

УДК 628.4.02

Ihor V. Satin^{1,2}, PhD, Associate Professor, Kyiv National University of Construction and Architecture, Acting deputy director, Scientific, Research, Design and Technology Institute of Municipal Economy, State Enterprise
ORCID ID: <http://orcid.org/0000-0002-2028-9791> **e-mail:** satin@nikti.org.ua

Tetyana I. Romanova², PhD, Head of the Laboratory
ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0002-5747-8270> **e-mail:** romanova@nikti.org.ua

Olena S. Panchenko², Head of the Laboratory
ORCID ID: <http://orcid.org/0000-0003-3680-7036> **e-mail:** panchenko@nikti.org.ua

¹ Kyiv National University of Construction and Architecture, Kyiv, Ukraine

² Scientific, Research, Design and Technology Institute of Municipal Economy, State Enterprise, Kyiv, Ukraine

OVERVIEW OF THE TECHNOLOGIES OF THE COLLECTION, TRANSPORTATION, RECOVERY AND DISPOSAL OF MUNICIPAL SOLID WASTE

Abstract. Solving the problem of the lack of effective technologies for the recovery of solid municipal waste consists, first of all, of the construction of an effective technological scheme for the collection, transportation, recovery and disposal of municipal waste. Achieving the goals of reducing the volume of municipal waste disposal to 30% in 2030, which are set by the National Strategy for Waste Management in Ukraine until 2030, is possible by applying coordinated technological stages of collection, transportation, recovery and disposal of municipal waste in settlements and territorial communities.

Research is aimed at organizing effective and unified management of solid waste flows, their proper storage, collection, transportation, processing, and disposal taking into account the resource potential of solid waste, the need and feasibility of implementing a certain technology for processing, recovery and disposal of waste, taking into account its characteristics and application limitations, and the need to minimize the environmental burden associated with waste.

The purpose and task of this publication are to describe the complete technological cycle of waste management and establish a sequence of unified methodical approaches to the stages and technological processes of solid household waste management (collection, transportation, recovery and disposal).

Key words: municipal solid waste management; municipal solid waste; municipal solid waste collection; transportation; recovery; disposal; mixed municipal solid waste

© I.B. Сатін, Т.І. Романова, О.С. Панченко, 2022

І.В. Сатін^{1,2}, Т.І. Романова², О.С. Панченко²

¹ Київський національний університет будівництва і архітектури, м. Київ, Україна

² Державне підприємство «Науково-дослідний та конструкторсько-технологічний інститут міського господарства», м. Київ, Україна

ОГЛЯД ТЕХНОЛОГІЙ ЗБИРАННЯ, ПЕРЕВЕЗЕННЯ, ВІДНОВЛЕННЯ ТА ВИДАЛЕННЯ ТВЕРДИХ ПОБУТОВИХ ВІДХОДІВ

***Анотація.** Вирішення проблеми відсутності дієвих технологій відновлення твердих побутових відходів полягає насамперед у побудові ефективної технологічної схеми збирання, перевезення, відновлення та видалення побутових відходів. Досягання цілей зі зменшення обсягу захоронення побутових відходів до 30% у 2030 році, які встановлені Національною стратегією управління відходами в Україні до 2030 року, можливо при застосуванні в населених пунктах, територіальних громадах взаємоузгоджених технологічних етапів зі збирання, перевезення, відновлення та видалення побутових відходів.*

Дослідження спрямовані на організацію ефективного та уніфікованого управління потоками ТПВ, їх належного зберігання, збирання, транспортування, оброблення, видалення, враховуючи ресурсний потенціал ТПВ, необхідність та доцільність впровадження певної технології оброблення, відновлення та видалення відходів з урахуванням її характеристик і обмежень застосування та необхідність мінімізації навантаження на довкілля, пов'язаного з відходами.

Призначення та завдання даної публікації – це опис повного технологічного циклу управління відходами та встановлення послідовності уніфікованих методичних підходів до етапів та технологічних процесів управління твердими побутовими відходами (збирання, перевезення, відновлення та видалення).

***Ключові слова:** управління побутовими відходами; побутові відходи; збирання; перевезення; відновлення; видалення; змішані побутові відходи*

DOI: <https://doi.org/10.32347/2411-4049.2022.4.53-71>

Вступ

Постановка завдання. За оцінкою Мінрегіону в Україні за 2021 рік утворилось понад 51 млн м³ побутових відходів, або понад 10 млн тонн, які захоронюються на 6 тис. сміттєзвалищ і полігонів загальною площею майже 9 тис. га [1]. Тільки 79% населення України охоплено послугами з вивезення побутових відходів. В 1725 із 29 711 населених пунктів впроваджено роздільне збирання побутових відходів, побудовано 34 сміттесортувальні лінії, діє один сміттєспалювальний завод (завод «Енергія», м. Київ) та три сміттєспалювальні установки. Загалом в Україні перероблено та утилізовано близько 7,64% побутових відходів, з них: 1,14% спалено, а 6,5% побутових відходів потрапило на заготівельні пункти вторинної сировини та сміттєпереробні лінії [1].

Кількість переважаних сміттєзвалищ становить 230 од. (3,8%), а 824 од. (13,8%) не відповідають нормам екологічної безпеки. З 371 сміттєзвалища, які потребують рекультивації, фактично рекультивовано тільки 29 одиниць [1].

Таким чином, тільки 7,64% побутових відходів відновлюються, а 92,36% відходів захоронюють на полігонах та сміттєзвалищах. Домінуючим способом

поводження з побутовими відходами залишається їх захоронення на полігонах та сміттєзвалищах. Внаслідок відсутності дієвої системи поводження з побутовими відходами щороку утворюється понад 27 тис. несанкціонованих сміттєзвалищ [2].

Відсутність розвинутої інфраструктури з перероблення та ефективної системи роздільного збирання побутових відходів призводить до втрати цінної вторинної сировини, що міститься у змішаних побутових відходах, які потенційно можуть бути введені у господарський обіг. Розвиток систем роздільного збирання та перероблення відходів є невід'ємною частиною підвищення ефективності використання природних ресурсів і переходу до сталої економіки.

Робота виконується в рамках реалізації Національної стратегії управління відходами в Україні до 2030 року, схваленої розпорядженням Кабінету Міністрів України № 820-р від 8 листопада 2017 року.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Необхідності впровадження роздільного збирання побутових відходів з урахуванням подальших етапів перероблення та видалення приділяється увага в дослідженнях Л. Нападівської, А. Пашкова, І. Корнієнко, А. Кошма, О. Шекеля, Л. Шевченко [3–5].

В монографії науковців В. Савуляка та О. Березюк приділено увагу питанням забезпечення ефективними машинами та механізмами для вирішення проблем накопичення твердих побутових відходів на полігонах та сміттєзвалищах. Авторами запропоновано виділити та послідовно розглядати три стадії життєвого циклу відходів: утворення, збирання та перевезення; сортування та підготовка до переробки; переробка та утилізація [6, 14].

Для забезпечення ефективного перевезення побутових відходів на великі відстані та узгодженості з етапом переробки та утилізації відходів в роботі Л. Савченко, Ю. Дяченко пропонується двоетапна схема перевезення побутових відходів [7].

Ю. Матвєєв та Г. Гелетуґа зазначають, що роздільне збирання, повторне використання та рециклінг розвиваються одночасно з енергетичним використанням твердих побутових відходів, конкурують між собою за сировину, але не виключають одне одного [8].

Фактори, які впливають на участь у сортуванні побутових відходів, проаналізовані в [9], оптимальну схему збору та транспортування ТПВ, яка фокусується на проблемі мінімізації довжини кожного маршруту збору та транспортування відходів, розглянуто в [10].

Варіанти розроблених, запропонованих до використання та які вже практикуються у міських центрах, економічно доцільних, екологічно стійких, соціально зручних та технологічно оновлених систем збирання та перевезення ТПВ розглянуті в [11].

У літературі запропоновано кілька показників для оцінки систем збору ТПВ. Ці інструменти оцінки враховують лише деякі аспекти, які впливають на ефективність роботи системи збору. В [12] запропонований набір легких для розрахунку показників, які подолують це обмеження, враховуючи як характеристики зібраних відходів, так і експлуатаційно-економічні показники. У [13] пропонується скоригована версія популярної методики вимірювання ефективності аналізу охоплення даних, яка дає змогу оцінити економічну ефективність муніципалітетів у зборі та переробці багатьох фракцій побутових відходів, підвищити ефективність витрат оцінки впливу помилок вимірювання

в даних або муніципалітетах з віддаленими та нетиповими показниками (якщо вони присутні у вибірці). Методика [13] також застосовується для виправлення оцінок на відмінності в робочому середовищі муніципалітетів (наприклад, такі фактори, як демографія та середній дохід населення муніципалітету).

Скорочення обсягів, відновлення ресурсів, оцінку відходів, охорону навколишнього середовища та рекультивацію території для розвитку міст обговорено в [14–20].

Мета дослідження

Встановлення послідовності уніфікованих методичних підходів до етапів та технологічних процесів поводження з твердими побутовими відходами (ТПВ) (збирання, перевезення, відновлення та видалення), визначення загальних складових кожного з етапів поводження з ТПВ, розвитку та підвищення якості надання послуг у сфері управління побутовими відходами (ПВ) в населених пунктах шляхом впровадження системного підходу до управління відходами, спираючись на Національну стратегію управління відходами та чинне законодавство України.

Результати дослідження

Система управління ТПВ (відповідно до Закону України «Про управління відходами») – це комплекс заходів із збирання, перевезення та оброблення ПВ, включаючи створення об'єктів їх оброблення, в т.ч. об'єктів видалення відходів.

Збирання побутових відходів

(включаючи роздільне збирання) полягає у вилученні, накопиченні та зберіганні ТПВ з метою подальшого перевезення до об'єктів оброблення та має відбуватися з використанням незмінюваних (стаціонарних) та/або змінюваних (нестаціонарних) сміттєзбірних контейнерів відповідно до вимог ДСТУ 8476:2015 «Контейнери для побутових відходів. Загальні технічні вимоги». Для збирання відходів на тих територіях населених пунктів, де обмежена можливість проїзду сміттєвозного транспорту та його маневрування, застосовується безконтейнерний метод шляхом використання поліетиленових пакетів (мішків). Система збирання ПВ включає обов'язкове впровадження планово-регулярної системи збирання ПВ та облаштування контейнерних майданчиків у відповідності до вимог чинного законодавства, в тому числі ДСанПін «Державні санітарні норми та правила утримання територій населених місць», затверджені Наказом МОЗ України № 145 від 17.03.2011 (zareєстровано в Міністерстві юстиції України 05.04.2011 за № 457/19195). Сміттєзбірні контейнери мають розміщуватись на контейнерних майданчиках, облаштованих відповідно до вимог ДСТУ-Н Б Б.2.2-7:2013 «Настанова з улаштування контейнерних майданчиків» та ДСанПін «Державні санітарні норми та правила утримання територій населених місць».

Додатково до контейнерної системи збирання ПВ мають бути створені:

– спеціалізовані комунальні пункти приймання відходів (у відповідності до Національної Стратегії управління відходами), які можуть приймати тільки ті відходи, для яких є наявні технології та існують діючі підприємства з їх оброблення, та з відповідним обґрунтуванням – виконувати додаткові функції;

– пункти збирання відходів для повторного використання та перероблення – для збирання і можливості повторного використання меблів, побутової техніки, одягу та інших товарів, які були у вжитку. Ці пункти можуть створюватись як складова об'ємно-просторового плану спеціалізованих комунальних пунктів збирання відходів (для тих населених пунктів, де вони вже створені) з відокремленим приміщенням, або окремо, насамперед в обласних центрах;

– центри із збирання відходів для їх ремонту з метою повторного використання – передбачаються насамперед для ВЕЕО, їх доцільно організовувати як додатковий блок до спеціалізованих комунальних пунктів збирання відходів в обласних центрах.

Система збирання ТПВ від домогосподарств та з інших джерел, якщо ці відходи подібні за своїм складом до відходів домогосподарств, відбувається наступними шляхами:

- збирання змішаних ТПВ (нероздільно зібраних побутових відходів);
- роздільне збирання ТПВ.

Збирання змішаних ТПВ – існуюча практика, яка не передбачає виконання процесу оброблення, а передбачає доставку зібраних ТПВ безпосередньо на полігон ТПВ.

Збирання роздільно зібраних відходів – є першим кроком етапу оброблення відходів та має на меті їх подальше оброблення (повторне використання / рециклінг / оброблення) – це етап, який обов'язково та невід'ємно передує етапу оброблення ПВ, безпосередньо залежить від прийнятої технологічної схеми оброблення та є початковим етапом оброблення ПВ. Технологічна схема збирання ПВ визначається після прийняття технологічної моделі оброблення (відновлення та видалення) ПВ відповідно до запланованих операцій.

Роздільне збирання як перший крок етапу оброблення ПВ забезпечує ефективність всього процесу оброблення, тому для підвищення ефективності роздільного збирання всіх видів ТПВ є важливим проведення на постійній основі публічних та освітніх акцій зі збирання окремих компонентів із залученням мешканців населеного пункту, створення інформаційних ресурсів у соціальних мережах з метою популяризації екоосвіти та базових дій мешканців щодо поводження з відходами, створення освітнього простору з метою популяризації базових знань щодо найкращих практик управління відходами та розроблення публічних просвітніх (довідкових) матеріалів з описом дій мешканців щодо поводження з ПВ.

Моделі роздільного збирання ТПВ формуються в залежності від прийнятої моделі поводження з відходами та можуть включати в себе роздільне збирання:

- базисно ресурсоцінних елементів (папір, картон, пластик, скло, метал, упаковка, деревина, текстиль тощо);
- біовідходів;
- небезпечних відходів (НВ) у складі побутових;
- відходів електричного та електронного обладнання (ВЕЕО);
- великогабаритних відходів (ВГВ);
- ремонтних відходів (РВ);
- інших відходів.

Збирання **змішаних побутових відходів** відбувається за планово-регулярною системою збирання побутових відходів – в один контейнер відповідно до «Методики роздільного збирання побутових відходів»,

затвердженої Наказом Міністерства регіонального розвитку, будівництва та житлово-комунального господарства України № 133 від 01.08.2011 (зареєстровану в Міністерстві юстиції України за № 1157/19895 від 10.10.2011). Для збирання встановлюються контейнери мобільного типу КМП класів 2-4 за ДСТУ 8476:2015. Обрання типу контейнерів для ТПВ та їх розстановки здійснюється самостійно органами місцевого самоврядування в межах кожного населеного пункту.

Роздільне збирання **побутових відходів, призначених для підготовки до повторного використання та рециклінгу**, може здійснюватися шляхом роздільного збирання за контейнерною системою за технологічними схемами відповідно до «Методики роздільного збирання побутових відходів» та роздільного збирання в спеціалізованих комунальних пунктах приймання відходів. Роздільне збирання побутових відходів, призначених для підготовки до повторного використання та рециклінгу, здійснюється на місцевому рівні та включає встановлення окремих контейнерів для ПВ, призначених для підготовки до повторного використання та рециклінгу, типу КМП класів 1-4 за ДСТУ 8476:2015 або аналогічних.

Роздільне збирання **біовідходів** здійснюється на місцевому рівні та включає роздільне збирання за контейнерною системою встановленням окремих контейнерів коричневого кольору для біовідходів типу КМП класів 1-4 за ДСТУ 8476:2015 з метою рециклінгу (має ґрунтуватись на економічній доцільності впровадження будівництва об'єкта оброблення) та роздільне збирання і компостування у приватних домогосподарствах. Можливе використання варіанта відокремлення частини відходів від зелених насаджень (гілки та залишки дерев) з метою подальшого подрібнення до щепи, яка може бути реалізована у відповідних сферах. Роздільне збирання та компостування біовідходів у приватних домогосподарствах здійснюється для їх власних потреб шляхом встановлення на подвір'ях домогосподарств індивідуальних компостерів. Кількість та параметри обладнання для індивідуального компостування біовідходів визначаються власниками домогосподарств, виходячи з їх потреби. Для домогосподарства з 2-3 осіб може бути рекомендовано індивідуальний компостер місткістю 1 м³.

Спосіб організації роздільного збирання **небезпечних відходів у складі побутових** визначається самостійно відповідними органами місцевого самоврядування та закріплюється в місцевих планах управління відходами населених пунктів. НВ у складі побутових збираються окремо від інших видів ПВ, а також мають відокремлюватися на етапі збирання чи сортування та передаватися спеціалізованим підприємствам, що одержали ліцензії на здійснення операцій у сфері поводження з НВ. Роздільне збирання НВ у складі побутових здійснюється наступними шляхами: роздільним збиранням за контейнерною системою (за обґрунтування економічної доцільності); спеціалізованими комунальними пунктами приймання відходів; мобільними (пересувними) пунктами приймання НВ; проведенням на постійній основі освітніх публічних акцій зі збирання окремих компонентів НВ у складі побутових з широким оглядом в ЗМІ. Роздільне збирання НВ у складі побутових за контейнерною системою здійснюється на місцевому рівні та включає встановлення окремих контейнерів для НВ у складі побутових типу КМП класів 1-4 за ДСТУ 8476:2015, червоного кольору відповідно до «Методики роздільного збирання побутових відходів».

Спосіб організації роздільного збирання **відходів електричного та електронного обладнання**, що є у складі ПВ, визначається самостійно відповідними органами місцевого самоврядування та закріплюється в місцевих планах управління відходами населених пунктів. Роздільне збирання ВЕЕО відбувається згідно з «Методичними рекомендаціями щодо збирання відходів електричного та електронного обладнання, що є у складі побутових відходів» (затверджені Наказом Міністерства регіонального розвитку, будівництва та житлово-комунального господарства України № 15 від 22.01.2013), та до моменту впровадження в Україні принципу розширеної відповідальності виробника і впровадження системи збирання на національному рівні може здійснюватися в рамках пілотних проєктів за наступними напрямками: створення спеціалізованих комунальних пунктів приймання відходів; створення мобільних (пересувних) пунктів приймання НВ; проведення регулярних публічних акцій зі збирання ВЕЕО з широким оглядом в ЗМІ.

Спосіб організації роздільного збирання **великогабаритних відходів** визначається самостійно відповідними органами місцевого самоврядування, відображається в місцевих планах управління відходами населених пунктів та включає створення спеціалізованих комунальних пунктів приймання відходів та впровадження системи роздільного збирання ВГВ біля джерел утворення. Роздільне збирання великогабаритних відходів відбувається в контейнери типу КЗВ за ДСТУ 8476:2015 або спеціально пристосовані для цього контейнери на прибудинкових контейнерних майданчиках та/або в спеціалізованих комунальних пунктах приймання відходів.

Спосіб організації роздільного збирання **ремонтних відходів** визначається самостійно відповідними органами місцевого самоврядування, відображається в місцевих планах управління відходами населених пунктів та включає створення спеціалізованих комунальних пунктів приймання відходів та впровадження системи роздільного збирання БВ біля джерел утворення. Роздільне збирання БВ відбувається в контейнери типу КЗР за ДСТУ 8476:2015 або спеціально пристосовані для цього контейнери (наприклад, «Big Bag») на прибудинкових контейнерних майданчиках та/або в спеціалізованих комунальних пунктах приймання відходів.

Роздільне збирання інших відходів, які утворюються в домогосподарствах, відбувається окремо від інших видів відходів, спосіб організації роздільного збирання відповідного виду відходів визначається самостійно відповідними органами місцевого самоврядування та відображається в місцевих планах управління відходами населених пунктів.

Перевезення побутових відходів

відбувається від місць утворення та/або накопичення та первісного зберігання ТПВ до об'єкта оброблення відходів спеціально обладнаним транспортом (збиральним), який може бути із боковим та/або верхнім маніпуляторним завантаженням, заднім завантаженням механізмом з поворотною скобою, із боковим ліфтовим завантаженням або ручним завантаженням різної вантажопідйомності в залежності від призначення. Для оптимізації транспортних потоків та зменшення транспортних витрат при великих (більше 20 км) відстанях перевезень застосовується двоетапне перевезення відходів з використанням сміттєперевантажувальних станцій та

систем і транспортного кузовного спецавтотранспорта. Рішення про впровадження двоетапного перевезення ПВ приймається на основі техніко-економічних розрахунків.

Система перевезення змішаних та/або роздільно зібраних ТПВ може відбуватись за планово-регулярною або заявочною системами та складатись з перевезення: змішаних ТПВ; відходів, призначених для підготовки до повторного використання та рециклінгу (папір, картон, пластик, скло, метал, упаковка, деревина, текстиль тощо); біовідходів; НВ у складі побутових; ВЕЕО; ВГВ; РВ; перевезення інших відходів, яке має здійснюватися у строки, передбачені санітарними правилами, регіональними планами управління відходами, та/або відповідно до договірних умов, вказаних в договорах з отримувачем послуг.

Технології перевезення ПВ базуються на використанні спеціальних транспортних засобів – кузовних та контейнерних збиральних сміттевозів різного класу вантажопідйомності (малої та середньої місткості).

Транспортна схема перевезення ПВ в залежності від логістичної доцільності може бути:

– одноетапна – без застосування перевантажувальних станцій та розрахована на використання сміттевозів для вивезення відходів від джерел утворення до МВВ;

– двоетапна – передбачає наявність сміттевозів-збирачів, транспортних сміттевозів і сміттеперевантажувальної станції, здійснюється для зниження транспортних витрат на паливе і мастила та, відповідно, тарифів на послуги з вивезення ТПВ, зменшення кількості сміттевозів, що працюють при збиранні і перевезенні відходів, підвищення продуктивності роботи, поліпшення екологічного стану довкілля.

Перевезення **змішаних** ТПВ здійснюється окремо від інших видів відходів за визначеним графіком з застосуванням відповідних спеціалізованих транспортних засобів з місць збирання на об'єкт МБО для сортування.

Перевезення **відходів, призначених для підготовки до повторного використання та рециклінгу**, здійснюється окремо від інших видів відходів за визначеним графіком з застосуванням відповідних спеціалізованих транспортних засобів з місць збирання на об'єкт МБО для сортування або на оброблення в якості сировини на спеціалізовані підприємства.

Перевезення **біовідходів** здійснюється окремо від інших видів відходів за визначеним графіком та/або за заявочною системою із застосуванням відповідних спеціалізованих транспортних засобів з місць збирання на об'єкт МБО для сортування та подальшого оброблення.

Перевезення **НВ у складі побутових** необхідно здійснювати з застосуванням спеціалізованих спеціально обладнаних транспортних засобів, які можуть також застосовуватися для організації збирання НВ в якості «мобільних пунктів приймання». Перевезення відбувається суб'єктом господарювання у сфері управління відходами, який отримав ліцензію на здійснення господарської діяльності з управління НВ, з місць збирання у визначене місце тимчасового зберігання НВ у складі ПВ для подальшої передачі відповідним спеціалізованим підприємствам, які одержали дозволи на здійснення операцій з оброблення відходів та ліцензії на здійснення господарської діяльності з управління НВ.

Перевезення **ВЕЕО** необхідно здійснювати з застосуванням спеціалізованих транспортних засобів з місць збирання до складського приміщення суб'єкта господарювання у сфері управління відходами з оброблення електричних та електронних приладів для сортування за придатністю до подальшого використання (придатне/непридатне до повторного використання).

Перевезення **ВГВ** здійснюється окремо від інших видів відходів за визначеним графіком та/або за заявочною системою з застосуванням відповідних спеціалізованих транспортних засобів з місць збирання на об'єкт МБО на сортування (для подальшого подрібнення – на ділянку подрібнення БВ і ВГВ).

Перевезення **БВ** здійснюється окремо від інших видів відходів за визначеним графіком та/або за заявочною системою з застосуванням відповідних спеціалізованих транспортних засобів з місць збирання на об'єкт МБО на сортування (для подальшого подрібнення – на ділянку подрібнення БВ і ВГВ).

Перевезення інших відходів здійснюється за заявочною системою окремо від інших видів відходів з застосуванням відповідних спеціалізованих транспортних засобів з місць утворення на об'єкти оброблення.

Оброблення побутових відходів

полягає у відновленні та/або видаленні ТПВ, включаючи підготовку відходів до таких операцій, та залежить від прийнятої технологічної схеми збирання ПВ. У свою чергу прийнята технологічна модель оброблення ПВ визначає технологічну схему збирання ТПВ. Відновлення ПВ відбувається на об'єктах оброблення відходів відповідно до прийнятої технології оброблення. Перелік операцій з відновлення ТПВ наведено в Законі України «Про управління відходами».

Відновлення твердих побутових відходів

Механіко-біологічне оброблення твердих побутових відходів

Найпоширенішою операцією з відновлення ТПВ є механіко-біологічне оброблення (МБО) ПВ, яке охоплює широкий спектр процесів та може бути налаштоване для досягнення декількох різних цілей, зазвичай включає роздільне збирання ТПВ, відокремлення з ТПВ відходів, призначених для підготовки до повторного використання та рециклінгу, і певну форму біологічної обробки органічної фракції ТПВ (біовідходів).

Першою операцією МБО є роздільне збирання ТПВ, яке забезпечує плановану ефективність всього процесу оброблення. Процес роздільного збирання ТПВ включає в себе формування (встановлення спеціально пристосованих до різних видів сировини контейнерів, наявність спеціально обладнаного транспорту та за потреби облаштування контейнерних майданчиків), обслуговування (дотримання санітарного стану) розгалуженої мережі контейнерних майданчиків, де розташовані контейнери для роздільного збирання потрібних фракцій ТПВ, та подальше їх транспортування до місць переробки. Перелік фракцій, що роздільно збираються, визначається технологічною схемою подальшого МБО.

Механіко-біологічне оброблення ПВ відбувається на об'єкті МБО, комплектація та облаштування якого можлива за різними технологічними схемами, та складається з наступних операцій оброблення:

- механічне оброблення, яке включає: вивантаження та тимчасове зберігання відходів, механічне сортування, пресування;
- біологічне оброблення, яке включає статичні або динамічні моделі оброблення.

МБО ПВ поділяється на три основних типи за технологічною моделлю: механіко-біологічне оброблення зі стадією компостування, механіко-біологічне оброблення зі стадією анаеробної ферментації та механіко-біологічне оброблення зі стадією стабілізації з отриманням компосту.

Механічне сортування проводиться на сортувальній лінії об'єкта МБО за допомогою різних процесів та полягає у відокремленні різних фракцій відходів, в результаті можуть бути отримані: відходи, призначені для підготовки до повторного використання та рециклінгу; SRF-сировина; біорозкладна фракція ТПВ; мінеральні залишки; відходи (залишки), які підлягають захороненню на полігонах.

Отримані **відходи, призначені для підготовки до повторного використання та рециклінгу**, зберігаються до отримання обсягу, який можна транспортувати, потім реалізується на відповідні промислові підприємства, які здійснюють діяльність з реалізації відходів, призначених для підготовки до повторного використання та рециклінгу, або які використовують їх для виробництва власної продукції.

SRF (Solid Recovered Fuel)-сировина – частина твердих відходів, яка використовується для виготовлення SRF-палива – альтернативного виду палива, що за хімічним складом й фізичними властивостями задовольняє вимогам споживача, відповідає конкретній специфікації, встановленій споживачем, та може замінювати вугілля, газ та інші види палива зі встановленими показниками. Відсоток вмісту горючих матеріалів, з яких можна отримати SRF, залежить від організації в населених пунктах роздільного збирання відходів, призначених для підготовки до повторного використання та рециклінгу, – чим ефективніше роздільне збирання, тим меншим може бути вміст горючих матеріалів.

Основними споживачами SRF-палива можуть бути цементні заводи, які використовують його не тільки для спалювання (виробничих процесів), але і золу від його спалювання в якості добавки в клінкер, забезпечуючи майже безвідходне використання. Цементна промисловість вимагає високоякісного стандартизованого палива SRF за якістю не менше 3-го класу згідно з ДСТУ EN 15359:2018 «Тверде відновлювальне паливо. Технічні характеристики та класи».

Отримання SRF-палива зменшує кількість відходів, що підлягають захороненню на полігоні ТПВ, та зменшує викиди метану, які могли б статися у разі їх захоронення на полігоні ТПВ. Крім того, використання SRF-палива призводить до зменшення викидів CO₂ завдяки заміщенню спалювання викопного палива (зазвичай природного газу).

Існує необхідність вирішення фінансових питань щодо умов приймання SRF-палива підприємством (потребує заключення договорів, узгодження та дослідження калорійності ТПВ та SRF-палива, визначення обсягів його поставок, що несе додаткові витрати та ризики в реалізації SRF-палива).

Біорозкладна частина ТПВ – органічна речовина, що є у складі змішаних ПВ, яка зазнає біологічного розкладу (харчові відходи, опале листя, садово-паркові відходи тощо) (згідно з СОУ ЖКГ 03.09-014:2010 «Побутові відходи. Технологія перероблення органічної речовини, що є у складі побутових відходів») та є джерелом забруднення навколишнього середовища (наприклад, парниковими газами). Загальний вміст та співвідношення між основними компонентами ТПВ залежать від місцевих умов та змінюються у часі. Частина ТПВ, яка легко розкладається, складає значну частину ТПВ з загальної маси ТПВ та може становити майже 50%.

Біорозкладна частина ТПВ може бути ефективно використана. Вилучення органічної речовини з ПВ треба проводити шляхом сортування на підприємствах сортування та оброблення ТПВ – об'єкті МБО (Додаток А СОУ ЖКГ 03.09-014:2010).

Після отримання на об'єкті МБО біорозкладна частина ТПВ направляється на біологічне оброблення (див. п. 5.1.16).

Мінеральні залишки – несортована частина ТПВ, яка залишилася після сортування змішаних відходів та відокремлення вторинної сировини, SRF-сировини та біорозкладної частини органічної складової ТПВ. Складається переважно з негорючої фракції (переважно включає компоненти, інертні до оточуючого природного середовища) та певної кількості органічних включень.

Після проведення відповідних процедур зі стабілізації частина мінеральних залишків стає умовно інертною та може бути або використана в разі необхідності на об'єкті МБО чи за його межами, або потрапляє на захоронення на полігон.

Шкідливі залишки ТПВ – різні види НВ, які потрапили до складу ТПВ на стадії збирання та відокремлюються на стадії механічного сортування змішаних відходів на об'єкті МБО.

Після проведення відповідної процедури відокремлення шкідливих залишків ТПВ із загальної маси ТПВ необхідно забезпечити умови для зберігання їх на об'єкті МБО та організувати подальшу передачу спеціалізованим підприємствам, які мають ліцензію на здійснення господарської діяльності з управління НВ та забезпечать оброблення НВ та їх знешкодження до стану інертних залишків.

Біологічне оброблення відходів, що біологічно розкладаються (відходів від зелених насаджень, харчових відходів) – аеробне (компостування) або анаеробне оброблення органічної речовини, що є у складі ПВ, – відбувається на об'єкті МБО.

Порядок проведення процесів біологічного оброблення органічної речовини, що є у складі ПВ, а саме аеробного (компостування) та анаеробного оброблення, а також використання готового компосту установлює стандарт СОУ ЖКГ 03.09-014:2010 «Технологія перероблення органічної речовини, що є у складі побутових відходів».

Вибір методу біологічного оброблення органічної речовини в складі ТПВ треба здійснювати з урахуванням природно-кліматичних умов, санітарного стану та кількісно-якісних параметрів органічної речовини, санітарно-гігієнічних вимог, вимог до використання готового продукту, технічних можливостей підприємства тощо.

Для можливості використання в анаеробному зброджуванні органічна речовина в складі ТПВ має відповідати вимогам, визначеним СОУ ЖКГ 03.09-014:2010.

При анаеробному розкладанні органічної речовини, що є у складі ПВ, різними видами бактерій, утворюється **біогаз**, який може використовуватися як паливо для спеціалізованих енергетичних установок (котлоагрегати, промислові печі, стаціонарні двигуни-генератори) або після додаткового очищення для заправки в балони. В результаті роботи об'єкта МБО із стадією анаеробної ферментації з 1 умовної тонни ТПВ виробляється 70–170 м³ біогазу. Вміст метану у 1 м³ біогазу становить від 40% до 55%.

Технологічне обладнання процесу анаеробного оброблення (зброджування) органічної речовини, вилученої з ПВ – це система конвеєрів, бункер-прямок, подрібнювальне обладнання, проціджувачі, насоси, метантенки, газгольдери, теплообмінники, обладнання для очищення біогазу, когенераційна установка.

З метою використання біогазу на полігоні ТПВ та можливості використання біогазу проєктуються інженерні системи збирання та утилізації біогазу для визначеного полігону ТПВ. Проєктування інженерної мережі збирання та утилізації біогазу на полігоні ТПВ здійснюється відповідно до вимог ДБН В.2.4-2-2005 «Полігони твердих побутових відходів».

Компост – ґрунтоподібний матеріал, отриманий в результаті аеробного процесу розкладання органічної складової ТПВ різними видами бактерій та грибків. Для приготування компостів треба використовувати техніку і транспортні засоби серійного виробництва. Технологічне обладнання процесу компостування – система конвеєрів, бункер-прямок, подрібнювальне обладнання для подрібнювання органічної маси ТПВ, біобарабани (або біотермічні камери, котловани, ділянки чи штабелі), подрібнювальне обладнання для подрібнювання компосту з магнітним сепаратором, грейферний кран (згідно з СОУ ЖКГ 03.09-014:2010). Існує декілька технологічних схем компостування, окремі вузли яких можна компонувати в залежності від обладнання підприємства МБО.

Отриманий компост можна використовувати відповідно до СОУ ЖКГ 10.09-014:2010 як добриво у зеленому будівництві, рекультивативній земель, лісному господарстві відповідно до агрохімічних, мікробіологічних, токсикологічних та фізико-хімічних показників. Після устаткування з отримання біогазу залишається компост технічний або компостоподібний продукт, який складає $\approx 35\text{--}40\%$ з 1 умовної тонни ТПВ.

Термічне оброблення твердих побутових відходів

Термічне оброблення ТПВ – спалювання або їх термічне використання – застосовується як важлива операція з відновлення ТПВ та є найбільш надійним і ефективним варіантом отримання енергії та відведення тепла методом утилізації непереробних відходів, які не можуть відновлюватися іншим шляхом.

Найпоширенішими є методи спалювання – спалювання на колосникових ґратах і спалювання у зваженому шарі.

Спалювання на колосникових ґратах застосовується до масового спалювання твердих змішаних побутових та промислових відходів та має велику сферу застосування. Дає змогу виробляти енергію з відходів (зокрема, когенерація). Для даного методу використовуються різні системи топків з колосниковими ґратами.

Подача відходів, що спалюються, відбувається на колосникові ґрати в камері згоряння системами завантаження. Спалювання здійснюється безперервно протягом доби, доставка відходів до установки – періодично (здебільшого у денний час). Перед шаровою топкою завжди встановлюється підземний бункер, який забезпечує постійне зберігання необхідного запасу відходів та їх перемішування для забезпечення їх гомогенізації перед спалюванням (встановлення приблизно стабільних показників теплотворної можливості).

Ефективне спалювання на колосникових ґратах відбувається при температурі 850–950°C. В кінці повільної решітки, що рухається, залишки після згоряння падають в заповнений водою пристрій шлаковидалення.

Димові гази утворюються здебільшого в зоні камери для спалювання, де вони вигоряють при температурі від 850°C до вище 1000°C. У розташованому далі паровому казані димові гази охолоджуються до 200–400°C. При цьому утворюється в більшості випадків перегріта пара (не більше 40 бар, 400°C). Пару можна використовувати для виробництва електроенергії, як технологічну пару для централізованого теплопостачання.

В результаті спалювання на колосникових ґратах утворюються шлак, котельна зола та димові гази. До якості матеріалу, що виходить, встановлені наступні вимоги – шлак: $C < 3$ ваг. %, у сучасних установках втрати при прожарюванні, загальний органічний вуглець становлять менше 0,5 ваг. %.

Спалювання на колосникових ґратах може застосовуватися в комбінації зі всіма попередніми спалюваннями заходами та процесами оброблення відходів. Спалювання виконує мінералізацію всіх горючих речовин, які вже не можуть використовуватись або оброблятися іншим способом. Перевагою методу є синергетичний ефект при взаємопов'язанні з процесами/промисловістю, що мають велику потребу в тепловій енергії і яку вони можуть отримати від сміттєспалювальних заводів або здійснити підведення основного навантаження централізованого теплопостачання мереж.

Метод спалювання на колосникових ґратах необхідно пов'язувати з очищенням димових газів, так як гази, що утворюються при спалюванні, містять значну кількість шкідливих для здоров'я речовин.

Спалювання у зваженому шарі є особливо ефективною технологією, яка утворює невелику кількість шкідливих речовин. За цієї технології горючі речовини (відходи) піддаються процесу спалювання в потоці повітря, що піднімається. В результаті виходить турбулентне змішування газу та твердих речовин (зважений шар). Збурювання відходів дозволяє здійснювати ефективні хімічні реакції та ефективно перенесення тепла. Спалювання у зваженому шарі було розроблено, зокрема, для того, щоб частково виключити або мінімізувати дорогі процеси очищення з метою скорочення викидів шкідливих речовин, наприклад із використанням скрубєрів.

Застосування цієї технології особливо часто зустрічається при спалюванні осаду та використанні альтернативних видів палива (SRF).

В результаті спалювання у зваженому шарі утворюються зола без шлаку або з малим вмістом шлаку (частка вуглецю в межах 0,5% або частка горючих компонентів $< 0,5$ ваг.%), котельний пил, димові гази. До якості матеріалу, що виходить, встановлені наступні вимоги – низька частка оксидів азоту NO_x , відсутність необхідності або низька потреба в денітрифікації димових газів та низьке зв'язування важких металів у золі внаслідок відносно низької температури процесу.

При спалюванні у зваженому шарі подрібнені відходи з інертними матеріалами приводяться у зважений стан і спалюються при відносно низькій температурі 750–850°C. Тривалий час перебування, велика питома поверхня та хороше перенесення тепла призводять до гарного вигорання (залишковий вміст вуглецю < 0,5 ваг. %). Температура згоряння знаходиться нижче межі утворення оксидів азоту, що призводить до утворення відносно малої кількості NO_x, але спостерігається утворення звеселяючого газу.

Низька температура процесу гарантує відсутність спікання золи, у зв'язку з чим важкі метали зв'язуються у золі у невеликій кількості. Змішування в зваженому шарі призводить також до того, що димові гази стикаються з речовинами, що абсорбують сірку (вапняк, доломіт). Це призводить до поглинання великої частки сірки сорбційними матеріалами в котлі.

Системи спалювання у зваженому шарі можна розділити на дві основні групи: атмосферну систему (FCB) та систему під тиском (PFBC). Остання працює з підвищеним тиском і створює потік повітря під високим тиском, який дозволяє вводити в дію газову турбіну. Пара, що створюється теплом зваженого шару, прямує у парову турбіну. Таким чином, процес є високоефективною комбінованою системою циркуляції.

Принципово можна виділити три різні види систем зі зваженим шаром, які визначаються способом відведення димових газів: стаціонарний зважений шар, зважений шар, що обертається, і циркулюючий зважений шар.

Спалювання у зваженому шарі застосовується особливо для термічної обробки горючих відходів, які непридатні для інших видів обробки (наприклад, відходи < 30 мм, мул очисних споруд). Тому воно може принципово комбінуватися з усіма передвключеними етапами та процесами оброблення відходів.

Перевага методу спалювання у зваженому шарі виникає при досягненні синергетичних ефектів шляхом взаємопов'язання з процесами, які потребують великої кількості теплової енергії (наприклад, на папероробних фабриках, де можна використовувати на таких установках значну кількість технологічних відходів). Альтернативно повинна бути, як мінімум, можливість спрямовувати зайву енергію (пару або гарячу воду) стороннім споживачам або постачати електроенергію до мережі загального користування.

Процеси методу спалювання у зваженому шарі у будь-якому випадку повинні бути об'єднані з очищенням газів, що відходять.

До всіх термічних процесів оброблення ТПВ повинні застосовуватися суворі правила та вимоги щодо запобігання, скорочення та контролю потенційно токсичних та інших емісій, що істотно впливають на навколишнє середовище.

Видалення побутових відходів

відбувається на об'єктах оброблення відходів відповідно до прийнятої технології оброблення. Перелік операцій з видалення ТПВ наведено в Законі України «Про управління відходами».

Найпоширенішою операцією з видалення ТПВ після операції з їх відновлення, що не передбачає подальшого оброблення відходів, є **захоронення твердих побутових відходів**, а саме – непридатного до використання залишку. Всі залишки оброблення при дотриманні заданих критеріїв можуть бути спрямовані на захоронення. Забороняється змішування чи захоронення відходів, для утилізації яких в Україні існує відповідна технологія.

Захоронення має бути впорядкованим та забезпечувати надійне та контрольоване зберігання непридатного до використання залишку ТПВ, тому захоронення ТПВ дозволяється тільки на спеціально обладнаних для цього полігонах. Проектування нового будівництва, реконструкцію, технічне переоснащення й рекультивацію полігонів ТПВ виконують відповідно до вимог ДБН В.2.4-2-2005 «Полігони твердих побутових відходів. Основні положення проектування». Для задоволення різної потреби в обсязі та надійності захоронення відходів виділені три класи полігонів: полігони для небезпечних відходів; полігони для відходів, що не є небезпечними; полігони для умовно інертних та інертних відходів. Полігон відповідного класу може приймати на захоронення тільки ті відходи, для яких він був призначений та облаштований.

Полігони для небезпечних відходів – спеціально відведені та охоронювані майданчики для зберігання небезпечних або потенційно НВ, потенціал небезпеки та ризики впливу яких на навколишнє середовище не можуть бути знижені шляхом попереднього оброблення. Полігони для НВ можуть мати характер як проміжних сховищ, так і могильників. Вони відрізняються один від одного за ступенем небезпеки захоронених у них відходів, а також будівельного виконання, насамперед конструкцій та матеріально-технічних компонентів, призначених для запобігання потраплянню небезпечних речовин у навколишнє середовище.

Полігони для відходів, що не є небезпечними – спеціально обладнані майданчики, оснащені необхідними пристроями для зберігання ТПВ, що не становлять небезпеки. Підлягають систематичному контролю з метою недопущення виникнення небезпеки для навколишнього середовища та здоров'я людей, а також виключення зараження ґрунту та ґрунтових вод. Відходи укладаються на санкціонованому полігоні шарами, які наприкінці кожного робочого дня максимально ущільнюються та забезпечуються покриттям.

Полігони для інертних відходів являють собою спеціально відведені майданчики або установки з нескладним оснащенням, призначені для надійного та довгострокового зберігання відходів – мінеральних речовин з інертними властивостями (в т.ч., залишкові відходи домогосподарств, організацій та підприємств), що не містять потенційно небезпечних або шкідливих для навколишнього середовища речовин у підвищеній концентрації та не становлять небезпеки для навколишнього середовища. Часто для цих цілей використовуються шахти, виведені з експлуатації кам'яні кар'єри або колишні родовища копалин з відкритим способом видобутку, що відповідають принципам гідрологічним вимогам. Цей тип полігону є найпоширенішим технічним варіантом захоронення інертних відходів або залишкових матеріалів після обробки цих відходів.

Управління полігоном здійснює суб'єкт господарювання, який повинен мати дозвіл на здійснення операцій з видалення відходів, а в разі захоронення НВ – ліцензію на здійснення господарської діяльності з управління НВ.

Висновки і перспективи подальших досліджень

Сфера поводження з ТПВ в Україні здебільшого складається із підприємств по вивезенню ТПВ та полігонів для їх захоронення. Існуючий стан справ не є прийнятним як з точки зору негативного впливу на навколишнє середовище,

так і з точки зору необхідності гармонізації законодавства України до вимог ЄС. Вимоги екології, ресурсозбереження та економіки можливо виконати виключно за допомогою впровадження найкращих доступних технологій, тобто застосування тих методів виробництва, які на сучасному рівні науково-технічних знань надають можливість гарантувати якомога вищу екологічну безпеку.

Дослідження спрямовані на аналіз організації ефективного та уніфікованого управління потоками ТПВ та огляд технологій їх належного збирання, перевезення, відновлення та видалення, враховуючи ресурсний потенціал ТПВ, необхідність та доцільність впровадження певної технології оброблення, відновлення та видалення відходів з урахуванням її характеристик і обмежень застосування та необхідність мінімізації навантаження на довкілля, пов'язаного з відходами.

Показано важливість встановлення послідовності уніфікованих методичних підходів до етапів та технологічних процесів поводження з ТПВ, визначення складових кожного з етапів поводження з ТПВ, задач та цілей, які мають бути досягнуті на кожному з етапів поводження з ТПВ, розвитку та підвищення якості надання послуг у сфері управління ПВ в населених пунктах, створення умов для підвищення стандартів життя населення шляхом впровадження системного підходу до управління відходами, спираючись на Національну стратегію управління відходами та чинне законодавство України.

Подальші дослідження будуть спрямовані на побудову технологічних моделей та схем поводження з побутовими відходами з урахуванням п'ятиступеневої ієрархії обігу побутових відходів, за аналогією до існуючих у країнах ЄС. Важливо приділяти увагу цілісному опису схеми на кожному етапі, оскільки загальна ефективність і досяжність цілей Національної стратегії залежить від ефективності саме кожного етапу вивезення, транспортування, збирання і перероблення.

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. *Стан сфери поводження з побутовими відходами в Україні за 2021 рік.* (б. д.). <https://www.minregion.gov.ua/napryamki-diyalnosti/zhkh/terretory/stan-sfery-povodzhennya-z-pobutovymy-vidhodamy-v-ukrayini-za-2021-rik/>.
2. Про схвалення Національної стратегії управління відходами в Україні до 2030 року, Розпорядження Кабінету Міністрів України № 820-р (2020) (Україна). <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/820-2017-p#Text>.
3. Нападівська, Л. А., & Пашков, А. П. (б. д.). Економіка, технології та перспективи роздільного збирання твердих побутових відходів в Україні (на прикладі досвіду провідних країн світу). У *Національний форум «Поводження з відходами в Україні: Законодавство, економіка, технології»* (с. 44–47).
4. Корнієнко, І., Корнієнко, С., & Кошма, А. (2016). Розроблення моделі мережі роздільного збирання твердих побутових відходів. *Технічні науки та технології*, (1), 122–130.
5. Шекель, О. Й., & Шевченко, Л. В. (2010). Технології та обладнання для сфери поводження з побутовими відходами. *Техногенно-екологічна безпека та цивільний захист*, (1), 84–89.
6. Савуляк, В. І., & Березюк, О. В. (2006). *Технічне забезпечення збирання, перевезення та підготовки до переробки твердих побутових відходів*. УНІВЕРСУМ-Вінниця.

7. Савченко, Л. В., Дьяченко, Ю. С., & Величко, А. В. (2015). Двоетапна схема перевезення твердих побутових відходів міста. *Вісник Національного транспортного університету*, (31), 463–468.
8. Матвеев, Ю., & Гелетуца, Г. (2019, 22 квітня). *Перспективи енергетичної утилізації твердих побутових відходів в Україні*. <https://uabio.org/wp-content/uploads/2020/01/position-paper-uabio-22-ua.pdf>.
9. Rousta, K., Zisen, L., & Hellwig, C. (2020). Household waste sorting participation in developing countries – a meta-analysis. *Recycling*, 5(1), 6. <https://doi.org/10.3390/recycling5010006>.
10. Das, S., & Bhattacharyya, B. K. (2015). Optimization of municipal solid waste collection and transportation routes. *Waste Management*, 43, 9–18. <https://doi.org/10.1016/j.wasman.2015.06.033>.
11. Yadav, V., & Karmakar, S. (2020). Sustainable collection and transportation of municipal solid waste in urban centers. *Sustainable Cities and Society*, 53, 101937. <https://doi.org/10.1016/j.scs.2019.101937>.
12. Bertanza, G., Ziliani, E., & Menoni, L. (2018). Techno-economic performance indicators of municipal solid waste collection strategies. *Waste Management*, 74, 86–97. <https://doi.org/10.1016/j.wasman.2018.01.009>.
13. Rogge, N., & De Jaeger, S. (2013). Measuring and explaining the cost efficiency of municipal solid waste collection and processing services. *Omega*, 41(4), 653–664. <https://doi.org/10.1016/j.omega.2012.09.006>.
14. Nanda, S., & Berruti, F. (2020). Municipal solid waste management and landfilling technologies: A review. *Environmental Chemistry Letters*. <https://doi.org/10.1007/s10311-020-01100-y>.
15. Chen, D. M.-C., Bodirsky, B. L., Krueger, T., Mishra, A., & Popp, A. (2020). The world's growing municipal solid waste: Trends and impacts. *Environmental Research Letters*, 15(7), 074021. <https://doi.org/10.1088/1748-9326/ab8659>.
16. Gisi, S. D., Alberotanza, A., Todaro, F., Campanaro, V., & Notarnicola, M. (2020). Separate collection of municipal solid waste and fate of the residual unsorted fraction: A scenario analysis. *Environmental Engineering and Management Journal*, 19(10), 1731–1740. <https://doi.org/10.30638/eemj.2020.163>.
17. Gundupalli, S. P., Hait, S., & Thakur, A. (2017). A review on automated sorting of source-separated municipal solid waste for recycling. *Waste Management*, 60, 56–74. <https://doi.org/10.1016/j.wasman.2016.09.015>.
18. Zhang, J., Qin, Q., Li, G., & Tseng, C.-H. (2021). Sustainable municipal waste management strategies through life cycle assessment method: A review. *Journal of Environmental Management*, 287, 112238. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2021.112238>.
19. van der Sloot, H. A., Kosson, D. S., & Hjelmar, O. (2001). Characteristics, treatment and utilization of residues from municipal waste incineration. *Waste Management*, 21(8), 753–765. [https://doi.org/10.1016/s0956-053x\(01\)00009-5](https://doi.org/10.1016/s0956-053x(01)00009-5).
20. Alzamora, B. R., & Barros, R. T. d. V. (2020). Review of municipal waste management charging methods in different countries. *Waste Management*, 115, 47–55. <https://doi.org/10.1016/j.wasman.2020.07.020>.

Стаття надійшла до редакції 21.06.2022 і прийнята до друку після рецензування 03.10.2022

REFERENCES

1. *Stan sfery povodzhennja z pobutovymy vidhodamy v Ukraïni za 2021 rik*. (b. d.). Retrieved from: <https://www.minregion.gov.ua/napryamki-diyalnosti/zhhk/terretory/stan-sfery-povodzhennya-z-pobutovymy-vidhodamy-v-ukrayini-za-2021-rik/> [in Ukrainian].

2. Pro shvalennja Nacional'noi' strategii' upravlinnja vidhodamy v Ukrai'ni do 2030 roku, Rozporjadzhennja Kabinetu Ministriv Ukrai'ny № 820-r (2020) (Ukrai'na). Retrieved from: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/820-2017-r#Text> [in Ukrainian].
3. Napadovs'ka, L. A., & Pashkov, A. P. (b. d.). Ekonomika, tehnologii' ta perspektyvy rozdil'nogo zbyrannja tverdyh pobutovyh vidhodiv v Ukrai'ni (na prykladi dosvidu providnyh krai'n svitu). In *Nacional'nyj forum «Povodzhennja z vidhodamy v Ukrai'ni: Zakonodavstvo, ekonomika, tehnologii'»* (pp. 44–47) [in Ukrainian].
4. Kornijenko, I., Kornijenko, S., & Koshma, A. (2016). Rozroblennja modeli merezhi rozdil'nogo zbyrannja tverdyh pobutovyh vidhodiv. *Tehnichni nauky ta tehnologii'*, (1), 122–130 [in Ukrainian].
5. Shekel', O. J., & Shevchenko, L. V. (2010). Tehnologii' ta obladnannja dlja sfery povodzhennja z pobutovymy vidhodamy. *Tehnogenno-ekologichna bezpeka ta cyvil'nyj zahyst*, (1), 84–89 [in Ukrainian].
6. Savuljak, V. I., & Berezjuk, O. V. (2006). Tehnichne zabezpechennja zbyrannja, perevezennja ta pidgotovky do pererobky tverdyh pobutovyh vidhodiv. Vinnycja: UNIVERSUM [in Ukrainian].
7. Savchenko, L. V., D'jachenko, Ju. S., & Velychko, A. V. (2015). Dvoetapna shema perevezennja tverdyh pobutovyh vidhodiv mista. *Visnyk Nacional'nogo transportnogo universytetu*, (31), 463–468 [in Ukrainian].
8. Matvjejev, Ju., & Geletuha, G. (2019). *Perspektyvy energetychnoi' utylizacii' tverdyh pobutovyh vidhodiv v Ukrai'ni*. Retrieved from: <https://uabio.org/wp-content/uploads/2020/01/position-paper-uabio-22-ua.pdf> [in Ukrainian].
9. Roust, K., Zisen, L., & Hellwig, C. (2020). Household waste sorting participation in developing countries – a meta-analysis. *Recycling*, 5(1), 6. <https://doi.org/10.3390/recycling5010006>.
10. Das, S., & Bhattacharyya, B. K. (2015). Optimization of municipal solid waste collection and transportation routes. *Waste Management*, 43, 9–18. <https://doi.org/10.1016/j.wasman.2015.06.033>.
11. Yadav, V., & Karmakar, S. (2020). Sustainable collection and transportation of municipal solid waste in urban centers. *Sustainable Cities and Society*, 53, 101937. <https://doi.org/10.1016/j.scs.2019.101937>.
12. Bertanza, G., Ziliani, E., & Menoni, L. (2018). Techno-economic performance indicators of municipal solid waste collection strategies. *Waste Management*, 74, 86–97. <https://doi.org/10.1016/j.wasman.2018.01.009>.
13. Rogge, N., & De Jaeger, S. (2013). Measuring and explaining the cost efficiency of municipal solid waste collection and processing services. *Omega*, 41(4), 653–664. <https://doi.org/10.1016/j.omega.2012.09.006>.
14. Nanda, S., & Berruti, F. (2020). Municipal solid waste management and landfilling technologies: A review. *Environmental Chemistry Letters*. <https://doi.org/10.1007/s10311-020-01100-y>.
15. Chen, D. M.-C., Bodirsky, B. L., Krueger, T., Mishra, A., & Popp, A. (2020). The world's growing municipal solid waste: Trends and impacts. *Environmental Research Letters*, 15(7), 074021. <https://doi.org/10.1088/1748-9326/ab8659>.
16. Gisi, S. D., Alberotanza, A., Todaro, F., Campanaro, V., & Notarnicola, M. (2020). Separate collection of municipal solid waste and fate of the residual unsorted fraction: A scenario analysis. *Environmental Engineering and Management Journal*, 19(10), 1731–1740. <https://doi.org/10.30638/eemj.2020.163>.
17. Gundupalli, S. P., Hait, S., & Thakur, A. (2017). A review on automated sorting of source-separated municipal solid waste for recycling. *Waste Management*, 60, 56–74. <https://doi.org/10.1016/j.wasman.2016.09.015>.
18. Zhang, J., Qin, Q., Li, G., & Tseng, C.-H. (2021). Sustainable municipal waste management strategies through life cycle assessment method: A review. *Journal of Environmental Management*, 287, 112238. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2021.112238>.

19. van der Sloot, H. A., Kosson, D. S., & Hjelmar, O. (2001). Characteristics, treatment and utilization of residues from municipal waste incineration. *Waste Management*, 21(8), 753–765. [https://doi.org/10.1016/s0956-053x\(01\)00009-5](https://doi.org/10.1016/s0956-053x(01)00009-5).
20. Alzamora, B. R., & Barros, R. T. d. V. (2020). Review of municipal waste management charging methods in different countries. *Waste Management*, 115, 47–55. <https://doi.org/10.1016/j.wasman.2020.07.020>.

The article was received 21.06.2022 and was accepted after revision 03.10.2022

Сатін Ігор Валентинович

канд. техн. наук, доцент Київського національного університету будівництва і архітектури, т.в.о. заступника директора Державного підприємства «Науково-дослідний та конструкторсько-технологічний інститут міського господарства»

Адреса робоча: вул. Митрополита В. Липківського, 35, м. Київ, Україна, 03035

ORCID ID: <http://orcid.org/0000-0002-2028-9791> **e-mail:** satin@nikti.org.ua

Романова Тетяна Іванівна

канд. техн. наук, завідувач лабораторії Державного підприємства «Науково-дослідний та конструкторсько-технологічний інститут міського господарства»

Адреса робоча: вул. Митрополита В. Липківського, 35, м. Київ, Україна, 03035

ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0002-5747-8270> **e-mail:** romanova@nikti.org.ua

Панченко Олена Сергіївна

завідувач лабораторії Державного підприємства «Науково-дослідний та конструкторсько-технологічний інститут міського господарства»

Адреса робоча: вул. Митрополита В. Липківського, 35, м. Київ, Україна, 03035

ORCID ID: <http://orcid.org/0000-0003-3680-7036> **e-mail:** panchenko@nikti.org.ua