

БУЧКА АНДРІЙ

Одеський державний екологічний університет

<https://orcid.org/0000-0003-1447-9027>e-mail: andriibuchka@gmail.com

КЛАСИФІКАЦІЯ ВІДХОДІВ ЕЛЕКТРИЧНОГО ТА ЕЛЕКТРОННОГО ОБЛАДНАННЯ ЗА ОЗНАКОЮ ЕКОЛОГІЧНОЇ НЕБЕЗПЕКИ

В статті розглядається проблема відходів електричного та електронного обладнання, яка постійно зростає через масовість споживання обладнання та його швидке моральне старіння. Наведено дані обсягів утворення та прогнозу утворення е-відходів у майбутньому, які за складом та структурою належать до специфічних відходів. В статті акцентується увага на тому, що через вміст різноманітних компонентів, які складаються з різних матеріалів, зокрема, рідкісних, цінних й в тому числі небезпечних сполук, відходи електричного та електронного обладнання представляють суттєву небезпеку для здоров'я людини та довкілля. В результаті виникає необхідність в спеціалізованому поводженні з даним типом відходів.

На основі аналізу характеристик та властивостей відходів, з метою забезпечення ефективного управління даними відходами та акцентуючись на їхній екологічній небезпеці, пропонується класифікація відходів електричного та електронного обладнання за ознакою екологічної небезпеки. Запропонована класифікація відходів розділяє їх на три категорії, залежно від рівня потенційного негативного впливу на здоров'я людини та навколишнє середовище в результаті неправильного поводження, та визначає оптимальні методи поводження з кожною категорією. Відмічається, що дана класифікація може бути використана як допоміжний інструмент в ієрархії поводження з відходами 10R, яка є основою кругової економіки 3.0, та детально наведена в статті в аспекті даного типу відходів.

Окрема частина статті присвячена порівнянню запропонованої класифікації відходів з іншими відомими класифікаціями відходів електричного та електронного обладнання. Виділено як спільні риси, так і відмінності, підкреслюючи більшу комплексність запропонованої класифікації, в тому числі й по визначенню оптимальних методів поводження з е-відходами для зменшення негативного впливу на довкілля та продовження життєвого циклу обладнання.

Ключові слова: відходи електричного та електронного обладнання, е-відходи, класифікація, екологічна небезпека, рециклінг, ремануфактуринг.

BUCHKA ANDRII

Odessa State Environmental University

CLASSIFICATION OF WASTE ELECTRICAL AND ELECTRONIC EQUIPMENT BY ECOLOGICAL HAZARD

The article discusses the problem of waste electrical and electronic equipment, which is constantly growing due to the mass consumption of equipment and its rapid obsolescence. Data on the volumes and forecasts of e-waste generation in the future, which belong to specific types of waste based on their composition and structure, are provided. The article emphasizes that due to the content of various components made of different materials, including rare, valuable, and hazardous compounds, waste electrical and electronic equipment poses a significant threat to human health and the environment. As a result, there is a need for specialized management of this type of waste.

Based on the analysis of the characteristics and properties of the waste, aiming to ensure effective management of this waste and focusing on its ecological hazards, a classification of waste electrical and electronic equipment by ecological hazard is proposed. The proposed waste classification divides them into three categories, depending on the level of potential negative impact on human health and the environment as a result of improper handling, and determines optimal management methods for each category. It is noted that this classification can be used as an auxiliary tool in the 10R waste management hierarchy, which is the basis of the circular economy 3.0, and is described in detail in the article in the context of this type of waste.

A separate part of the article is dedicated to comparing the proposed classification of waste with other known classifications of waste electrical and electronic equipment. Both common features and differences are highlighted, emphasizing the greater comprehensiveness of the proposed classification, including the determination of optimal methods for e-waste management to reduce the negative impact on the environment and extend the life cycle of the equipment.

Keywords: waste electrical and electronic equipment, e-waste, classification, ecological hazard, recycling, remanufacturing.

Постановка проблеми

Закономірною особливістю кожного етапу розвитку людського суспільства є характерний йому тип відходів. Так у ХХІ столітті в період інтенсивного розвитку й впровадження новітніх технологій на різних рівнях споживання/користування, а також швидкого, в тому числі й запрограмованого морального старіння обладнання, спостерігається зростаюча тенденція утворення відходів електричного та електронного обладнання (ВЕЕО). Директива 2012/19/ЄС Європейського Парламенту та Ради від 4 липня 2012 року про відходи електричного та електронного обладнання [1] визначає електричне та електронне обладнання (ЕЕО) як «таке обладнання, належна робота якого залежить від електричних струмів та електромагнітних полів, а також обладнання для генерування, передачі та випромінювання таких струмів і полів, призначене для використання з номінальною напругою, яка не перевищує 1000 вольт для змінного струму та 1500 вольт для постійного струму». Національна стратегія управління відходами України до 2030 року [2] трактує ВЕЕО як «прилади, що працюють за допомогою електроенергії або електромагнітного поля, строк експлуатації яких закінчився або власник має намір їх позбутися шляхом утилізації чи видалення».

З огляду на те, що до складу ВЕЕО входить багато небезпечних компонентів, як то важкі метали та

інші токсичні сполуки, які при неправильному поводженні з е-відходами надходять у навколишнє середовище і негативно впливають на довкілля та біоту, зі зростанням обсягів утворення відпрацьованого обладнання внаслідок погіршення технічних чи моральних параметрів, проблема ВЕЕО стає все більш актуальною.

Наявні підходи з управління ВЕЕО нерідко не враховують повною мірою їхню реальну небезпеку, що в результаті призводить до неправильної та неефективної їхньої переробки та утилізації. Відомі класифікації не завжди враховують потенційний вплив відходів даного типу на навколишнє середовище та здоров'я людини. Внаслідок чого і виникає необхідність розробки та впровадження нових підходів до класифікації ВЕЕО, які б враховували їх екологічну небезпеку.

Аналіз досліджень та публікацій

Аналіз наукових публікацій з проблематики відходів електричного та електронного обладнання показує зростання її актуальності. Так, останні дослідження зарубіжних вчених, наприклад [3, 4] висвітлюють вплив на здоров'я людини та навколишнє середовище токсичних компонентів ВЕЕО, таких як стійкі органічні забруднювачі та важкі метали. Питання утилізації електронних відходів ґрунтовно розглянуті у працях низки вітчизняних вчених, зокрема В. Хомякова, Л. Абалкіна, І. Єремєєва, Л. Ящук, М. Краснянського, Є. Виговської, Ю. Шулаєвої, О. Губанової, Т. Шевченко, Н. Шуптар-Пориваєвої, які зробили значний внесок у розробку науково-практичних засад вирішення проблем поводження з електронними відходами. Автори звіту Глобального моніторингу електронних відходів 2024 [5], присвяченого еколого-економічним аспектам поводження з ВЕЕО, довели, що ефективні методи переробки електронних відходів сприяють як зниженню екологічних ризиків, так і економічному розвитку в результаті повторного використання вторинних матеріалів, які порівняно з первинними доцільніше застосовувати у сфері виробництва. Але, незважаючи на велику кількість наукових розробок, більш ретельного дослідження вимагають питання поводження з ВЕЕО в аспекті їхньої екологічної небезпеки.

Метою роботи є розробка класифікації відходів електричного та електронного обладнання з урахуванням їх екологічної небезпеки, яка дозволить обґрунтувати вибір найбільш ефективних методів поводження з ними.

Виклад основного матеріалу

За даними звіту Глобального моніторингу електронних відходів 2024 [5] у світі за 2022 рік утворилося близько 62 млн. тонн ВЕЕО, що в середньому становило 7,8 кг на одну людину. Лише 22,3% (13,8 млн. тонн) від загальної маси відходів задокументовані як зібрані та перероблені відповідно до стандартів.

Решта – 77,7% (48 млн. тонн) характеризуються як зібрані та перероблені різними способами, в тому числі, далекими від стандартів поводження з відходами, з яких 22,6% (14 млн. тонн) – викинуті на звалище.

За період 2010-2022 років [6], маса утворених ВЕЕО щороку зростала в середньому на 2,4 млн. тонн, досягнувши 62 млн. тонн відходів у 2022 році. Тобто за 12 років кількість утворених відходів зросла на 28,2 млн. тонн і за прогнозами їх маса зросте до 82 млн. тонн у 2030 році та досягне відмітки в 100-120 млн. тонн у 2050 році (рис. 1) [5-8].

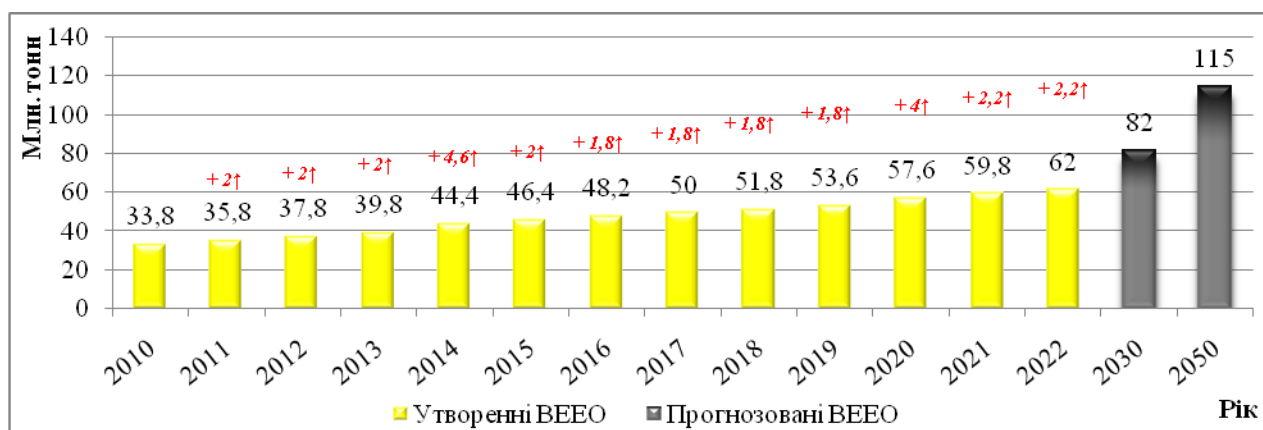


Рисунок 1 – Динаміка утворення та прогнозування утворення ВЕЕО у світі за 2010-2050 роки

Через великий різновид обладнання, їх компонентний та хімічний склад, відходи електричного та електронного обладнання належать до категорії специфічних відходів. Так електричне та електронне обладнання залежно від виду може містити велику кількість компонентів, які знаходяться в взаємодії між собою і складають його цілісну структуру. Це корпус, плати, мікросхеми, датчики, дроти, накопичувачі та зчитувачі інформації, перетворювачі та стабілізатори енергії, гальванічні елементи та інші комплектуючі вузли. Розмір деталей і обладнання, який може варіюватись від кількох сантиметрів до кількох метрів і залежно від їх функціонального призначення поділяються на 6 категорій ВЕЕО, відповідно Директиві 2012/12/ЄС [1]:

1. Термообмінне обладнання;
2. Екрани, монітори та обладнання, що містять екрани з площею понад 100 см²;

3. Лампи;
4. Велике обладнання (розмір понад 50 см);
5. Мале обладнання (розмір не перевищує 50 см);
6. Мале ІТ та телекомунікаційне обладнання (розмір не перевищує 50 см).

У 2022 році третина від усіх утворених ВЕЕО у світі припала на мале обладнання, 25% - велике обладнання, 21% - теплообмінне обладнання, 10% - екрани, монітори та обладнання..., 8% - мале обладнання ІТ та лампи склали 3%, що відповідає значенням за 2019 рік [5, 7].

В Україні ж за 2019 рік аналогічно світовим показникам, третину від усіх утворених ВЕЕО склала категорія «мале обладнання», 24% - теплообмінне обладнання, 22% - велике обладнання, 15% - екрани, монітори та обладнання..., 7% - мале обладнання ІТ і лампи відповідно – 2% [9].

До складу відходів електричного та електронного обладнання (рис. 2) [10] входить багато сполук та елементів, які є рідкісними, цінними та токсичними. Так ВЕЕО складають близько 2% від загального об'єму твердих побутових відходів, при тому є джерелом близько 70% небезпечних сполук та металів [8], таких як важкі метали (Pb, Hg, Cd, Cr, Be, As, Ni, Sb, Zn), бромовані антипірени, фталати, поліхлоровані дибензодіоксини та дибензофурану й багато інших сполук [3], що представляють велику загрозу для здоров'я людини та навколишнього середовища.

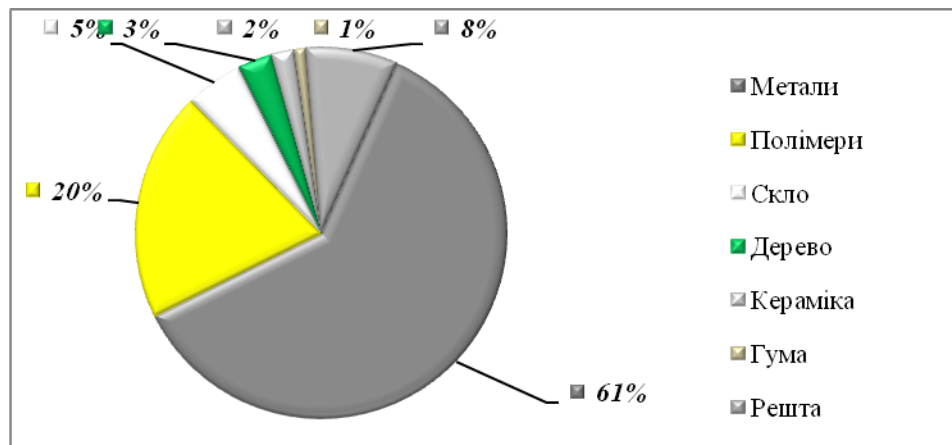


Рисунок 2 – Відсотковий вміст матеріалів у ВЕЕО

Через те, що ВЕЕО утворюються із різноманітного відпрацьованого обладнання, яке характеризується складністю структури й багатокомпонентним хімічним складом, зокрема, наявністю небезпечних сполук, що вимагає окремого збору, використання спеціалізованого обладнання, навичок поводження, знань та індивідуального підходу щодо їх обробки та утилізації. Хоч більшість ВЕЕО можна піддати рециклінгу та повторному їх використанню повністю чи окремих складових, деякі електронні відходи через вміст небезпечних сполук не можливо рециркулювати. З огляду на це, виникає необхідність в класифікації ВЕЕО за ознакою екологічної безпеки, щоб відповідно їх ступеня безпеки, визначити подальші методи поводження.

Класифікація відходів електричного та електронного обладнання за ознакою екологічної безпеки передбачає розділення цих відходів на різні категорії залежно від рівня потенційної шкоди для здоров'я людини та навколишнього середовища, яка виникає в результаті неправильного поводження з ними та застосування методів утилізації, що не відповідають принципам сталого розвитку. Залежно від складу та властивостей матеріалів, що містяться в ВЕЕО та методів поводження з ними, за ознакою екологічної безпеки ВЕЕО можна розділити за трьома категоріями: особливо небезпечні, помірно небезпечні та мало небезпечні» (табл. 1).

До категорії «Особливо небезпечні» відносяться відходи, які представляють високий рівень екологічної безпеки через вміст сполук, які є токсичними та дуже небезпечними для здоров'я людини та навколишнього середовища, що при поводженні з ними потребує специфічних дій та безпечної утилізації. До цієї категорії відносяться такі відходи як: ртутні лампи, батарейки, акумулятори, електронно-променеві трубки, рідкокристалічні панелі екранів, електролітичні конденсатори, радіоактивно-вмісні датчики. Відходи цієї категорії не можна використовувати повторно, а лише утилізувати.

До категорії «Помірно небезпечні» відносяться відходи, які також представляють високу екологічну безпеку, але на відмінну від першої категорії, можуть бути піддані рециклінгу. Такі відходи містять компоненти, які можуть бути використанні повторно за первинним призначенням чи переробленні на вторинну сировину, що зменшує споживання природних ресурсів та негативний вплив на здоров'я людини та навколишнє середовище. До цієї категорії відносяться такі відходи, як: споживчі ІТ-пристрої та телекомунікаційне обладнання (комп'ютерна та периферійна/мережева техніка, мобільні телефони, телевізори, фото- та відеотехніка, комплектуючі вузли та інше), сонячні панелі, іграшки та розважальні прилади, що містять батарейки та акумулятори.

До категорії «Малонебезпечні» відносяться відходи, які характеризуються меншою екологічною

небезпекою, відносно першої та другої категорії. Вони можуть бути піддані процесу ремануфактурингу, що дозволяє відновити обладнання до первинного чи навіть кращого стану. До цієї категорії відносяться такі відходи як побутова техніка (холодильне обладнання, пральні та посудомийні машини, пылесоси, електричні плити та комбайни), інструменти (електричні пили, дрилі, зварювальні апарати) та інше.

Таблиця 1

Класифікація відходів електричного та електронного обладнання за ознакою екологічної небезпеки

Категорія	Характеристики	Методи поводження
Особливо небезпечні	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Дуже високий рівень екологічної небезпеки. ▪ Вміст токсичних та небезпечних сполук шкідливих для здоров'я людини та навколишнього середовища. ▪ Великий потенціал забруднення довкілля в результаті розміщення в навколишньому середовищі або неправильної утилізації. ▪ Не можна використовувати повторно, лише утилізувати. 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Спеціалізована обробка та утилізація для мінімізації негативного впливу. ▪ Рециклінг окремих складових, якщо це технічно можливо та безпечно.
Помірно небезпечні	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Високий рівень екологічної небезпеки. ▪ Вміст токсичних та небезпечних сполук шкідливих для здоров'я людини та навколишнього середовища. ▪ Певний потенціал негативного впливу на здоров'я людини та довкілля внаслідок розміщення в навколишньому середовищі або неефективної утилізації. ▪ Джерело вторинної сировини, що містить різні ресурсоцінні, рідкісні компоненти. ▪ Можуть бути використанні повторно повністю чи частково за первинним призначенням після відновлення. 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Спеціалізована обробка та утилізація для мінімізації негативного впливу. ▪ Рециклінг більшості складових, якщо це технічно можливо, економічно доцільно та безпечно.
Малонебезпечні	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Низька екологічна небезпека. ▪ Містять безпечні або небезпечні сполуки у малої концентрації. ▪ Можуть бути піддані переробці чи використанню без значного ризику для людини та навколишнього середовища 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Ремануфактуринг до первинного чи навіть кращого стану. ▪ Рециклінг вторинної сировини.

Класифікація відходів електричного та електронного обладнання за ознакою екологічної небезпеки дозволяє вибрати відповідні методи поводження з відходами, щоб зменшити їх негативний вплив на здоров'я людини та навколишнього середовища. Так, наприклад, батарейки, акумулятори чи ртутні лампи належать до небезпечних відходів через вміст токсичних елементів, як-то ртуть, свинець чи кадмій, які при неналежному поводженні можуть проникати в ґрунт і воду, забруднювати їх та впливати на живі організми. Такі відходи не можуть бути використанні повторно, отже повинні бути утилізовані. Вони переробляються на спеціалізованих заводах, а отримана сировина може бути використана для виготовлення нових батарейок, акумуляторів, ртутних ламп тощо.

Відходи другої категорії, що мають складну, багатокомпонентну структуру, можна розібрати за для отримання працюючих комплектуючих для повторного використання, відновити зламані елементи чи переробити їх, оскільки вони є джерелом вторинної сировини й містять як ресурсоцінні, рідкісні, так й небезпечні компоненти, такі як залізо, мідь, алюміній, срібло, золото, свинець, кадмій, хром, пластик, скло та інші. Так, наприклад, в електронних відходах таких як комп'ютери та телефони, вміст золота складає близько 280 грам/т, яке в основному знаходиться в друкованих платах [7], а отримання золота з електроніки сприяє утворенню на 80% менше CO₂, ніж добування його з первинних покладів ресурсу [11]. Вміст друкованих плат складає близько 30% від загального об'єму ВЕЕО і вміщує найбільшу кількість елементів: 40% припадає на метали (Cu – 14%, Sn – 6%, Al – 6%, Fe – 5%, Pb – 3%, Zn – 2%, Cd – 0,3%, Au – 0,3%, Ag – 0,3%), 30% - на неметали (кераміка та скловолокно) та ще 30% - на органічні речовини [4]. Рециклінг відпрацьованого обладнання є економічно вигідним через отримання вторинної сировини, що сприяє зменшенню потреби в видобутку нових матеріалів та утворенню відходів у процесі добування, а також продукуванню небезпечних відходів, що призводить до зменшення негативного впливу на здоров'я людини та навколишнє середовище.

До третьої категорії відходів доцільно застосовувати ремануфактуринг, оскільки він передбачає відновлення продукту до первинного, або навіть кращого стану. Він включає повний розбір обладнання на складові частини, усунення поломок і дефектів завдяки ремонту та заміни деталей, в тому числі з такого ж відпрацьованого обладнання, та оновлення його до стану функціональності, що відповідає новому

обладнанню. Це дозволяє у деяких секторах промисловості зменшити утворення парникових газів на 79-99%, потреби в нових матеріалах, порівняно із виробництвом нових продуктів, на 80-98% та сприяє збільшенню робочих місць та експорту. Наприклад, в США застосування ремануфактурингу продукує 180000 робочих місць та збільшення експорту на 12 млрд. доларів США [12].

Ремануфактуринг дозволяє продовжити термін користування, сприяє зменшенню утворення відходів та потреби в видобутку нових ресурсів, що відповідає принципам сталого розвитку та кругової економіки.

Класифікація відходів електричного та електронного обладнання за ознакою екологічної безпеки дозволяє вибрати відповідні методи поводження з відходами, що стимулює раціоналізацію управління даним типом відходів і може виступати в якості допоміжного інструменту в ієрархії поводження з відходами 10R, яка є основою циркулярної (кругової) економіки 3.0 – моделі поводження з відходами, яка спрямована на збереження ресурсів та зменшення негативного впливу на довкілля.

Ієрархія складається з 10 етапів [13], так званих імперативів 10R (варіантів збереження ресурсів), які застосовуються до обладнання протягом усього його життєвого циклу – від проектування до переробки, та розділяються в контексті «споживач – виробник»:

- R1. Refuse. Найкращим методом вирішення проблеми є її відвернення. Даний етап полягає в відмові споживачем придбання виробу, яке не є необхідним, чи в його використанні. На етапі виробництва - це відмова від використання небезпечних речовин та матеріалів, що представляють складність у переробці;

- R2. Reduce – полягає в зменшенні утворення відходів завдяки рідшому, тривалішому та бережному використанню обладнання споживачем і скорочення використання природних ресурсів, в тому числі, й небезпечних сполук при виробництві обладнання завдяки оптимізації його дизайну та технологій виробництва. Організація процесу виробництва пов'язана зі зменшенням утворення супутнього потоку відходів;

- R3. Resell/Reuse – перепродаж та повторне використання вживаного обладнання за первинним призначенням, яке не втратило своєї функціональності, або після ремонту чи реставрації. Використання перероблених матеріалів здійснюється при виробництві обладнання та комплектуючих деталей;

- R4. Repair – продовження терміну експлуатації обладнання, яке полягає у відновленні функціональності зламаного чи пошкодженого обладнання завдяки ремонту або заміни деталей, або планового ремонту як заходу зі збереження та підтримки нормальної функціональності обладнання. Характеризується підвищенням ремонтпридатності завдяки спрощенню конструкції на етапі проектування, що полегшує розбір обладнання для ремонту чи заміни, а також більш ефективної утилізації як окремих елементів, так і всього обладнання. Даний етап запобігає передчасному виведенню обладнання з експлуатації при неповній вичерпності його потенціалу;

- R5. Refurbish – покращення стану обладнання завдяки ремонту та заміни компонентів як не працюючих чи таких, що втратили свої початкові функції чи вигляд, а також в результаті їх морального старіння. Суть процесу зводиться до відновлення обладнання без зміни його загальної структури. Тобто це може бути як заміна комплектуючих вузлів з очищенням від бруду, так і оновлення програмного забезпечення. На відміну від попереднього етапу це етап відновлення первинної функціональності та модернізації застарілого обладнання з метою продовження його терміну експлуатації;

- R6. Remanufacture – високотехнологічний процес відновлення продукту до первинного стану. Як було уже згадано раніш, ремануфактуринг - це процес повного розбору обладнання на складові частини, усунення поломок і дефектів завдяки заміні деталей з такого ж відпрацьованого обладнання чи нових деталей, та оновлення їх до стану функціональності, що відповідає характеристикам нового обладнання, або навіть кращого стану. Даний процес потребує використання спеціалізованих навичок та устаткування, проте сприяє збереженню первинних ресурсів, оскільки потребує значно менше ресурсів порівняно з виготовленням нового обладнання, і тривалішого використання обладнання та передчасного виведення його з експлуатації завдяки максимального використання закладеному виробником потенціалу в складові частини обладнання;

- R7. Repurpose – останній етап використання електричного та електронного обладнання перед його утилізацією. Суть етапу зводиться до так званого перепрофілювання – використання відпрацьованого, проте все ще функціонуючого обладнання та/або його окремих частин, не за їх першочерговим призначенням. Це може бути як використання його в інших цілях, використовуючи його функціональне призначення, так і зовсім інше;

- R8. Recycle – етап поводження з відпрацьованим обладнанням, яке вичерпало свій ресурс та/або більше не придатне для використання. Він полягає в високотехнологічному процесі переробки обладнання з метою отримання вторинних матеріальних ресурсів, в тому числі цінних, рідкісних та небезпечних, які можуть бути використанні повторно для виробництва нового обладнання, чи зовсім іншої продукції, що зменшує необхідність видобутку і використання первинних ресурсів. Даний етап є ключовим у ієрархії поводження з відходами електричного та електронного обладнання, оскільки рано чи пізно обладнання вичерпає свій ресурс і потребує подальшого спеціалізованого поводження, яке забезпечує раціональне використання природних ресурсів – запобігання виснаження проривних ресурсів, забрудненню навколишнього середовища та негативного впливу на здоров'я людини.

- R9. Recover – процес отримання енергії та залишкових матеріалів з відходів, які не можуть бути перероблені на попередньому етапі, шляхом термічної обробки, або вловлювання енергії/тепла, що виділяється під час утилізації відходів.

- R10. Re-mine – найменш бажаний з етапів поводження з відходами, який полягає в видобутку ресурсів після захоронення відходів. В основному це вибіркоче вилучення цінних та найбільш доступних матеріалів, проте може виступати альтернативою добуванню первинних ресурсів при високотехнологічному процесі добування, оскільки звалища виступають техногенними родовищами.

Впровадження принципів ієрархії 10R у систему управління відходами електричного та електронного обладнання дозволяє не тільки зменшити утворення потоків відходів протягом усього життєвого циклу обладнання та їх негативний вплив на здоров'я людини та навколишнє середовище, а ще й значно збільшити тривалість використання як самого обладнання, так і окремих його частин в складі цього ж обладнання.

В системі поводження з відходами існує не одна класифікація ВЕЕО, які визначаються різними параметрами. Так, наприклад, вже традиційна класифікація відходів електричного та електронного обладнання відповідно Директиві 2012/12/ЄС [1], виділяє 6 категорій ЕЕО (наведенні на початку статті), визначення яких обумовлено типологічними особливостями обладнання, такими як розмір і функціональний тип, для більш ефективного управління даними відходами. Проте дана класифікація зовсім не відображає екологічної небезпеки відходів.

Класифікація ВЕЕО в рамках Європейського Класифікатора Відходів [14, 15], виділяє 13 категорій ВЕЕО за джерелом (сферою) походження, присуджуючи кожному виду шестизначний код і розділяє відходи на дві категорії – небезпечні та безпечні. В категорію «небезпечні» віднесено 9 категорій відходів, такі як «16 02 11 Відпрацьоване обладнання, що містить хлорфторвуглеці, ГХФВ (гідро-хлорфторвуглеці), ГФВ (гідрофторвуглеці)», «20 01 35 Відпрацьоване електричне та електронне обладнання, що містить небезпечні компоненти». До категорії «безпечні» віднесено такі відходи, як «09 01 10 Одноразові камери батарей» та «20 01 36 Відпрацьоване електричне та електронне обладнання, крім згаданого в 20 01 21, 20 01 23 та 20 01 35».

Ця класифікація хоч й виділяє небезпечні та безпечні ВЕЕО, проте вона розподіляє її загально, оскільки призначається для адміністративних цілей оцінки об'ємів утворення відходів.

Наступна класифікація ВЕЕО відповідно Базельській конвенції про контроль за транскордонним переміщенням небезпечних відходів та їх видаленням [16], визначає дві основні категорії відходів, розділяючи їх на перелік А та В:

- «Небезпечні відходи» - A1180 відходи і брутх електричних та електронних вузлів, які містять такі компоненти як акумулятори/батарей, ртутні вимикачі, скло ЕПТ чи інше активоване скло і ПХД-вмісні конденсатори та/або компоненти, що забруднені, наприклад, такими речовинами як ртуть, кадмій, свинець, полібромовані біфініли в такій концентрації, що проявляють їх небезпечні властивості;

- «Інші відходи» - B1110 електричні та електронні агрегати, які не містять компонентів перерахованих у переліку А. Тобто це агрегати, які не містять небезпечних речовин в такій кількості, що проявляються їх небезпечні властивості, про те все одно володіють потенційно небезпечними властивостями для навколишнього середовища, або електричні та електронні агрегати, які придатні для повторного використання.

Дана класифікація ВЕЕО охоплює великий спектр обладнання, та сприяє регулюванню обробки небезпечних компонентів завдяки розділенню відходів через визначенні критерії на небезпечні та відносно безпечні компоненти, а також виділяє категорії обладнання, що можуть бути повторно використанні за своїм призначенням. Але в той самий час існує складність у визначенні рівня безпеки, який може ґрунтуватись на суб'єктивних твердженнях. Тоді як класифікація ВЕЕО за ознакою екологічної безпеки, розділяє відходи на категорії відповідно їх потенційного впливу на здоров'я людини та навколишнє середовище, визначає оптимальні методи поводження з кожною категорією відходів і є більш комплексною.

Висновки

Класифікація відходів електричного та електронного обладнання за ознакою екологічної безпеки може стати важливим елементом в системі управління відходами. На відмінну від інших класифікацій, які диференціюють обладнання за структурно-функціональними параметрами чи за джерелом походження, запропонована класифікація окрім урахування фізичних особливостей, враховує їх потенційну небезпеку для здоров'я людини та навколишнього середовища та пропонує оптимальні методи поводження з відходами відповідно їх категорії. Вона базується на принципах кругової економіки – системи, що спрямована на збереження ресурсів та мінімізацію утворення відходів протягом усього життєвого циклу обладнання.

Впровадження класифікації відходів електричного та електронного обладнання за ознакою екологічної безпеки може сприяти побудові ефективної системи управління відходами, яка забезпечуватиме раціональне використання природних ресурсів завдяки можливості продовження терміну експлуатації обладнання, що зменшує потреби в видобутку первинних ресурсів, та ефективних методів поводження з відходами для запобігання чи зниження негативного впливу на здоров'я людини та навколишнього середовища.

Література

1. Directive 2012/19/EU of the European Parliament and of the Council of 4 July 2012 on waste electrical and electronic equipment (WEEE) (recast) Text with EEA relevance. EUR-Lex – Access to European Union law. URL: <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/ALL/?uri=celex:32012L0019>.
2. Про схвалення Національної стратегії управління відходами в Україні до 2030 року. Офіційний вебпортал парламенту України. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/820-2017-p#Text>.
3. Gupta S., Modi G., Saini R., Agarwala V. et al. A review on various electronic waste recycling techniques and hazards due to its improper handling. International Refereed Journal of Engineering and Science (IRJES). 2024. Vol. V.3. P. 5–17.
URL: https://www.researchgate.net/publication/299290452_A_review_on_various_electronic_waste_recycling_techniques_and_hazards_due_to_its_improper_handling#fullTextFileContent.
4. Pont A., Robles A., Gil J. A. e-WASTE: Everything an ICT Scientist and Developer Should Know. IEEE Access. 2019. Vol. 7. P. 169614–169635. <https://doi.org/10.1109/access.2019.2955008>.
5. Cornelis P. Baldé, Ruediger Kuehr, Tales Yamamoto, Rosie McDonald, Elena D'Angelo, Shahana Althaf, Garam Bel, Otmar Deubzer, Elena Fernandez-Cubillo, Vanessa Forti, Vanessa Gray, Sunil Herat, Shunichi Honda, Giulia Iattoni, Deepali S. Khetriwal, Vittoria Luda di Cortemiglia, Yuliya Lobuntsova, Innocent Nnorom, Noémie Pralat, Michelle Wagner (2024). International Telecommunication Union (ITU) and United Nations Institute for Training and Research (UNITAR). 2024. Global E-waste Monitor 2024. Geneva/Bonn. URL: https://ewastemonitor.info/wp-content/uploads/2024/03/GEM_2024_18-03_web_page_per_page_web.pdf.
6. Global e-waste generation 2010-2022 | Statista. Statista. URL: <https://www.statista.com/statistics/499891/projection-ewaste-generation-worldwide/#:~:text=E-waste%20generation%20worldwide%20has,million%20metric%20tons%20by%202030>.
7. Forti V., Baldé C.P., Kuehr R., Bel G. The Global E-waste Monitor 2020: Quantities, flows and the circular economy potential. United Nations University (UNU)/United Nations Institute for Training and Research (UNITAR) – co-hosted SCYCLE Programme, International Telecommunication Union (ITU) & International Solid Waste Association (ISWA), Bonn/Geneva/Rotterdam. URL: https://ewastemonitor.info/wp-content/uploads/2020/11/GEM_2020_def_july1_low.pdf.
8. A New Circular Vision for Electronics, Time for a Global Reboot. URL: https://www3.weforum.org/docs/WEF_A_New_Circular_Vision_for_Electronics.pdf.
9. C.P. Baldé, G. Iattoni, V. Luda, I.C Nnorom, O. Pecheniuk, R. Kuehr, Regional E-waste Monitor for the CIS + Georgia – 2021, 2021, United Nations University (UNU) / United Nations Institute for Training and Research (UNITAR) – co-hosting the SCYCLE Programme, Bonn, Germany. URL: http://ukrecoalliance.com.ua/wp-content/uploads/2021/12/REM_2021_CISGEORGIA_WEB_final_nov_11_spreads.pdf.
10. E-Waste Recycling and Resource Recovery: A Review on Technologies, Barriers and Enablers with a Focus on Oceania / J. Van Yken et al. *Metals*. 2021. Vol. 11, no. 8. P. 1313. URL: <https://doi.org/10.3390/met11081313>.
11. The Growing Environmental Risks of E-Waste. Geneva Environment Network. URL: <https://www.genevaenvironmentnetwork.org/resources/updates/the-growing-environmental-risks-of-e-waste/>
12. Digital Remanufacturing – REMADE Institute. REMADE Institute – The Circular Economy Institute. URL: <https://remadeinstitute.org/technology/major-initiatives/digital-remanufacturing/>
13. Reike D., Vermeulen W. J. V., Witjes S. The circular economy: New or Refurbished as CE 3.0? – Exploring Controversies in the Conceptualization of the Circular Economy through a Focus on History and Resource Value Retention Options. Resources, Conservation and Recycling. 2018. Vol. 135. P. 246–264. URL: <https://doi.org/10.1016/j.resconrec.2017.08.027>.
14. Forti V., Baldé C.P., Kuehr R. (2018). E-waste Statistics: Guidelines on Classifications, Reporting and Indicators, second edition. United Nations University, ViE – SCYCLE, Bonn, Germany. URL: https://www.itu.int/en/ITU-D/Climate-Change/Documents/2018/EWaste_Guidelines_final.pdf.
15. Guidance on classification of waste according to EWC-Stat categories. Eurostat. URL: <https://ec.europa.eu/eurostat/documents/342366/351806/Guidance-on-EWCStat-categories-2010.pdf/0e7cd3fc-c05c-47a7-818f-1c2421e55604>.
16. Базельська конвенція про контроль за транскордонним перевезенням небезпечних відходів та їх видаленням: Конвенція Орг. Об'єдн. Націй від 22.03.1989 р.: станом на 1 лип. 1999 р. URL: https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/995_022#Text.

References

1. Directive 2012/19/EU of the European Parliament and of the Council of 4 July 2012 on waste electrical and electronic equipment (WEEE) (recast) Text with EEA relevance. EUR-Lex – Access to European Union law. URL: <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/ALL/?uri=celex:32012L0019>.
2. Про схвалення Національної стратегії управління відходами в Україні до 2030 року. Офіційний вебпортал парламенту України. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/820-2017-p#Text>.
3. Gupta S., Modi G., Saini R., Agarwala V. et al. A review on various electronic waste recycling techniques and hazards due to its improper handling. International Refereed Journal of Engineering and Science (IRJES). 2024. Vol. V.3. P. 5–17.
URL: https://www.researchgate.net/publication/299290452_A_review_on_various_electronic_waste_recycling_techniques_and_hazar

ds_due_to_its_improper_handling#fullTextFileContent.

4. Pont A., Robles A., Gil J. A. e-WASTE: Everything an ICT Scientist and Developer Should Know. IEEE Access. 2019. Vol. 7. P. 169614–169635. <https://doi.org/10.1109/access.2019.2955008>.
5. Cornelis P. Baldé, Ruediger Kuehr, Tales Yamamoto, Rosie McDonald, Elena D'Angelo, Shahana Althaf, Garam Bel, Otmar Deubzer, Elena Fernandez-Cubillo, Vanessa Forti, Vanessa Gray, Sunil Herat, Shunichi Honda, Giulia Iattoni, Deepali S. Khetriwal, Vittoria Luda di Cortemiglia, Yuliya Lobuntsova, Innocent Nnorom, Noémie Pralat, Michelle Wagner (2024). International Telecommunication Union (ITU) and United Nations Institute for Training and Research (UNITAR). 2024. Global E-waste Monitor 2024. Geneva/Bonn. URL: https://ewastemonitor.info/wp-content/uploads/2024/03/GEM_2024_18-03_web_page_per_page_web.pdf.
6. Global e-waste generation 2010-2022 | Statista. Statista. URL: <https://www.statista.com/statistics/499891/projection-ewaste-generation-worldwide/#:~:text=E-waste%20generation%20worldwide%20has,million%20metric%20tons%20by%202030>.
7. Forti V., Baldé C.P., Kuehr R., Bel G. The Global E-waste Monitor 2020: Quantities, flows and the circular economy potential. United Nations University (UNU)/United Nations Institute for Training and Research (UNITAR) – co-hosted SCYCLE Programme, International Telecommunication Union (ITU) & International Solid Waste Association (ISWA), Bonn/Geneva/Rotterdam. URL: https://ewastemonitor.info/wp-content/uploads/2020/11/GEM_2020_def_july1_low.pdf.
8. A New Circular Vision for Electronics, Time for a Global Reboot. URL: https://www.weforum.org/docs/WEF_A_New_Circular_Vision_for_Electronics.pdf.
9. C.P. Baldé, G. Iattoni, V. Luda, I.C Nnorom, O. Pecheniuk, R. Kuehr, Regional E-waste Monitor for the CIS + Georgia – 2021, 2021, United Nations University (UNU) / United Nations Institute for Training and Research (UNITAR) – co-hosting the SCYCLE Programme, Bonn, Germany. URL: http://ukrecoalliance.com.ua/wp-content/uploads/2021/12/REM_2021_CISGEORGIA_WEB_final_nov_11_spreads.pdf.
10. E-Waste Recycling and Resource Recovery: A Review on Technologies, Barriers and Enablers with a Focus on Oceania / J. Van Yken et al. *Metals*. 2021. Vol. 11, no. 8. P. 1313. URL: <https://doi.org/10.3390/met11081313>.
11. The Growing Environmental Risks of E-Waste. Geneva Environment Network. URL: <https://www.genevaenvironmentnetwork.org/resources/updates/the-growing-environmental-risks-of-e-waste/>
12. Digital Remanufacturing – REMADE Institute. REMADE Institute – The Circular Economy Institute. URL: <https://remadeinstitute.org/technology/major-initiatives/digital-remanufacturing/>
13. Reike D., Vermeulen W. J. V., Witjes S. The circular economy: New or Refurbished as CE 3.0? – Exploring Controversies in the Conceptualization of the Circular Economy through a Focus on History and Resource Value Retention Options. *Resources, Conservation and Recycling*. 2018. Vol. 135. P. 246–264. URL: <https://doi.org/10.1016/j.resconrec.2017.08.027>.
14. Forti V., Baldé C.P., Kuehr R. (2018). E-waste Statistics: Guidelines on Classifications, Reporting and Indicators, second edition. United Nations University, ViE – SCYCLE, Bonn, Germany. URL: https://www.itu.int/en/ITU-D/Climate-Change/Documents/2018/EWaste_Guidelines_final.pdf.
15. Guidance on classification of waste according to EWC-Stat categories. Eurostat. URL: <https://ec.europa.eu/eurostat/documents/342366/351806/Guidance-on-EWCStat-categories-2010.pdf/0e7cd3fc-c05c-47a7-818f-1c2421e55604>.
16. Bazelska konvetsiia pro kontrol za transkordonnym perevezenniam nebezpechnykh vidkhodiv ta yikh vydalenniam : Konvetsiia Orh. Obiedn. Natsii vid 22.03.1989 r. : stanom na 1 lyp. 1999 r. URL: https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/995_022#Text.