

КОМП'ЮТЕРНА ТЕХНІКА ЯК ДЖЕРЕЛО ЕЛЕКТРОННИХ ВІДХОДІВ: ЕКОЛОГІЧНІ РИЗИКИ ТА МОДЕЛІ УПРАВЛІННЯ В МІЖНАРОДНІЙ І НАЦІОНАЛЬНІЙ ПРАКТИЦІ

Пітак І.В., Калашник Т.В., Соболев С.А., Самойленко Н.М., Шестопапов О.В.

Національний технічний університет «Харківський політехнічний інститут»

вул. Кирпичова, 2, 61002, м. Харків

taras.kalashnyk@mit.khpi.edu.ua, inna.pitak@khpi.edu.ua

У статті досліджено проблему управління відходами комп'ютерної техніки в Україні в контексті сучасних викликів цифровізації, екологічної безпеки та євроінтеграції. Визначено основні причини зростання обсягів електронних відходів, серед яких – скорочення життєвого циклу комп'ютерних пристроїв, заплановане старіння, технологічна гонитва та активне оновлення апаратного й програмного забезпечення. Особливу увагу надано аналізу ситуації в Україні, де домінує імпорт вживаної техніки з коротким залишковим ресурсом, що зумовлює стрімке накопичення електронного сміття без належної системи його переробки.

Розглянуто міжнародні практики менеджменту електронних відходів в країнах ЄС, США та Японії, зокрема впровадження моделей «trade-in», «refurbishment» та принципів циркулярної економіки. На основі порівняльного аналізу підкреслено успішність інтеграції концепції розширеної відповідальності виробника (РВВ) у розвинених державах, що дозволяє ефективно управляти відходами комп'ютерної техніки, зменшуючи екологічне навантаження та сприяючи повторному використанню ресурсів.

Водночас в Україні виявлено відсутність системного підходу до відновлення відпрацьованої комп'ютерної техніки, обмеженість інфраструктури, низьку екологічну свідомість населення та неефективне нормативно-правове регулювання. Стаття аргументує доцільність впровадження європейських підходів до управління відходами електричного та електронного обладнання (ВЕЕО), зокрема адаптації Директиви 2012/19/ЄС, розвитку національної системи збору та переробки техніки, створення економічних стимулів для бізнесу та споживачів.

Авторами досліджені концепції поетапного переходу до циркулярної економіки в IT-секторі України, яка враховує соціально-економічні реалії, потенціал повторного використання техніки та потребу у зниженні екологічного навантаження у поствоєнний період. Отримані результати мають практичне значення для формування ефективної національної політики в сфері екологізації цифровізації, розробки законодавчих ініціатив і програм стимулювання утилізації електронних відходів. *Ключові слова:* електронні відходи, комп'ютерна техніка, циркулярна економіка, розширена відповідальність виробника, рециклінг, екологічні ризики, екологічна безпека.

Computer equipment as a source of electronic waste: environmental risks and management models in international and national practice. Pitak I., Kalashnyk T., Sobolev S., Samoilenko N., Shestopalov O.

The accelerated growth in the use of computer equipment, its premature obsolescence, and rapid technological turnover have led to the accumulation of significant volumes of electronic waste, particularly obsolete computers, laptops, monitors, and peripheral devices. This issue has become a global environmental challenge due to hazardous substances such as lead, mercury, and cadmium in electronic components. Improper disposal practices exacerbate the risks of soil, air, and water contamination, posing threats to ecosystems and human health.

In Ukraine, the problem is particularly pressing due to the high import rates of used computer equipment, driven by the population's low purchasing power. While this phenomenon contributes to digitalisation and improves access to information technology, it also accelerates the generation of e-waste. Due to the lack of a national system for sorting and recycling waste electrical and electronic equipment (WEEE), much of this waste is either stored unsafely or discarded with municipal solid waste, exacerbating environmental hazards.

Unlike EU countries and the United States, where Extended Producer Responsibility (EPR), eco-design, and circular economy principles are well established, Ukraine remains at the initial stages of developing a systematic e-waste management framework. This paper analyses international strategies, including trade-in programmes, refurbishment, and recycling models implemented by leading global manufacturers such as Apple, Dell, HP, Lenovo, and Microsoft. Particular attention is paid to the feasibility of adapting these models to the Ukrainian context in line with European integration goals.

The study demonstrates that comprehensive e-waste management contributes to environmental sustainability and creates economic opportunities by recovering secondary raw materials such as precious metals and high-grade plastics. The research advocates developing a national strategy aligned with EU Directive 2012/19/EU, promoting sustainable digital transformation and environmental modernisation in the post-war recovery period. *Key words:* electronic waste, computer equipment, circular economy, extended producer responsibility, recycling, environmental risks, environmental safety.

Постановка проблеми. Стрімкий розвиток цифрових технологій, інтенсифікація обміну електронними пристроями та скорочення життєвого циклу комп'ютерної техніки спричинили значне зростання

обсягів електронних відходів. За даними досліджень, середній термін служби ноутбуків і стаціонарних комп'ютерів у світі скоротився з 6–8 років у 2000-х до 3–5 років у 2020-х роках, що свідчить

про системне технологічне оновлення та ефект запланованого старіння [1].

Комп'ютерна техніка, яка містить низку токсичних компонентів – свинець, кадмій, ртуть, бромовані антипірени – у разі неправильного зберігання та утилізації становить загрозу довкіллю та здоров'ю людини. Проблема поглиблюється в країнах із низьким рівнем купівельної спроможності, зокрема в Україні, де споживання техніки базується переважно на імпорті вживаних пристроїв з коротким залишковим ресурсом.

Станом на сьогодні, в Україні немає дієвої інфраструктури для сортування та утилізації відходів електронного та електричного обладнання (БЕЕО). Значна частина відпрацьованої техніки потрапляє на полігони твердих побутових відходів (ТПВ), де забруднює ґрунти та водні ресурси через вивільнення небезпечних речовин [2]. Водночас, за відсутності системи розширеної відповідальності виробника, громадяни та підприємства не мають чітких механізмів утилізації та стимулів до відповідального споживання.

На противагу, в країнах ЄС, США та Японії діють ефективні національні політики, що базуються на принципах циркулярної економіки: екодизайні, модульності пристроїв, ремонтпридатності та механізмах повторного використання техніки через програми «refurbishment» і «trade-in». Впровадження подібних підходів в українських реаліях є актуальним не лише з погляду екологічної безпеки, а й в контексті післявоєнної відбудови та гармонізації законодавства з нормами ЄС [1, 3].

Таким чином, актуальність дослідження зумовлена потребою у розробці дієвих національних рішень щодо поводження з відходами комп'ютерної техніки в умовах соціально-економічної вразливості, з огляду на успішний міжнародний досвід та виклики цифрової трансформації.

Актуальність дослідження. Проблема накопичення відходів комп'ютерної техніки стає критичною для України у контексті післявоєнної відбудови та євроінтеграції. Стійкий економічний розвиток неможливий без належного управління електронними відходами, які містять токсичні компоненти й становлять загрозу довкіллю.

Особливістю українського ринку є масовий імпорт вживаної техніки з ЄС та США. Це робить цифрові технології доступнішими, але водночас спричиняє швидке накопичення електронних відходів. Через відсутність ефективної системи збору та переробки, значна частина відходів потрапляє на полігони ТПВ або стихійні звалища, що призводить до забруднення довкілля.

У рамках євроінтеграції Україна має адаптуватися до Директиви 2012/19/ЄС [3], яка зобов'язує виробників відповідати за збір та утилізацію техніки. Впровадження найкращих міжнародних практик і принципів циркулярної економіки дозволить

зменшити екологічне навантаження та створити нові економічні можливості.

Дослідження цієї проблеми є важливим для розробки ефективної національної стратегії, що сприятиме екологізації та цифровізації України відповідно до європейських стандартів.

Зв'язок авторського доробку із важливими науковими та практичними завданнями. Авторський доробок цієї роботи тісно пов'язаний із актуальними завданнями у сфері управління відходами комп'ютерної техніки. Дослідження спрямоване на аналіз накопичення електронних відходів, зокрема морально застарілих комп'ютерів та периферійних пристроїв, а також на оцінку ефективності існуючих стратегій їх переробки.

Окрему увагу приділено порівнянню міжнародних та національних підходів до менеджменту електронних відходів. Це дослідження сприяє розробці ефективних стратегій управління відходами в Україні з урахуванням досвіду ЄС та США.

Результати роботи є особливо важливими в контексті євроінтеграції та післявоєнного відновлення країни, коли формування ефективної системи управління електронними відходами є критичним для екологічної безпеки та сталого розвитку.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Аналіз досліджень [4] свідчить, що стрімкий технологічний прогрес, заплановане старіння та часте оновлення апаратного забезпечення сприяють скороченню життєвого циклу пристроїв, у результаті чого значна частина ще працездатної техніки перетворюється на відходи.

У країнах із низькою купівельною спроможністю, зокрема в Україні, ситуація ускладнюється імпортом вживаної техніки, яка має обмежений залишковий ресурс. Це пришвидшує її перетворення на електронні відходи, що, за відсутності ефективної системи переробки, створює суттєве екологічне навантаження [5].

В роботах [5, 6], як окрему загрозу розглядається вміст токсичних елементів у комп'ютерних компонентах (свинець, кадмій, ртуть), які, за відсутності належного рециклігу, потрапляють у довкілля, забруднюючи ґрунти та водні ресурси. У відповідності з цим є доцільним впровадження принципів циркулярної економіки у сфері електронних відходів. Повторне використання, ремонт та модернізація техніки є ефективними стратегіями зниження обсягів відходів. У роботі [7] відмічається успішність впровадження практики «trade-in», що функціонує у багатьох країнах, дозволяє продовжити життєвий цикл техніки, сприяючи формуванню екологічної свідомості споживачів і зменшенню навантаження на полігони ТПВ.

Загалом, аналіз сучасних досліджень свідчить про необхідність комплексного підходу до управління електронними відходами, що поєднує регуляторні, технічні та поведінкові механізми сталого споживання.

Виділення невирішених раніше частин загальної проблеми, яким стаття призначена. Стаття аналізує проблему управління відходами комп'ютерної техніки в Україні у контексті євроінтеграції та впровадження принципів циркулярної економіки. Особливу увагу приділено адаптації міжнародного досвіду, зокрема системи «trade-in», як механізму продовження життєвого циклу техніки та зменшення екологічного навантаження. Дослідження спрямоване на аналіз концепцій комплексного підходу до відновлення електронних відходів, що відповідає сучасним екологічним викликам та економічним реаліям України.

Новизна. Дане дослідження є аналітичним і зосереджується на порівняльному аналізі світових підходів до управління відходами комп'ютерної техніки, зокрема в країнах ЄС, США та Японії. У роботі вперше здійснено комплексне дослідження можливостей адаптації цих моделей до українських реалій з урахуванням економічних, соціальних та екологічних факторів. Особливу увагу приділено впровадженню концепції циркулярної економіки та використанню механізму «trade-in» як способу продовження життєвого циклу комп'ютерної техніки. Запропонований підхід сприятиме зменшенню екологічного навантаження та формуванню сталих моделей управління електронними відходами в Україні.

Методологічне або загальнонаукове значення. Дослідження ґрунтується на методах порівняльного аналізу, систематизації нормативно-правової бази, аналізу політик управління електронними відходами в Україні та провідних країнах світу. Застосовано елементи контент-аналізу стратегій сталого роз-

витку ІТ-компаній та принципів циркулярної економіки. Використано офіційні статистичні джерела для оцінки обсягів імпорту техніки та динаміки накопичення відходів. Методологія дозволяє виявити бар'єри та потенціал для впровадження ефективних екологічних рішень у національну практику.

Викладення основного матеріалу. У світі активно впроваджуються різноманітні моделі управління відходами комп'ютерної техніки, що ґрунтуються на принципах циркулярної економіки, концепції розширеної відповідальності виробника, а також повторного використання (англ. reuse). Провідні країни демонструють комплексний підхід до цього питання, інтегруючи законодавчі механізми, інфраструктурні рішення та інформаційно-просвітницькі кампанії. Порівняльний аналіз міжнародних практик свідчить про високий рівень інтеграції моделей сталого управління відходами комп'ютерної техніки в таких країнах, як Німеччина, Швеція, Японія та США.

Відновлення відходів комп'ютерної техніки є важливою складовою екологічної безпеки та сталого розвитку. У світі існують різні стратегії управління електронними відходами, серед яких найпоширенішими є перепродаж, система «trade-in», рециклінг в спеціалізованих пунктах прийому, а також рециклінг разом із побутовими відходами.

Аналіз даних демонструє, що в Україні переважає неформальна практика перепродажу техніки, якщо вона зберігає працездатність, або ж переробка разом з побутовими відходами у разі її повного морального або технічного зносу. Це є наслідком як низького рівня екологічної свідомості населення, так і відсутності розгалуженої інфраструктури з пере-

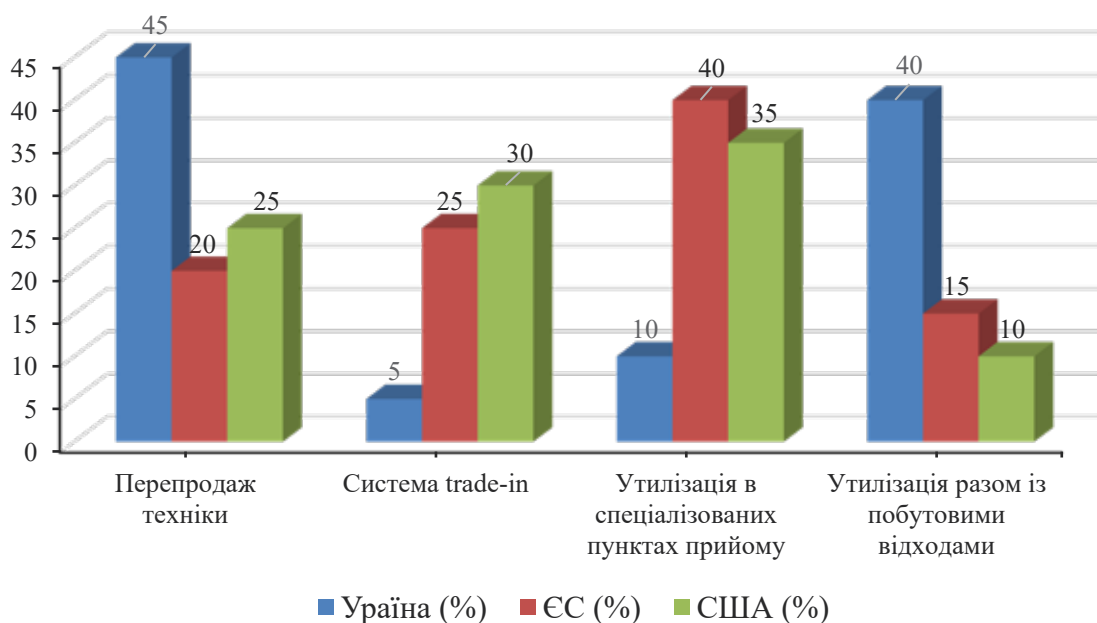


Рис. 1. Порівняльна характеристика стратегій рециклінгу комп'ютерної техніки [8]

робки електроніки та ефективної законодавчої бази. Водночас у ЄС і США набагато частіше застосовуються такі екологічно безпечні практики, як повернення техніки через «trade-in» або рециклінг у спеціалізованих центрах, що забезпечується системою РВВ та державною підтримкою.

Комплексний аналіз підходів щодо управління електронними відходами у розвинених країнах свідчить про ефективне функціонування механізмів повторного використання та продовження життєвого циклу техніки. Це особливо виразно видно у прикладах компаній «AfB social & green IT» у Німеччині, що займається відновленням техніки та водночас створює інклюзивні умови праці у Швеції, яка функціонує як центр «refurbishment», забезпечуючи повторне повернення техніки до економічного обігу з доданою екологічною вартістю [9].

У США, попри відсутність єдиного федерального законодавства щодо РВВ, існує низка регіональних ініціатив. Агентство з охорони довкілля США (Environmental Protection Agency, EPA) координує добровільні програми зі збору та переробки електронної техніки, зокрема через сертифіковані програми Sustainable Materials Management [10]. Японія, своєю чергою, має розвинену законодавчу базу та інфраструктуру щодо переробки ВЕЕО, зокрема завдяки діяльності компанії «Eco-system Japan Co., Ltd.», яка впроваджує високотехнологічні процеси екологічно безпечної утилізації [11].

На цьому тлі ситуація в Україні характеризується відсутністю ефективної системи управління відходами електронного та електричного обладнання. Попри прийняття у 2022 році Закону України «Про управління відходами» [12] практична імплементація його положень залишається на початковій стадії. Важливим кроком у вирішенні цього питання є створення проекту закону України «Про електричне та електронне обладнання та відходи електричного та електронного обладнання», який виключає елементи розширеної відповідальності виробників [14]. Недостатня інфраструктура, відсутність спеціалізо-

ваних центрів з переробки, а також низький рівень обізнаності населення обмежують можливості збирання й рециклінгу.

Серед чинників, що посилюють проблему, є зростання імпорту вживаної комп'ютерної техніки. За даними міжнародної аналітики, у 2022 році обсяг імпорту інформаційно-комунікаційних технологій (ІКТ) в Україну становив близько 2,6 млрд доларів США [13]. Така техніка має обмежений залишковий ресурс, що призводить до її швидкого перетворення у відходи. Водночас високий темп морального старіння електроніки спричиняє накопичення непридатних до використання пристроїв, навіть якщо вони технічно справні. Це створює додаткове навантаження на екосистему та ускладнює впровадження принципів сталого управління.

В Україні програми «trade-in», що дозволяють споживачам обмінювати стару техніку на нову зі знижкою, поки що не мають широкого розповсюдження. Їх пропонують лише окремі ритейлери, такі як COMFY, MOYO, Цитрус, однак географія охоплення та технічні умови участі суттєво обмежені (табл. 1). Це знижує мотивацію користувачів до рециклінгу непридатних пристроїв належним чином.

З метою покращення ситуації в Україні варто розглядати адаптацію ефективних міжнародних практик з урахуванням локального контексту. Наприклад, активне впровадження «trade-in» у Німеччині дозволило суттєво зменшити обсяги електронних відходів. У Швеції функціонування незалежних сервісних центрів зі спеціалізацією на «refurbishment» не тільки сприяє продовженню життєвого циклу пристроїв, а й забезпечує зайнятість. В Японії система РВВ зобов'язує виробників відповідати за збір та утилізацію власної продукції. У США регіональні ініціативи та фінансові стимули сприяють участі громад у процесах рециклінгу (табл. 2).

З огляду на поточний соціально-економічний і воєнний стан, адаптація міжнародного досвіду має враховувати обмежені ресурси та особливості української правової системи. Водночас, євроінте-

Таблиця 1

Порівняльний аналіз підходів до управління відходами комп'ютерної техніки в Україні та розвинених країнах

Параметр	Розвинені країни (напр. Німеччина, Швеція)	Україна
Наявність законодавства	Дієве законодавство щодо ВЕЕО	Закон ухвалено, але реалізація залишається обмеженою
Інфраструктура	Розвинена мережа збору та переробки	Обмежена кількість пунктів прийому
Програми «trade-in»	Широко поширені серед ритейлерів	Часткове впровадження окремими компаніями
Імпорт вживаної техніки	Низький рівень	Високий обсяг через низьку купівельну спроможність
Обсяги електронних відходів	Контрольовані	Зростаючі через відсутність комплексного управління

Таблиця 2

Порівняння міжнародного досвіду та можливостей його адаптації в Україні

Країна	Ініціатива	Можливості адаптації в Україні	Виклики адаптації
Німеччина	Програми «trade-in»	Зменшення відходів, мотивація до обміну старої техніки	Відсутність мережі, низька обізнаність споживачів
Швеція	Сервісні центри з «refurbishment»	Нові робочі місця, зменшення обсягів електронного сміття	Потреба в інвестиціях, кваліфікованому персоналі
Японія	Система розширеної відповідальності	Виробники відповідають за утилізацію своєї продукції	Відсутність правового регулювання
США	Локальні ініціативи зі збору	Активізація місцевих громад, освітні програми	Недостатнє фінансування, потреба у держпідтримці

граційні прагнення створюють потужний стимул для модернізації підходів до поводження з електронними відходами. Реалізація комплексних програм «trade-in», створення сервісних центрів для відновлення техніки, законодавче закріплення принципу RBV та підтримка місцевих ініціатив є потенційними шляхами до сталого розвитку в цій сфері.

Актуальність проблеми управління відходами комп'ютерної техніки в Україні зумовлена не лише екологічними, а й економічними факторами. Відсутність ефективних механізмів сортування та рециклінгу призводить до потрапляння небезпечних електронних компонентів на полігони ТПВ. Це загрожує вивільненням токсичних речовин, таких як свинець, ртуть, кадмій, бромовані антипірени, що є серйозною загрозою для здоров'я населення і навколишнього середовища.

Окрім екологічної шкоди, безконтрольне захоплення техніки веде до втрати цінної вторинної сировини – золота, срібла, паладію, рідкоземельних металів. Ігнорування потенціалу рециклінгу та повторного використання компонентів суперечить принципам циркулярної економіки та знижує ресурсну ефективність економіки. У нашій країні недостатньо відповідних систем та технологій рециклінгу електронних відходів, що призводить до неправильного зберігання або вивезення відходів. Узагальнено відновлення електронних відходів включає декілька ключових етапів, від збору до остаточного відновлення (рециклінгу) (рис. 2) з урахуванням розширеної відповідальності виробника.

Етапи безпечного відновлення електронних відходів можливо охарактеризувати наступними основними операціями та аспектами, що потребують впровадження та удосконалення.

1. Збір та транспортування. Електронні відходи збираються через муніципальні пункти збору, спеціалізовані магазини або через програми зворотної логістики від виробників. Відходи транспортуються до об'єктів, де вони будуть далі перероблені. Перспективним є створення мережі переробки електронних відходів, що базується на Інтернеті речей. Виробники, відповідно до концепції розширеної від-

повідальності повинні брати участь у налагодженні мережі збору та транспортування електронних відходів до переробників.

2. Сортування та розбирання. Перший етап включає ручне сортування відходів на категорії та видалення небезпечних компонентів відходів, які ще мають ресурс доцільності їх застосування у іншій придатній для експлуатації продукції (наприклад, робочі деталі), а також компонентів електронних відходів, з яких можливо у процесі рециклінгу вилучити ресурсоцінні матеріали (метали, пластмаси, скло та ін.).

3. Рециклінг цінних матеріалів, придатних до вторинного використання. Удосконалення і застосування класичних технологій та методів, таких як піроліз, електролітичне та хімічне відновлення металів дозволяє отримати з відходів цінні метали (золото, паладій, літій, індій, олово, срібло, мідь та ін.). Інноваційні методи рециклінгу відходів дозволяють підвищити екологічність процесів та повноту вилучення корисних складових. Пропонується використання нанотехнологій, біометалургії та біологічного вилугування, надкритичних рідин, криогенного підходу до поділу матеріалів та ін.

Пластикові компоненти відходів подрібнюються та переробляються на гранули, які використовуються для виготовлення нових пластмасових виробів.

4. Знешкодження та детоксикація. Небезпечні або токсичні матеріали, які не можуть бути перероблені, повинні бути знешкоджені згідно з екологічними вимогами, які унеможливають вторинне забруднення довкілля. Водночас деякі неklasифіковані відходи, що містять органічні компоненти та які технічно неможливо відновити, доцільно використати як джерело енергії, використовуючи термічні методи перероблення відходів з отриманням тепла.

5. Подальше корисне використання компонентів відходів. Багаторазові компоненти можуть бути відремонтовані чи відновлені для подальшого використання. Можливість подальшої переробки або вторинного використання робочих деталей повинна бути закладена під час виробництва електронної продукції та підбору матеріалів, наприклад, плас-

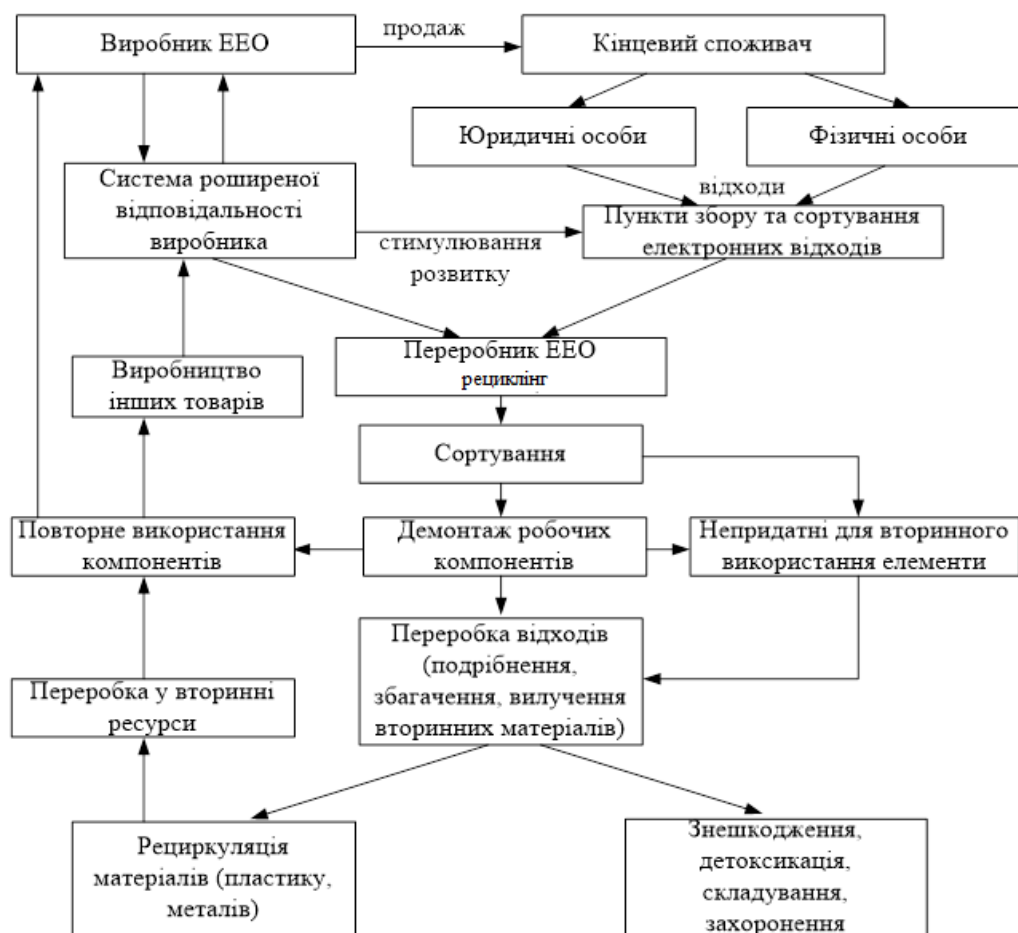


Рис. 2. Варіант схеми управління електронними відходами

тику для корпусів, який можливо вторинно використовувати після переробки. Відновлені матеріали використовуються у виробництві нових продуктів, завершуючи цикл виробництва.

6. Створення системи та культури розширеної відповідальності виробника. Виробники електронної продукції повинні аналізувати та оцінювати важливі технічні, економічні та екологічні аспекти відновлення відходів, а саме: технології рециклінгу (зеленого дизайну), можливість відновлення частин конструкції з цілю подальшого життєвого циклу, застосування екологічних матеріалів та ін. Необхідно, щоб їх діяльність сприяла створенню налагодженої системи збору електронних відходів та розвитку технологій відновлення, а також мала зворотній зв'язок з переробниками відходів щодо актуальних питань відновлення відходів, які важко піддаються рециклінгу та ін.

Зниження екологічних ризиків можливе за умови системного підходу: розбудови національної інфраструктури зі збору та відновлення відходів, подальшого розвитку нормативно-правової бази управління відходами; розробки та впровадження інноваційних технологій рециклінгу; впровадження інструментів

економічного стимулювання споживачів; активного залучення виробників до підвищення ефективності відновлення відходів та запровадження дієвої системи їх розширеної відповідальності. У сукупності ці заходи сприятимуть формуванню сталої моделі управління електронними відходами в Україні, що відповідає сучасним викликам та екологічним стандартам ЄС, а також використанню ресурсної бази відходів у циркулярній економіці.

Головні висновки. Проблема накопичення відходів комп'ютерної техніки в Україні набуває критичного характеру в умовах цифровізації, економічного відновлення та євроінтеграції. Система державного управління відходами в Україні потребує впровадження комплексної національної стратегії управління відходами комп'ютерної техніки, яка базується на принципах циркулярної економіки. Зокрема важливою у цій сфері є реалізація діяльності щодо відновлення, ремонту, модернізації, екодизайну та розширеної відповідальності виробника продукції. Окрему увагу доцільно приділяти адаптації міжнародних практик, зокрема моделі «trade-in», до українських реалій.

Попри прикладний характер, дослідження має низку обмежень – зокрема, щодо регіонального охо-

плення, масиву емпіричних даних та недостатньої кількості глибоких економічних розрахунків. Це визначає необхідність подальших міждисциплінарних досліджень на поєднанні екологічної політики, економіки, права та соціології, з особливою увагою до реальної спроможності споживачів і представників бізнесу долучатися до процесів відповідального виробництва, споживання та відновлення відходів.

Перспективи використання результатів дослідження. Запропонована концепція може бути прийнята до уваги при формуванні ефективної державної політики у сфері електронних відходів, а також сприяти розвитку інфраструктури їх відновлення, зниженню екологічного навантаження та формуванню високотехнологічного вторинного ринку в Україні.

Література

1. R. Kahhat, J. Kim, M. Xu, B. Allenby, E. Williams, P. Zhang. Exploring e-waste management systems in the United States. *Resources, Conservation and Recycling*. 2008. Vol. 52, No. 7. P. 955–964.
2. Цигульова О. М., Виговська Г. П., Повякель Л. І., Сноз С. В., Шуміло О. М. Сучасний стан політики поводження з електронними відходами в Україні та Європейському Союзі: кроки до зближення : аналітичний огляд. Київ : ВЕГО «МАМА-86», 2013. 172 с.
3. Директива Європейського Парламенту і Ради 2012/19/ЄС від 4 липня 2012 року про відходи електричного та електронного обладнання (БЕЕО). Редакція від 04.07.2018. URL: https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/984_030-12#Text (дата звернення: 15.04.2025).
4. M. Jain, D. Kumar, J. Chaudhary, S. Kumar, S. Sharma, A. Verma. Review on E-waste management and its impact on the environment and society. *Waste Management Bulletin*. 2023. Vol. 1, No. 3. P. 34–44.
5. F. G. Abdulkadhim, I. A. Neamah. Utilize Software Engineering to Develop Statistical Estimation Software Strategy. *International Journal of Advanced Research in Computer Science and Software Engineering*. 2014. Vol. 4, No. 10. P. 76–78.
6. Bhattarai, R. L. Gardas, S. N. Yadav, S. K. Chatterjee, R. K. Dev. Recovery of Rare Earth Elements (REEs) from Different Sources of E-waste and Their Potential Applications: A Critical Review. Distributed under a Creative Commons CC BY license. URL: <https://www.preprints.org/> (дата звернення: 15.04.2025).
7. Bezus A. M., Shevchun M. B., Bezus P. I. Prospects for innovative retail development. *Ekonomika ta derzhava*. 2019. No. 5. P. 24–28.
8. Відходи. Держстат. URL: <https://stat.gov.ua/uk/datasets/vidkhody> (дата звернення: 16.04.2025).
9. Vi tar hand om era gamla datorer, mobiler och IT-produkter. Remadeinsweden. URL: <https://www.remadeinsweden.se/> (дата звернення: 16.04.2025).
10. U.S. Environmental Protection Agency. URL: <https://www.epa.gov/> (дата звернення: 09.04.2025).
11. Eco-system Japan Co., Ltd. Recycleinme 23. URL: <https://www.recycleinme.com/rim-ECOSYS/home> (дата звернення: 18.04.2025).
12. Про управління відходами. Редакція від 15.11.2024, підстава – 4017-IX. Відомості Верховної Ради України (ВВР). 2023. № 17. Ст. 75. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/2320-20#Text> (дата звернення: 18.04.2025).
13. Accelerating impact mobilizing investment at scale. IFC. 2024. URL: <https://www.ifc.org/content/dam/ifc/doc/2024/ifc-annual-report-2024-accelerating-impact-en.pdf> (дата звернення: 19.04.2025).
14. Проект закону України «Про електричне та електронне обладнання та відходи електричного та електронного обладнання». URL: <https://mepr.gov.ua/povidomlennya-pro-oprylyudnennya-proyektu-zakonu-pro-elektrychne-ta-elektronne-obladnannya-ta-vidhody-elektrychnogo-ta-elektronnogo-obladnannya/> (дата звернення: 19.04.2025).