieiev@mit.khpi.edu.ua, volodymyr.bairachnyi@khpi.edu.ua,

Antonina.Sakun@khpi.edu.ua, artem.zinkovskyi@mit.khpi.edu.ua

У статті розглядаються особливості утворення складних і некласифікованих відходів споживання в умовах сучасного суспільства, що характеризується швидкими темпами технологічного розвитку, зростанням урбанізації та споживання. Визначено основні чинники, які сприяють накопиченню таких відходів, серед яких – збільшення використання складних композитних матеріалів, різноманіття упаковок, поява нових типів електронних та електричних пристроїв, а також недосконалість систем класифікації відходів.

Розглянуто питання взаємозв'язку між технологічним прогресом і утворенням складних відходів, які характеризуються багатокомпонентністю, змішаним складом та значними труднощами при утилізації або переробці. Особливу увагу приділено некласифікованим відходам, які не підпадають під існуючі стандарти та норми класифікації, що ускладнює їх подальше управління та екологічно безпечне знешкодження.

У статті акцентовано увагу на необхідності вдосконалення системи класифікації відходів з урахуванням сучасних тенденцій споживання, розширення переліку категорій та типів відходів, що враховують складність їх складу та потенційні ризики для довкілля. Проаналізовано існуючі методи переробки складних і некласифікованих відходів, а також визначено ключові проблеми, що виникають під час їх утилізації.

На основі проведеного аналізу запропоновано можливі шляхи оптимізації управління складними та некласифікованими відходами споживання. Зокрема, пропонується впровадження нових методів класифікації, що враховують багатокомпонентність матеріалів та їхню небезпеку для довкілля. Крім того, розглядається можливість застосування інноваційних технологій для ефективної переробки складних відходів, що може суттєво знизити навантаження на екосистеми. *Ключові слова:* складні відходи, некласифіковані відходи, споживання, переробка, класифікація, утилізація, екологічна безпека.

Features of the formation of complex and unclassified consumer waste in the conditions of modern society. Makieiev P., Bairachnyi V., Sakun A., Zinkovskyi A.

The article examines the features of the formation of complex and unclassified consumer waste in the context of modern society, characterized by rapid technological development, increasing urbanization, and consumption growth. The main factors contributing to the accumulation of such waste are identified, including the increased use of complex composite materials, a variety of packaging types, the emergence of new types of electronic and electrical devices, and the imperfection of waste classification systems.

The article addresses the interrelation between technological progress and the formation of complex waste, which is characterized by multi-component composition, mixed content, and significant difficulties in disposal or recycling. Special attention is paid to unclassified waste that does not fall under existing standards and classification norms, complicating further management and environmentally safe disposal.

The study emphasizes the need to improve the waste classification system, considering modern consumption trends, expanding the range of categories and types of waste that take into account the complexity of their composition and potential environmental risks. Existing methods of recycling complex and unclassified waste are analyzed, and the key problems arising during their disposal are identified.

Based on the analysis conducted, possible ways to optimize the management of complex and unclassified consumer waste are proposed. In particular, the introduction of new classification methods that consider the multi-component nature of materials and their environmental hazards is suggested. Additionally, the possibility of applying innovative technologies for effective recycling of complex waste is considered, which can significantly reduce the burden on ecosystems. *Key words:* complex waste, unclassified waste, consumption, recycling, classification, disposal, environmental safety.

Постановка проблеми. Сучасне суспільство характеризується швидкими темпами науково-технічного прогресу, інтенсивною урбанізацією та постійним зростанням рівня споживання. Ці процеси призводять до значного збільшення обсягів утворення відходів, зокрема складних і некласифікованих, які не завжди можуть бути ефективно перероблені або утилізовані за допомогою існуючих методів.

Проблема складних і некласифікованих відходів полягає в їх багатокомпонентному складі, змішаних матеріалах, які можуть включати органічні та неорганічні компоненти, а також у значних труднощах їх розділення та переробки. Складні відходи часто включають електронні пристрої, композитні матеріали, багатошарові упаковки та інші предмети, що створюють суттєві екологічні ризики при неналежному управлінні.

Некласифіковані відходи, які не підпадають під жодну з існуючих категорій стандартних класифікацій, створюють додаткові проблеми для управління. Їх відсутність у класифікаційних системах ускладнює процеси збору, транспортування, переробки та знешкодження. Більш того, такі відходи можуть становити загрозу для навколишнього середовища через непередбачувані хімічні або фізичні властивості.

Актуальність дослідження обумовлена необхідністю удосконалення існуючих систем класифікації відходів, а також розробки нових методів управління складними і некласифікованими відходами. Це включає створення інноваційних технологій для їх ефективної переробки та утилізації, що дозволить зменшити негативний вплив на екосистеми та забезпечити сталий розвиток суспільства.

Необхідність вирішення цієї проблеми також пов'язана з посиленням екологічних вимог на національному та міжнародному рівнях, які спрямовані на зменшення кількості відходів та їх безпечно знешкодження. Це потребує розробки нових підходів до класифікації, управління та утилізації складних і некласифікованих відходів.

Зв'язок авторського доробку із важливими науковими та практичними завданнями. Дослідження особливостей утворення складних і некласифікованих відходів споживання в умовах сучасного суспільства є важливим як з наукової, так і з практичної точки зору. Воно спрямоване на вирішення актуальних наукових завдань, пов'язаних із систематизацією та класифікацією нових типів відходів, які виникають у результаті технологічного прогресу та змін у моделях споживання.

Авторський доробок спрямований на розробку нових підходів до класифікації відходів, які враховують їх багатокомпонентність, фізико-хімічні властивості та потенційну небезпеку для довкілля. Практичне значення дослідження полягає у розробці ефективних методів управління відходами, що включають створення систем їх збору, транспортування, сортування та знешкодження. Крім того, важливим аспектом є впровадження інноваційних технологій переробки складних відходів, які дозволяють отримувати вторинні ресурси або безпечно утилізувати небезпечні компоненти.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Проблема утворення складних і некласифікованих відходів привертає дедалі більше уваги через зростання обсягів споживання, урбанізації та інтенсивний розвиток технологій. У літературі розглядаються різні аспекти цієї проблеми, однак багато питань залишаються недостатньо вивченими або потребують подальшого уточнення.

Дослідження, присвячені управлінню складними відходами, зосереджуються переважно на питаннях їх переробки та утилізації. Значна увага приділяється проблемам утилізації електронних відходів,

які містять небезпечні компоненти та вимагають спеціалізованих методів переробки. Такі дослідження включають аналіз фізико-хімічних характеристик електронних пристроїв, оцінку їх безпеки та розробку методів безпечної утилізації [1]. Більшість існуючих класифікаційних систем базується на фізичних, хімічних або біологічних характеристиках відходів. Проте, такі системи часто є занадто спрощеними або не враховують багатокомпонентність відходів, що утворюються внаслідок споживання сучасних матеріалів, таких як композити, багатошарові упаковки та інші комбіновані матеріали [2].

Незважаючи на наявність великої кількості досліджень, питання некласифікованих відходів залишається недостатньо вивченим. Багато відходів, які не підпадають під існуючі стандарти класифікації, залишаються поза увагою дослідників та регуляторних органів. Це ускладнює процеси їх збору, транспортування, переробки та утилізації. Зокрема, такі відходи можуть включати нові типи матеріалів або продукти з невизначеними фізико-хімічними властивостями, що ускладнює їх класифікацію [3].

Екологічний аспект проблеми також висвітлений у багатьох дослідженнях. Наголошується на необхідності розробки нових методів переробки складних відходів з урахуванням потенційної екологічної небезпеки. Встановлено, що відсутність належної класифікації може призвести до непередбачуваних наслідків для довкілля, зокрема забруднення ґрунтів, водних ресурсів та атмосфери [4].

Дослідження також свідчать про те, що традиційні методи переробки складних відходів не завжди є ефективними. Наприклад, методи механічного подрібнення часто не можуть забезпечити належний рівень переробки багатокомпонентних матеріалів, а термічні методи можуть призводити до утворення токсичних викидів [5].

Виділення не вирішених раніше частин загальної проблеми, котрим присвячується означена стаття. Нерозв'язаними залишаються питання, пов'язані з розробкою універсальних критеріїв класифікації складних і некласифікованих відходів, які враховували б їх фізико-хімічні характеристики, екологічну небезпеку та можливість повторної переробки. Існуючі класифікаційні системи не завжди є достатньо гнучкими та деталізованими для включення нових видів відходів, що постійно виникають внаслідок технологічного розвитку та урбанізації.

Також недостатньо дослідженими є методи управління некласифікованими відходами, які не підпадають під жодну з існуючих категорій стандартних класифікацій. Через це виникають труднощі у процесах збору, транспортування, переробки та утилізації таких відходів. Крім того, важливим залишається питання створення технологій переробки складних матеріалів, які мають багатошарову структуру або містять небезпечні компоненти.

Не менш актуальним є аспект екологічної безпеки, оскільки відсутність належної класифікації та управління складними та некласифікованими відходами може призвести до значного забруднення навколишнього середовища. Недостатньо дослідженою залишається проблема оцінки довгострокового впливу таких відходів на екосистеми та здоров'я населення.

Новизна дослідження полягає у комплексному підході до вивчення процесів утворення, класифікації та утилізації складних і некласифікованих відходів споживання в умовах сучасного суспільства. Запропоновано новий підхід до класифікації складних і некласифікованих відходів, що виникають внаслідок активного розвитку сучасних технологій та появи нових матеріалів. Встановлено, що існуючі системи класифікації не охоплюють усіх можливих видів складних відходів, що утворюються у процесі споживання електронних пристроїв, композитних матеріалів, багатошарових упаковок тощо.

Методологічне значення роботи полягає у розробці цілісного підходу до вивчення та класифікації складних і некласифікованих відходів споживання.

Методологічне значення роботи визначається застосуванням комплексного аналізу, що включає декілька важливих аспектів: фізико-хімічний аналіз складних матеріалів, оцінку екологічної безпеки та розробку критеріїв для створення нової класифікаційної системи. Використання такого підходу дозволяє отримати більш точні та надійні результати, які можуть бути застосовані для розробки ефективних методів переробки та управління відходами.

Виклад основного матеріалу. Сучасне суспільство стикається з дедалі більшими викликами, пов'язаними з утворенням складних та некласифікованих відходів, які виникають у результаті стрімкого технологічного розвитку, урбанізації та зростання рівня споживання. Основною проблемою є багатокомпонентний та неоднорідний склад таких відходів, який ускладнює процеси переробки, знешкодження та вторинного використання.

Складні відходи включають різні матеріали, поєднані у єдину структуру, що значно ускладнює їх розділення та подальше використання. Наприклад, електронні відходи (e-waste), що містять метали, пластмаси, скло та інші компоненти, є одними з найбільш складних з точки зору утилізації [6]. Некласифіковані відходи, які не відповідають існуючим категоріям стандартних класифікацій, залишаються поза увагою регуляторних органів та дослідників, що ускладнює процеси їх збору, транспортування, переробки та знешкодження [7].

Існуючі методи управління відходами переважно спрямовані на переробку або знешкодження окремих матеріалів, однак вони не є ефективними для складних або некласифікованих відходів. Наприклад, механічні методи переробки часто не дозволяють розділити багатошарові або композитні матеріали

на складові компоненти, тоді як термічні методи можуть призводити до утворення токсичних викидів та забруднення навколишнього середовища [8].

Наукові дослідження свідчать про те, що відсутність належної класифікації та ефективних методів управління складними та некласифікованими відходами створює серйозні екологічні ризики. Встановлено, що такі відходи можуть містити небезпечні речовини, які у разі неналежного поводження здатні забруднювати ґрунти, водні ресурси та атмосферу [9]. Це особливо стосується електронних відходів, які можуть містити свинець, ртуть, кадмій та інші токсичні елементи [10].

Запропонований підхід [10] передбачає розробку нових критеріїв класифікації складних і некласифікованих відходів з урахуванням їх багатокомпонентного складу, екологічної безпеки та можливості подальшої переробки. Врахування цих чинників дозволяє створити гнучкішу та більш адаптивну систему класифікації, яка здатна забезпечити ефективне управління відходами в умовах постійного розвитку технологій та урбанізації.

Практичні аспекти дослідження включають розробку методів переробки складних матеріалів із застосуванням комбінованих технологій, які поєднують фізичні, хімічні та біологічні процеси. Наприклад, використання хімічного розчинення для розділення компонентів композитних матеріалів може значно підвищити ефективність переробки [11]. Також перспективним є застосування плазмових технологій, гідрометалургії та інших інноваційних методів для утилізації електронних відходів [12].

Можливі шляхи оптимізації управління складними та некласифікованими відходами споживання включають удосконалення класифікаційних систем з урахуванням багатокомпонентного складу відходів та їх екологічної безпеки, впровадження інноваційних технологій переробки (хімічне розчинення, плазмові технології, гідрометалургія), створення ефективних систем збору та транспортування з використанням інформаційних технологій (IoT, блокчейн). Важливим є розробка методів екологічно безпечного знешкодження, що включають біотехнології та термічні методи з мінімізацією шкідливих викидів. Оптимізацію також сприятиме вдосконалення нормативно-правової бази, створення стимулів для впровадження інноваційних технологій та розробка міжнародних стандартів з класифікації та утилізації відходів.

Головні висновки. Комплексний підхід до вивчення складних і некласифікованих відходів дозволяє детально проаналізувати специфіку їх утворення, класифікації та утилізації в умовах сучасного суспільства. Багатокомпонентність та неоднорідність складу таких відходів вимагають розробки нових підходів до їх класифікації, що враховують як фізико-хімічні характеристики, так і екологічні ризики.

Сучасні класифікаційні системи відходів є недостатньо адаптованими до умов постійного виникнення нових видів відходів, зокрема складних композитних матеріалів, електронних пристроїв та багатошарових упаковок. Існуючі підходи не забезпечують належного охоплення всіх категорій відходів, що ускладнює їх ефективне управління та переробку.

Запропоновані нові критерії класифікації складних і некласифікованих відходів, які базуються на аналізі їх фізико-хімічних властивостей, екологічної небезпеки та можливостей для вторинної переробки.

Такий підхід дозволяє забезпечити більш гнучке та ефективне управління відходами. Розроблені практичні рекомендації щодо оптимізації процесів управління відходами, включаючи створення нових технологій переробки багатошарових та композитних матеріалів. Запропоновані методи дозволяють значно знизити екологічне навантаження та підвищити рівень екологічної безпеки.

Перспективи використання результатів дослідження. Результати дослідження можуть бути використані для удосконалення систем управління відходами на різних рівнях.

Література

1. Михайлова С.О., Панчева Г.М., Резніченко Г.М. Ефективні механізми поводження з твердими побутовими відходами в Україні. Комунальне господарство міст, 2019, том 5, випуск 151, с. 37–44. DOI 10.33042/2522-1809-2019-5-151-37-44
2. 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>
3. 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.
4. 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.
5. Войціховська А., Кравченко О., Мелень-Забрамна О., Панькевич М. Кращі європейські практики управління відходами: посібник / за заг. ред. О. Кравченко. Львів: Видавництво «Компанія “Манускрипт”», 2019. 64 с.
6. Харченко, А. В., Сагайдак, І. В. Удосконалення системи переробки твердих побутових відходів в Україні. *Науковий журнал*. 2020. № 4. С. 123–130.
7. Гутиря М. В., Романчук В. О. Утилізація промислових відходів: сучасні підходи та методи. Київ: Екологічна академія, 2020. 256 с.
8. Довбня О. В. Циркулярна економіка та управління відходами в промисловості. Харків: Видавництво ХНУ ім. В. Н. Каразіна, 2020. 312 с.
9. Innovative Technologies in Construction Waste Management in Accordance with Circular Economy / N. Levchenko et al. *Scientific Bulletin of Building*. 2024. No. 110. P. 62–69. URL: <https://doi.org/10.33042/2311-7257.2024.110.1.9>
10. Ращенко А. В., Лесь А. В., Роїк І. В., Нелеп І. В. Перевезення твердих побутових відходів як частина транспортної системи міст та отг. Економіка та держава. 2020. № 11. С. 88–91. DOI: 10.32702/2306-6806.2020.11.88
11. *What a Waste 2.0: A Global Snapshot of Solid Waste Management to 2050*. The World Bank. URL: <https://openknowledge.worldbank.org/handle/10986/30317>
12. Lysenko A., Holovin I. Circular economy in waste management: Innovations and European integration. *Екологічний вісник України*, 2023 № 5(3), 58–67.