

СУЧАСНИЙ СТАН АВТОМАТИЗАЦІЇ ПІДПРИЄМСТВ ПЕРЕРОБКИ ПОБУТОВИХ ВІДХОДІВ В УКРАЇНІ

Вінницький національний технічний університет

Анотація

У статті проаналізовано сучасний стан підприємств з переробки побутових відходів в Україні, включаючи методи сортування, технології переробки, а також перспективи впровадження автоматизації та роботизації. Розглянуто роль штучного інтелекту та цифрових платформ у підвищенні ефективності. Дослідження підкріплено статистичними даними та практичними прикладами інновацій у модернізації інфраструктури, що сприяє сталому розвитку галузі. Результати дослідження свідчать про необхідність впровадження новітніх технологій для оптимізації процесів переробки та зменшення екологічного навантаження.

Ключові слова: переробка відходів, автоматизація, сортування, роботизовані системи, штучний інтелект.

Abstract

The article analyzes the current state of household waste recycling enterprises in Ukraine, including sorting methods, recycling technologies, and prospects for automation and robotics. It highlights the role of artificial intelligence and digital platforms in enhancing efficiency. The study is supported by statistical data and practical examples of innovative infrastructure modernization, indicating a need for new technologies to optimize recycling processes and reduce environmental impact.

Keywords: waste processing, automation, sorting, robotic systems, artificial intelligence.

Вступ

Проблема переробки побутових відходів в Україні є актуальною у контексті екологічної безпеки та сталого розвитку. Станом на 2021 рік, за даними Державної служби статистики України, загальний обсяг утворення твердих побутових відходів перевищив 10 млн тонн, із яких переробляється лише близько 10-15 відсотків. У зв'язку зі зростанням обсягу відходів і дефіцитом полігонів для їхнього захоронення, нагальною є потреба у збільшенні потужностей з переробки, використанні сучасних технологій та розширенні автоматизації основних процесів. Незважаючи на наявність близько 20 сортувальних станцій і заводів, рівень автоматизації залишається низьким.

Основною метою даної роботи є аналіз поточного стану підприємств, технологій сортування та можливостей автоматизації переробних процесів, а також визначення напрямків розвитку автоматизації.

Результати дослідження

За інформацією Міністерства захисту довкілля та природних ресурсів України, на кінець 2021 року в країні налічувалося близько 20 комплексів (сортувальних станцій і заводів), здатних здійснювати механізоване або ручне сортування побутових відходів. Переважна більшість цих підприємств розташовані у великих містах (Київ, Львів, Харків, Дніпро, Одеса), де концентрація відходів є найвищою.

Основні види відходів, які сортуються за видами сировини:

- пластик (PET, HDPE, PP): відокремлюється для подальшої переробки у грануляторних цехах. Гранули використовуються для виготовлення нової тари, технічних виробів та нетканих матеріалів
- метали (сталь, алюміній): вилучаються за допомогою магнітних та вихреструмових сепараторів. Металобрухт переробляється на металургійних комбінатах, де з нього виготовляють листи, прутки або повторно використовують у литві

- скло: сортується здебільшого ручним способом або оптичними датчиками кольору. Після промивання й дроблення склобій використовується в скляній промисловості для виготовлення нової тари

- папір, картон: пресується у брикети та відправляється на целюлозно-паперові комбінати для повторного використання (макулатура).

Ситуація з органічними відходами: в окремих містах (наприклад, Львів) запроваджується роздільне збирання органічних решток, що дозволяє компостувати їх для отримання добрив. Проте такий напрям досі малопоширений через недостатню інфраструктуру для окремого збору органіки та обмежені потужності з її якісної переробки.

Ситуація зі змішаними відходами: більша частина побутових відходів в Україні все ще потрапляє на полігони без попереднього сортування. Однак на сортувальних лініях, де це можливо, відбирають вторинну сировину з потоку змішаних відходів (до 15–20% від загальної маси). Залишок зазвичай захоронюють, оскільки вартість подальшого сортування та переробки є високою.

На практиці підприємства з переробки побутових відходів в Україні використовують різні технологічні цикли, більшість з яких включають механічне сортування, подрібнення і пресування. Рівень автоматизації залежить від типу та масштабів підприємства:

1. Механізоване сортування

- використовуються конвеєрні лінії зі встановленими магнітними сепараторами, оптичними сенсорами та рідше – системами штучного інтелекту для ідентифікації пластиків різного типу.

- за даними експертів, у середньому близько 40% підприємств мають базові засоби автоматизації на рівні конвеєрів з датчиками, тоді як роботизовані руки та повномасштабна автоматизація зустрічаються лише у поодиноких випадках.

2. Пресування та брикетування:

- широко застосовуються гідравлічні преси з електронними системами керування, що дає змогу оптимізувати процес формування тюків вторинної сировини.

- ці системи здебільшого напівавтоматичні: працівник закладає сировину, а далі прес самостійно формує й обв'язує брикети.

3. Теплова переробка (спалювання, піроліз):

- в Україні діє кілька сміттєспалювальних заводів, найбільший з яких – у Києві («Енергія»), але їхні технологічні лінії не завжди оновлюються належним чином. Системи контролю викидів можуть бути частково автоматизовані, проте потребують модернізації.

- піролізні установки в промисловому масштабі поки що рідкість через високу вартість технології та недостатню нормативно-правову базу.

4. Контроль за процесами:

- на більшості підприємств встановлено прості SCADA-системи для моніторингу роботи конвеєрів, пресів і вагових комплексів. Ведеться автоматичний облік ваги відходів, формування звітності в електронному вигляді.

- інтегрована автоматизація з використанням інтернету речей (IoT) та великих даних (Big Data) поки що на початковому етапі.

Останнім часом складною є ситуація із так званими «електронними відходами» або «e-waste» – це тип відходів, який зараз зростає найдинамічніше. До них належать: мобільні телефони, комп'ютерна техніка, принтери, побутова техніка, телевізори, електронні плати тощо. За прогнозами, на кінець 2021 року об'єм e-waste досягнув близько 52 млн тонн. Про це повідомляв Центр управління відходами на своїй Facebook-сторінці. Електронні відходи по суті сміттям не є. Це електронне обладнання та його деталі, більшу частину з яких можна використати повторно або переробити. Але насправді тільки 15–20% електроніки переробляється належним чином. Інші ж 80% потрапляють на звалища і забруднюють довкілля. Електронні відходи є токсичними та містять велику кількість небезпечних речовин: мідь, свинець, ртуть, кадмій, нікель, ПБДЕ та ПХБ, які ще й негативно впливають на здоров'я.

За офіційними даними, в Україні діє кілька сотень офіційних полігонів (за деякими даними понад 600), проте є значна кількість несанкціонованих звалищ. Значна частина полігонів не відповідає європейським екологічним вимогам. Стратегія управління відходами передбачає поступове закриття або модернізацію застарілих полігонів і розвиток переробних потужностей.

Такі звалища відходів, по-перше, займають великі площі та порушують ландшафт, забираючи простір, який міг би бути використаний для корисних цілей, як-от сільське господарство чи будівництво, а по-друге, під час розкладання органічних решток на звалищах утворюються парникові

гази, зокрема метан, а також токсичні речовини, які можуть потрапляти у ґрунтові води й повітря, спричиняючи забруднення навколишнього середовища. Це провокує появу неприємних запахів та створює загрозу для місцевих екосистем і здоров'я людей, які живуть неподалік.

Пожежі на звалищах здебільшого виникають унаслідок самозаймання відходів, що пов'язано з накопиченням метану та високих температур усередині куп сміття. Іскри або відкрите полум'я (скажімо, недопалок цигарки, або пляшка з водою, яка на сонці перетворюється у лінзу і фокусує промінь на легкозаймисті речовини) можуть легко підпалити шар газу, який накопичується під покладами відходів. Подібні загоряння дуже складно ліквідувати, вони можуть тріяти протягом кількох тижнів чи навіть місяців і виділяти в повітря величезну кількість шкідливих речовин – серед них чадний газ і токсичні сполуки. Це шкодить як довкіллю, так і людям, підвищуючи ризики респіраторних захворювань і провокуючи погіршення якості повітря на великих територіях.

Рівень автоматизації та використання сучасних технологій на переробних підприємствах можна розділити на наступні категорії:

1. Сортувальні лінії та сенсорні технології: на більшості підприємств, де є хоч якась автоматизація процесів сортування, використовують конвеєрні стрічки з ручним відбором, а також базові механічні та магнітні сепаратори (для відокремлення металу). У деяких регіонах впроваджують оптичні сепаратори (NIR – near-infrared, ультрафіолетові, кольорові сканери), які дають змогу автоматично розпізнавати певні види пластику, скла та інших матеріалів. Такі системи часто закупаються в європейських чи американських виробників (наприклад, TOMRA, Steinert тощо).

2. Автоматизація на механіко-біологічних комплексах (MBT): у кількох областях (наприклад, Львівській, Київській, Харківській) впроваджено або планується впроваджувати механіко-біологічні комплекси з вищим ступенем автоматизації: сортувальні станції, лінії для механічного відділення органічної фракції з наступним компостуванням або анаеробним зброджуванням. Такі комплекси дають змогу отримувати біогаз або компост, зменшувати обсяг відходів, що захоронюються, а також виділяти ресурси, придатні для вторинної переробки.

3. Роботизоване сортування та штучний інтелект. Хоча в Україні наразі дуже мало прикладів впровадження роботизованих систем (аналогічних до світових прикладів AMP Robotics чи ZenRobotics), проте є поодинокі стартапи і пілотні проекти, які використовують елементи машинного навчання для розпізнавання та сортування відходів. Основна перешкода — висока вартість обладнання та нестабільні обсяги сировини, однак інтеграція України в європейський ринок створює перспективи поступового зростання цього сегмента.

4. Автоматизовані системи обліку та моніторингу. Деякі великі оператори (зокрема у Києві, Львові, Дніпрі) починають впроваджувати цифрові платформи контролю за збором та транспортуванням відходів (GPS-моніторинг сміттевозів, автоматизований облік кількості вивезених контейнерів тощо). Це важливий крок до прозорості та підвищення ефективності логістики, хоча такі рішення поки використовуються вибірково й потребують подальшого масштабування.

5. Міжнародна допомога та гранти. Певні проекти з автоматизації й модернізації (у сфері поводження з відходами, енергоефективності та екології) фінансують міжнародні фонди: ЄБРР, ЄІБ, міжнародні екологічні програми (GIZ, USAID тощо). Особливо під час відновлення інфраструктури після воєнних руйнувань ці проекти можуть стати поштовхом для впровадження інноваційних систем сортування, контролю і переробки відходів.

Галузь переробки побутових відходів нашої країни потребує інвестицій спрямованих на покращення ситуації в цілому. Основними напрямками розвитку автоматизації можуть бути:

1. Впровадження роботизованих систем сортування:

- роботи з комп'ютерним зором та машинним навчанням: використання роботизованих систем, оснащених системами комп'ютерного зору та алгоритмами машинного навчання, здатне зменшити потребу в ручній праці та підвищити точність відбору потрібних матеріалів.

- колаборація з іноземними інвесторами: співпраця українських підприємств з іноземними інвесторами та виробниками робототехніки сприятиме швидшій модернізації обладнання.

2. Розробка автоматизованих центрів збору побутових відходів:

- інтелектуальні автомати для прийому відходів: створення автоматизованих пунктів прийому побутових відходів, наприклад, спеціальних автоматів для прийому пластикових пляшок (PET) та інших переробних матеріалів

- покращення доступності збору: такі центри дозволять збільшити ефективність збору відходів та забезпечити їх подальшу автоматизовану переробку, зменшуючи потребу в ручному сортуванні та сприяючи підвищенню рівня екологічної відповідальності серед населення.

3. Впровадження біореакторів для виробництва біогазу з органічних відходів:

- переробка органічних матеріалів: використання біореакторів дозволяє перетворювати органічні відходи на біогаз, який може використовуватися як джерело енергії для опалення або виробництва електроенергії

- екологічна вигода: цей процес сприяє зменшенню кількості відходів, що потрапляють на полігони, та забезпечує альтернативне, відновлюване джерело енергії, що відповідає принципам циркулярної економіки.

4. Автоматизовані системи логістики та контролю:

- системи моніторингу контейнерів та транспортних засобів: встановлення датчиків заповнення контейнерів, GPS-моніторинг руху сміттєвозів та алгоритми оптимізації маршрутів збору відходів сприяють зниженню витрат на паливо та пришвидшенню обслуговування

- практичне застосування: деякі українські міста, зокрема Львів і Київ, уже впроваджують подібні системи.

5. Поглиблена аналітика та IoT:

- збір та аналіз даних: використання технологій Інтернету речей (IoT) для збору даних про склад відходів, динаміку їх утворення в різних районах та сезонні зміни

- інтеграція з GIS: об'єднання даних з геоінформаційними системами для ідентифікації найпроблемніших ділянок та оптимального планування розміщення нових переробних потужностей.

6. Автоматизація екологічного контролю

- онлайн-моніторинг: встановлення онлайн-станцій моніторингу якості повітря та ґрунту поблизу переробних комплексів з автоматизованим передаванням даних до централізованої бази даних Міністерства захисту довкілля та природних ресурсів.

- оперативне реагування: така система дозволить оперативно виявляти перевищення гранично допустимих викидів і приймати коригувальні заходи.

Впровадження автоматизації дозволить підприємствам значно покращити відсоток сировини, яка придатна для повторної переробки.

Висновки

В Україні досі переробляється незначна частина побутових відходів. Інфраструктура концентрується у великих містах, а в більшості менших населених пунктів відходи просто вивозяться на полігони. На підприємствах переважають механічні та напіваавтоматичні лінії сортування й пресування. Роботизовані системи з комп'ютерним зором є поодинокими. Подальша автоматизація полягатиме у впровадженні роботизованих сортувальних ліній, автоматизованих систем збору відходів, інтелектуальних систем логістики (GPS-моніторинг, оптимізація маршрутів), а також цифрових платформ для збирання та аналізу даних. Це дасть змогу суттєво скоротити обсяги захоронення, підвищити рентабельність переробки та покращити екологічні показники. Таким чином, основою ефективної переробки побутових відходів у найближчі роки стане саме модернізація та автоматизація виробничих потужностей, що сприятиме зменшенню негативного впливу відходів на довкілля та здоров'я населення.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. ТОВ "Консорт". Переробка сміття в Україні [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://konsort.com.ua/pererobka-smittya-v-ukrayini/> (дата звернення: 01.02.2025).
2. Янушевська О. І., Кирій С. О., Косогіна І. В., Кринець Г. В. Основи технології переробки відходів [Електронний ресурс] : підручник для здобувачів ступеня бакалавра за спеціальністю 161 «Хімічні технології та інженерія» / КПІ ім. Ігоря Сікорського. – Київ : КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2022. – 175 с. – Режим доступу: https://ela.kpi.ua/bitstream/123456789/52077/1/Pidruchnyk_Osnovy_tekhnolohii_pererobky_vidkhodiv.pdf (дата звернення: 01.02.2025).
3. Сухомлин О. В. Автоматизація процесів переробки побутових відходів: сучасний стан та перспективи // Екологічний вісник. – 2018. – Т. 10, № 2. – С. 67–75.

4. Державна служба статистики України. Статистичний звіт про утилізацію та переробку відходів. – 2021. – Режим доступу: <http://ukrstat.gov.ua> (дата звернення: 25.01.2025).
5. Що таке електронні відходи і як покращити ситуацію з ними в Україні [Електронний ресурс] // Екополітик. – Режим доступу: <https://ecopolitic.com.ua/ua/news/shho-take-elektronni-vidhodi-i-yak-pokrashhiti-situaciju-z-nimi-v-ukraini/> (дата звернення: 01.02.2025).
6. Європейська комісія. The European Circular Economy Action Plan. – 2018. – Режим доступу: <https://ec.europa.eu/environment/circular-economy/> (дата звернення: 25.01.2025).
7. Еко-сервіс Вінниця [Електронний ресурс] // Facebook. – Режим доступу: https://www.facebook.com/ekoservisvin/?locale=uk_UA (дата звернення: 01.02.2025).
8. Каратєєва О. І., Коваль О. А., Гроза В. І. Технологія переробки побутових відходів та відходів сільського господарства. – Миколаїв : МНАУ, 2018. – 190 с.

Моторний Анатолій Павлович – аспірант 174-ї спеціальності, факультет інтелектуальних інформаційних технологій та автоматизації, Вінницький національний технічний університет, м. Вінниця, e-mail: anatolii.motornyi@gmail.com

Науковий керівник: **Кабачій Владислав Володимирович** – канд. техн. наук, доцент кафедри автоматизації та інтелектуальних інформаційних технологій, Вінницький національний технічний університет, м. Вінниця, e-mail: kabachij.v.v@vntu.edu.ua

Motornyi Anatolii P. – Department of Intelligent Information Technology and Automation, Vinnytsia National Technical University, Vinnytsia, e-mail: anatolii.motornyi@gmail.com

Supervisor: **Kabachii Vladyslav V.** – Cand. Sc. (Eng), Assistant Professor of Intelligent Information Technology and Automation, Vinnytsia National Technical University, Vinnytsia, e-mail: kabachij.v.v@vntu.edu.ua