

ОСОБЛИВОСТІ ПОВОДЖЕННЯ З ВІДХОДАМИ ПОЛІЕТИЛЕНТЕРЕФТАЛАТУ В РЕГІОНАХ УКРАЇНИ

Полушкін Т.І., Сафранов Т.А.

Одеський національний університет імені І.І. Мечникова

вул. Львівська, 15, 65015, м. Одеса

polushkin.timur@gmail.com, safranov@ukr.net

Поліетилентерефталат (ПЕТФ) є одним з домінуючих серед різноманітних пластикових матеріалів для виробництва пляшок, в які розливають алкогольні та безалкогольні напої, питну і мінеральну воду, молоко, олії, соуси та кетчупи. Властивості ПЕТФ зумовлюють його істотну роль як у складі пластикових матеріалів та їх відходах пластикових матеріалів, які поділяються на відходи виробництва, відходи виробничого використання відходи громадського споживання. У структурі відходів пластикових матеріалів 20,4–25 % припадає на ПЕТФ. Незважаючи на ресурсну цінність відходів, які вмістять ПЕТФ, вони потрапляють на численні звалища і полігони ТПВ, а тому проблема їх використання є актуальною. У структурі потоку твердих побутових відходів Одеської області відходи ПЕТФ займають друге місце після відходів поліетилену. Найбільші масштаби накопичення як відходів пластикових матеріалів, так і ПЕТФ в їх складі характерно для Одеську промислово-міської агломерації та прилеглої території, де є необхідні можливості для збирання, сортування та утилізації цих відходів.

Система управління та поводження з відходами пластикових матеріалів, зокрема з ПЕТФ, в Одеській області не відповідає принципами економіки замкнутого циклу та Директиви 2008/98/ЄС. Для удосконалення існуючої системи управління та поводження пропонується: розгашувати «чисті» ПЕТФ-контейнери біля супермаркетів, установ освіти, ТРЦ тощо; працювати з об'єднаннями співвласників багатоквартирних будинків і створити локальні пункти збору відходів (ПЕТФ) у дворах; оголошувати дані щодо збору відходів ПЕТФ, щоб мешканці цих будинків могли бачити результати своїх зусиль та розуміти користь від сортування і роздільного збору. Реальним поштовхом для підняття рівня сортування і роздільного збору відходів пластикових матеріалів, зокрема ПЕТФ-пляшок, має бути впровадження в регіонах України по зразку в країнах ЄС, депозитарної системи збору ПЕТФ-пляшок, як частини відповідальності виробника тари. *Ключові слова:* відходи пластикових матеріалів, поліетилентерефталат управління та поводження, тверді побутові відходи, реціклінг.

Features of Polyethylene Terephthalate Waste management in the regions of Ukraine. Polushkin T., Safranov T.

Polyethylene terephthalate (PET) is one of the dominant plastic materials used for the production of bottles intended for alcoholic and non-alcoholic beverages, drinking and mineral water, milk, oils, sauces, and ketchup. The properties of PET determine its significant role both as part of plastic materials and their waste, which is divided into production waste, industrial use waste, and municipal consumption waste. In the structure of plastic waste, 20.4–25% accounts for PET. Despite the resource value of PET-containing waste, it ends up in numerous landfills and municipal solid waste sites, which makes the issue of its utilization highly relevant. In the structure of the municipal solid waste stream of Odesa region, PET waste ranks second after polyethylene waste. The largest accumulation of both plastic waste and PET in their composition is characteristic of the Odesa industrial-urban agglomeration and adjacent areas, where there are the necessary opportunities for collection, sorting, and recycling of such waste. The system of management and handling of plastic waste, in particular PET, in Odesa region does not comply with the principles of the circular economy and Directive 2008/98/EC. To improve the existing waste management and handling system, it is proposed to: place “clean” PET containers near supermarkets, educational institutions, shopping malls, etc.; cooperate with homeowners’ associations of apartment buildings to establish local PET waste collection points in courtyards; publish data on PET waste collection so that residents can see the results of their efforts and understand the benefits of sorting and separate collection. A real incentive to increase the level of sorting and separate collection of plastic waste, particularly PET bottles, should be the introduction in the regions of Ukraine, following the EU model, of a deposit-return system for PET bottles as part of producer responsibility for packaging. *Key words:* plastic waste, polyethylene terephthalate management and handling, municipal solid waste, recycling.

Постановка проблеми. Поліетилентерефталат (ПЕТФ) є найпоширенішим представником класу поліестерів, тобто синтетичних тканин, створених з поліефірних волокон шляхом хімічної обробки нафтопродуктів. ПЕТФ одним з домінуючих серед різноманітних пластикових матеріалів для виробництва пляшок, в які розливають алкогольні та безалкогольні напої, питну і мінеральну воду, молоко, олії, соуси та кетчупи. Основними перевагами ПЕТФ-пляшок є: 1) герметичність (матеріал вологостійкий і водонепроникне ний, надійно захищає вміст ємності); 2) зручність (тара легка, не б'ється при транспортуванні, вироби стійкі до роз-

тріскування, деформування та ударам); 3) різноманітність (пляшки різних конфігурацій, кольорів та обсягів); 4) безпечність (ПЕТФ не виділяє токсичних речовин та неприємних запахів, але вони не повинні нагріватися понад 25 °С (при нагріванні видаляється дибутилфталат, який може нанести шкоду ендокринній і нервовій системам, а також може бути однією із причин формування злоякісних утворень, гормональних порушень та токсичного гепатиту); 5) можливість багатократного використання (якщо для харчових продуктів таку тару можна повторно використовувати після ретельної очистки і з дотриманням вимог щодо температурного режиму, то для

побутових потреб обмежень немає; 6) процес виробництва не наносить шкоду навколишньому середовищу; 7) ПЕТФ-пляшки успішно піддаються вторинної переробці. ПЕТФ-пляшки мають добрі бар'єрні характеристики, а також одношаровий та однорідний склад, що сприяє їх переробці. Порівняльно з склом, ПЕТФ-пляшки більш легкі і мають менший вуглецевий при виробництві та транспортуванні. Завжди сучасним технологіям дезактивації в процесі переробки спожитого ПЕТФ, цей матеріал став безпечним для повторного використання в якості упаковки для напоїв. Перелічені здатності ПЕТФ зумовлюють їх дуже істотну роль у складі пластикових матеріалів та їх відходах. В той же час, в ПЕТФ-смітті неприпустимо вторинно використовувати, оскільки при контакті з водою або харчовими продуктами виділяються токсичні речовини, а також не рекомендується наливати гарячі напої. Крім того, вони мають незначну зносостійкість.

ПЕТФ і ПЕ можуть бути зовні схожими, хоча вони складені з полімерів з різними властивостями і сферами використання. Поліетилен представляє собою ланцюжок молекул етилену та має формулу $n(C_2H_4)$, ПЕТФ складається з етиленгліколю і терефталевої кислоти та має формулу $n(C_{10}H_8O_4)$. Поліетилен є міцним і легким пластиком, який має високе співвідношення міцності і ваги, та в залежності від щільності може бути прозорим та непрозорим, у той час як ПЕТФ – один з самих прозорих пластичних матеріалів. Обидва пластика можна використовувати для упаковки харчових продуктів, поліефірних волокон, пляшок і контейнерів. Превагами ПЕТФ є легка вага, висока міцність, придатність для харчових контейнерів, вологостійкість та придатність для вторинної переробки.

ПЕТФ-матеріали придатні до переробки, але реальні обсяги їх переробки незначні, і більша частина потрапляє на звалища, де розкладається протягом дуже тривалого часу і виділяє токсичні речовини в ґрунтовий покрив і геологічне середовище. При фрагментації ПЕТФ-матеріалів може утворюватися мікропластик, який потрапляє в природні складові довкілля, що представляє потенційну загрозу для здоров'я людини і стану навколишнього середовища. Виробництво ПЕТФ вимагає значних обсягів нафти, що робить його залежним від цін на енергоресурси та сприяє виснаженню цих невідновлюваних природних ресурсів. ПЕТФ можуть відділяти токсичні речовини при нагріванні, особливо при контакті з гарячою їжею або напоями.

Відходи пластикових матеріалів (ВПМ) поділяються на такі групи [1]:

1) *відходи виробництва*, що утворилися під час процесів синтезу та переробки полімерів, тобто низькомолекулярні фракції полімерів у вигляді злитків-виливів, відходи чистки апаратів, розсіпані частинки, а також браковані вироби, літникові системи (вони можуть бути модифіковані та використані як вторинна полімерна сировина для виго-

товлення виробів з не високим рівнем тренувальних властивостей матеріалу або для спеціальних цілей); 2) *відходи виробничого використання* – різноманітна тара й упаковка; деталі, що вийшли з користування й таке інше, а також віднести медичні, біологічні, будівельні, відходи транспортного комплексу, промислові відходи; 3) *відходи громадського споживання* – це використані зношені вироби, пакування, транспортна тара, предмети домашнього вжитку та інше; вони складають біля 85% всіх ВПМ; їх склад та властивості, як правило, непередбачуваний, а їх передісторія невідома, а тому поки що переробці підлягає тільки обмежена номенклатура відходів, яку треба розширювати.

Вирішення проблеми поводження з відходами ПЕТФ можливо при наявності необхідних технологій. Методи утилізації відходів з ПЕТФ поділяються на такі основні групи:

1) *фізичні методи*, такі, під час яких відбуваються зміна форми, розмірів, агрегатного стану та деяких інших властивостей матеріалу відходів за умови збереження їхнього якісного хімічного складу; ці методи притаманні методам, застосованим для переробки первинної сировини; 2) *хімічні методи*, під час реалізації яких змінюються фізичні властивості та якісний хімічний склад; причому взаємодія речовин здійснюється в стехіометричних співвідношеннях, які визначаються рівняннями хімічних реакцій; 3) *біохімічні методи*, під час реалізації яких мають місце хімічні перетворення за участі мікроорганізмів; – комбіновані методи, які є сполученням методів різних груп, один з яких може бути домінуючим [6].

Методи можливої переробки пластикових матеріалів також умовно можна розділити на механічний, хімічний і термічний рециклінг.

Механічний рециклінг включає переробку як чистих, незабруднених, однотипних відходів, так і суміші полімерних матеріалів з тим або іншим ступенем забруднення. Відрізняється простотою і низькими витратами. Перероблені залишки чи відходи або змішуються з вихідним матеріалом, або використовуються як другосортний матеріал. Механічна переробка полімерних матеріалів може включати: зменшення розміру елементів за допомогою дробарок, різальних машин для подрібнення; відділення полімерів від відходів інших матеріалів; чистку; сушку; складання сумішей.

Термічний рециклінг включає в себе спалювання полімерних відходів. При відсутності інших можливостей утилізації, спалювання з метою використання енергії є ефективним засобом зменшення обсягу відходів органічних матеріалів. Кількість енергії залежить від типу полімеру.

Хімічний рециклінг включає в себе хімічну переробку полімерних матеріалів, в результаті якої полімерні молекули перетворюються в мономері або олігомери, придатні для використання в якості сировини для виробництва нових продуктів.

Жоден з перелічених методів рециклінгу має свої недоліки і обмеження. Серед вищеназваних методів переробки найбільш перспективними можна вважати механічний рециклінг та метаноліз. Обидва методи дозволяють переробляти недостатньо очищений ПЕТФ, що призводить до збільшення сировинної бази, а також ці методи є простимим, відносно дешевими та дозволяють отримати продукт високої якості та чистоти. Переробка відходів з ПЕТФ є одним з найбільш реалізованих прикладів рециклінгу пластикових матеріалів. Стабільність надходження, вільна доступність і великий обсяг відходів ПЕТФ роблять його вторинну переробку цілком рентабельною [7].

Інноваційні хімічні технології переробки ВПМ розглянуті в роботі [8].

Важко повторно використовувати ВПМ через невідповідність між кількістю домішок та вторинних полімерів і якістю сировини. Така операція є значно дорожчою й менш економічно вигідною, ніж виробництво полімерної сировини з первинних матеріалів. Однак повторне використання ВПМ може бути корисним за умови їх широкого застосування, наприклад, у виробництві різноманітних бетонних виробів і деревинно-полімерних плит. Це можливо лише тоді, коли очищення та сортування не мають вирішального значення для виробництва полімерної продукції. ПЕТФ є широко використовуваним полімером у різних галузях завдяки своїм відмінним фізичним і хімічним властивостям. Водночас зростає використання продукції з ПЕТФ призвело до глобальної кризи у сфері поводження з їх відходами, адже неналежна утилізація цих виробів спричинила значну шкоду довкіллю. ПЕТФ є одним з основних складових ВПМ, накопичених на полігонах та звалищах.

Актуальність дослідження. Щороку в країнах світу виробляється 12 млн т ПЕТФ, причому з них 25% йде на виготовлення тари та упаковки. Переробляється лише 5–10% використаної ПЕТФ-тари (в основному, на одержання плівок та волокон). При цьому одержаний продукт не можна застосувати для продуктів харчування, а зниження собівартості вторинного ПЕТФ становить лише 10–15% порівняно з первинним. Існують способи одержання з відходів ПЕТФ волокон, кополімерів, добавок до палива тощо. Однак ПЕТФ дорогий полімер (ціна на ринку у 2020 році складала 800 доларів США), а тому його перероблення в низькомолекулярні продукти, вартість яких на порядок нижче, не доцільно, що зумовлює необхідність перероблення відходів ПЕТФ, наприклад, у вискодисперсний полімерний наповнювач шляхом хімічного оброблення у водному розчині амоніаку [2].

Проблема утилізації ВПМ набула актуальності внаслідок можливого негативного впливу неправильного поводження з ними на стан довкілля. Наприклад, у 2021 році упаковка з ПЕТФ складала 44,7% тари для

напоїв від загального обсягу США і 12% потоку світових твердих побутових відходів (ТПВ).

У структурі ВПМ 20,4% припадає на ПЕТФ (пляшки від різноманітних напоїв та інших рідин). Більшість виробів, тари та упаковки з пластикових матеріалів тривалий час зберігають свої властивості і придатні для повторного використання. Однак збирають та переробляють лише 12% ПЕТФ. Причому промисловість здатна переробити в кілька разів більше вторинної сировини ніж її продукується сьогодні із відходів [3].

За іншими даними [4] з загального об'єму ВПМ основна маса припадає на ПЕТФ – 25%, на поліетилен низького і поліетилен високого тиску – по 15%, поліпропілен – 13%, полістирол – 6%, полівінілхлорид – 5% і на інші пластикові матеріали – 21%. Однак, на сьогоднішній день тільки 10% ВПМ піддаються рециклінгу, а ті полімерні відходи, що залишаються в багатьох країнах, включаючи і Україну, накопичуються на звалищах ТПВ, де протягом тривалого часу (від 100 до 1000 років) вони розкладаються.

В Україні щороку утворюється 14 млн т ТПВ, причому близько 30% від них складають пляшки, пластикові упаковки, целофанові пакети, одноразовий посуд тощо. В країні досі не налагоджена і не розвинена належна інфраструктура роздільного збирання ТПВ. На державному рівні майже не існує підприємств із переробки ВПМ, а 35 недержавних компаній, які здійснюють їх переробку, завантажені лише на 40%, а ВПМ вони імпортують, щоб довантажити потужності [5].

Отже, широка розповсюдженість серед пластикових матеріалів ПЕТФ зумовлює їх високу частку в складі ВМП. Незважаючи на ресурсну цінність ВПМ, які вмістять ПЕТФ, вони потрапляють на численні звалища і полігони ТПВ, а тому проблема використання відходів з ПЕТФ як вторинних матеріальних ресурсів є актуальною екологічною та соціально-економічною проблемою.

Метою дослідження є аналіз можливості використання відходів з ПЕТФ в регіонах України.

Зв'язок авторського доробку із важливими науковими та практичними завданнями. Важливість удосконалення системи управління та поводження з відходами виробництва та споживання визначається у «Національній стратегії управління відходами в Україні до 2030 року» (схвалено розпорядженням Кабінету Міністрів України від 8 листопада 2017 р. № 820), у Регіональних програмах управління відходами в Україні, які визначають стратегії та заходи для сталого управління відходами в конкретному регіоні країни (Наказ Міністерства захисту довкілля і природних ресурсів України від 16.04.2024 за № 403). В представленій роботі визначені і проаналізовані можливості використання в якості вторинної сировини відходів з ПЕТФ окремих регіонів України, зокрема в Одеській області.

Виділення не вирішених раніше частин загальної проблеми. В роботах авторів (Т.А. Сафранов, В.Ю. Приходько, В.І. Михайленко, 2024); Т.А. Сафранов, В.І. Данкевич, Т.І. Полушкін, 2024; Т.І. Полушкін, Т.А. Сафранов, 2025), присвячених особливостям управління та поводження на території Одеської області наведенні дані щодо можливостей використання ресурсоцінних компонентів ТПВ регіонів України, зокрема у загальному потоці ТПВ Одеської області. У даній роботі дана оцінка можливостей використання лише відходів з ПЕТФ в якості вторинної сировини.

Новизна. У представленій роботі авторами уперше проведена оцінка можливостей використання відходів з ПЕТФ в якості вторинної сировини, що утворюються у загальному потоці ТПВ окремих регіонів України,

Методологічне або загальнонаукове значення. Методологічною основою дослідження є критичний аналіз існуючих підходів до управління та поводження з відходами з ПЕТФ та можливостей їх використання в якості вторинної сировини. При виконанні роботи були використані опубліковані дані, а також матеріали власних досліджень, присвячених дослідженню оцінки можливостей їх використання окремих видів відходів пластикових матеріалів в якості вторинної сировини.

Викладення основного матеріалу. Найбільш раціональним способом утилізації ВПМ (у т. ч. відходів ПЕТФ) є їх повторне використання за прямим призначенням. Капітальні витрати при такому способі утилізації невеликі. При цьому не тільки досягається ресурсозберігаючий ефект від повторного залучення матеріальних ресурсів у виробничий цикл, а й істотно знижуються навантаження на навколишнє середовище. Основним методом утилізації ВПМ є їх використання як вторинних матеріальних ресурсів. Перероблення їх у термопластичні композитні матеріали дозволяє одночасно позбутися з ВПМ і зробити виробництво економічно доцільнішим.

Відомо, що 19% ВПМ спалюються, а решта відправляються на звалища ТПВ або взагалі не утилізуються. Висока енергоємність і вартість процесу захоронення призводять до того, що цей процес не завжди відповідає технології, внаслідок чого складові цих відходів потрапляють у природні складові довкілля, а тому одним із дієвих способів комплексного вирішення таких екологічних проблем, як утилізація та переробка полімерних відходів може стати використання стратегії циклічної економіки [9].

Вторинна переробка ВПМ має велике значення тому, що: 1) деякі природні ресурси обмежені і не можуть бути поновлені; 2) матеріали, що стають відходами, забруднюють навколишнє середовище і несуть серйозну екологічну загрозу; 3) ВПМ (особливо вироби, що закінчили свій життєвий цикл),

часто є більш дешевими джерелами багатьох речовин і матеріалів, ніж джерела природні [10].

Для ефективної переробки ПЕТФ-пляшок необхідно: зняти кришки, етикетки та кільця, оскільки вони вироблені із других видів пластичних матеріалів; звільнити пляшки від залишків вмісту, промити та висушити; зім'яти пляшки для зручності транспортування.

У багатьох містах України можна здати ПЕТФ-пляшки в спеціальні контейнери для вторинної сировини, які розташовані в різних частинах міст. Крім того, ПЕТФ-пляшки можна здати в пункти прийому вторинної сировини, або під час акцій по збиранню відходів. Існують обмеження на прийом ПЕТФ-пляшок білого кольору, що зумовлено добавками двоокисі титану, або незначної кількості карбонату кальцію (крейди), але в Україні є підприємства, які переробляють такі пляшки на флекс, з якого виробляють текстильні деталі для автомобілів.

За даними [11] в регіонах України основними складовими ВПМ є поліетилен (ПЕ), поліетилентерефталат (ПЕТФ), полівінілхлорид (В), поліпропілен (РР) та полістирол (PS).

У морфологічному складі ТПВ обласних центрів України частка ВПМ в середньому складає 9,8%, а частка ПЕТФ – 3,4%; у складі потоку ТПВ інших міст країни на ВПМ припадає 8,5%, а на ПЕТФ – приблизно 3,5% [12].

Україна є однією з найбільших постачальниць ПЕТФ-тари з європейських країн. Її частка в імпорті становить 57%. На ринку переробки ПЕТФ близько 63% припадає на волокна та неткані матеріали. Основним напрямом використання є виробництво волокон з обсягом близько 70 тис. т – у 2017 році. На другому місці за обсягами споживання (близько 17%) – так званий повний рециклінг «*bottle-to-bottle*» з наступним отриманням преформ. На третьому – виробництво обв'язувальних стріппінг-стрічок для пакування виробів. Практично всі компанії в Україні переробляють ПЕТ-відходи на гранули, які можна використовувати у виробництві продукції зі зниженими споживчими властивостями (неткані волокна та геосинтетичні стрічки, листи й інша продукція для технічного застосування). До того ж значна частина великих переробників використовує вторинний ПЕТФ у своєму технологічному циклі для випуску кінцевої продукції (волокна з вторинного ПЕТФ-флекс. На ринку також налічується значна кількість компаній, які тільки збирають відходи ПЕТФ й інші ВПМ, їх пресують і подрібнюють для продажу. Вони представлені переважно малим бізнесом із потужностями до 3 тис. т на рік. Загальна кількість підприємств оцінюється у кілька тисяч. Найбільші переробники розташовано поблизу великих міст.

Кількість ТПВ, утворених населенням Одеської області складає 724 467,05 т. Якщо орієнтуватися на

морфологічний склад ТПВ Одеси, то середній вміст ПЕТФ складає 3,95% за масою. Кількість ПЕТФ (в основному, тара для напоїв) в потоці ТПВ Одеської області сягає 2 811,27 т. В містах Одеської області працюють компанії, які приймають у населення вторинну сировину, зокрема ПЕТФ-пляшки. Деякі компанії встановлюють у дворах сітки для роздільного збирання ТПВ, а потім вивозять відсортувані відходи.

Обсяги утворення відходів пластикових матеріалів, зокрема ПЕТФ, на території Одеської області наведені в таблиці 1.

У структурі потоку ТПВ Одеської області відходи ПЕТФ займають друге місце після відходів поліетилену. Найбільші масштаби накопичення як ВПМ, так і ПЕТФ в їх складі характерно для V кластеру, який охоплює Одеську промислово-міську агломерацію та прилеглу територію, де є необхідні можливості для збирання, сортування та утилізації цих відходів. Варто зазначити, що у сфері збирання ВПМ на цій території зайняти багато компаній («Вторресурси», «Стиль Пак», «Пласт лом», «Альта-Профіль Україна», «Пластикс-Україна» «Каскад-Пластик», «Станція переробки сміття», «Утильвторпром», «Plastiker». «Ecolos» «Litolan» тощо.) Крім того, відсортовані ВПМ можна здавати у чисельні міські пункти прийому вторинної сировини, а також у фандомати для роздільного збору сміття у мережі магазинів («Перехресток», «Карусель», «Ашан», «Мега», «Ельдорадо», «М. Відео» і т. д.).

Наприклад, компанія «Еко Грін» (м. Одеса) набуває спресовані або неспресовані РЕТЕ-пляшки та використану упаковку від шампуні у фізичних та юридичних осіб які бу зібрані на спеціалізованих пунктах збирання або контейнерах призначених для ВПМ. Компанія приймає ПЕТФ, потім здійснює процеси сортування та дроблення до фракцій розміром 8–12 мм, після чого ПЕТФ надходять у флотаційні ванни, а далі після сушіння пакуються в тюки вагою в одну тонну. Щомісяця переробляється близько 9 млн, а щороку на ремонт, у середньому по році ми обробляємо близько 100 млн пляшок. Одержаний продукт (РЕТЕ-флекс) реалізується підприємствам,

які виробляють: 1) РЕТЕ-гранули, з яких видуваються нові пляшки; 2) РЕТЕ-волокно для виробництва синтепону; 3) РЕТЕ-плівку для пакування харчових продуктів; 4) РЕТЕ-стаканчики та форми для кулінарії.

Науково-виробнича компанія УкрЕкоПром» (м. Одеса) надає широкий комплекс у сфері поводження з відходами та екологічного обслуговування підприємств на території Одеської області та інших областей України, зокрема у сфері переробки окремих видів ПЕТФ [13].

Переробка ПЕТФ-відходів допомагає скоротити кількість відходів на звалищах і полігонах ТПВ, а також зменшити споживання вихідної природної сировини (нафти) і мінімізувати негативний вплив на стан довкілля. Перероблені ПЕТФ-відходи можна використовувати для виробництва нових пляшок, текстилю, килимів, будівельних матеріалів тощо. Також існують технології, які дозволяють переробляти ПЕТФ в матеріали, що придатні для використання у харчовій промисловості.

Слід нагадати, що пріоритетними напрямками реалізації економіки замкнутого циклу є: сприяння повторному використанню предметів; підвищення культури роздільного збирання відходів серед населення; припинення вивезення роздільно зібраних відходів на полігони ТПВ; розвинення економічних інструментів, завдяки яким зменшується вивіз відходів на звалища; спрощення та гармонізація методів розрахунку тарифів на ТПВ для підвищення конкурентоздатності переробленої продукції; стимулювання промислового симбіозу: перетворення побічного продукту однієї галузі у сировину для іншої; відмовлення при виготовленні продукції від матеріалів, які не можна переробляти; економічне стимулювання еко-дизайну упаковки і схеми відновлення та перероблення предметів вжитку [14].

Основною метою Директиви 2008/98/ЄС є впровадження системи управління відходами, яка максимально зменшить їх негативний вплив і на здоров'я людини та стан довкілля й забезпечить збереження природних ресурсів, а також чітко регламентує питання утворення та поводження із відходами.

Таблиця 1

**Обсяги утворення відходів пластикових матеріалів, зокрема ПЕТФ,
на території Одеської області, т/рік [13]**

Кластер	Відходи пластикових матеріалів, т/рік	
	Всього	ПЕТФ
I	6498,89	2277,76
II	5507,01	1924,12
III	60356,33	18509,17
IV	2562,45	2562,45
V	8367,25	2937,77
Всього	83291,93	28211,27

Директива 2008/98/ЄС передбачає використання ієрархії управління відходами, яка являє собою перевернуту піраміду та відображає п'ять підходів до поводження з відходами: 1) видалення (захоронення та спалювання відходів без вироблення енергії); 2) відновлення (спалювання відходів із виробленням енергії); 3) перероблення (перетворення відходів у вторинну сировину для повторного використання); 4) повторне використання (вторинне використання предметів без перероблення); запобігання (комплекс заходів щодо скорочення обсягів утворення відходів). Вважається, що видалення є найменш ефективним способом поводження з відходами, а запобігання – найбільш ефективним способом. Такі підходи можуть бути прийняті для ВПМ, зокрема для ПЕТФ-відходів.

Система управління та поводження з ВПМ, зокрема з ПЕТФ, в Одеській області не відповідає принципами економіки замкнутого циклу та Директиви 2008/98/ЄС по таким причинам 1) вона не відповідає вимогам екологічної безпеки, оскільки більша частина ВПМ потрапляє на полігони та численні несанкціоновані сміттєзвалища, що спричиняє додатковий тиск на природне середовище та негативно впливає на якість життя мешканців окремих районів області; 2) на більшій частині території області функціонує лише базова модель поводження з ТПВ; 3) хоча роздільне збирання ТПВ декларується як пріоритетний напрям, на практиці воно реалізується лише частково; 4) значна частина міського населення поки що не має достатнього рівня екологічної свідомості щодо сортування відходів; 5) відсутність чітких, зручних інструкцій та нерегулярне вивезення вторинної сировини підбивають довіру до існуючої системи; 7) відсутні сучасні підприємства з комплексної переробки ТПВ, а ті, що діють, обмежуються переважно первинним сортуванням і брикетуванням вторинної сировини для подальшого транспортування в інші регіони [15].

Для удосконалення системи управління та поводження з ВПМ, зокрема з ПЕТФ, пропонується: 1) розташувати «чисті» ПЕТФ-контейнери біля супермаркетів, установ освіти, ТРЦ тощо; 2) працювати з об'єднаннями співвласників багатоквартирних будинків і створити локальні пункти збору ВПМ (ПЕТФ) у дворах; 3) оголошувати дані щодо збору ВПМ (ПЕТФ), щоб мешканці цих будинків могли бачити результати своїх зусиль та розуміти користь від сортування і роздільного збору.

Реальним поштовхом для підняття рівня сортування і роздільного збору ВПМ, зокрема ПЕТФ-пляшок, має бути впровадження в регіонах України по зразку в країнах ЄС, депозитарної системи збору ПЕТФ-пляшок, як частини відповідальності виробника тари. У країнах ЄС вимагається 77% окремого збору пляшок до 2025 року та 90% їх збору до 2029 року (SUPD). Існуючий досвід показує, що без депозиту ці показники поводження з пластиковими

пляшками не можуть бути досягнуті. При цьому варто зазначити: 1) економічний стимул – сума 0,1 євро, яку відчуває кожен покупець, тобто він купує напої і «позичає» пляшку державі, а коли повертає, то забирає завдаток; 2) зручність – повернення у будь-якому великому магазині площею понад 300 м² або в автоматі погашає «тертю» користувача; 3) шкільна мережа та ІТ-облік – централізована база штрихкодів (GSI), прозорий кліринг і лічильні центри сприяють рівню довіри споживачів. Щодо ефективності впровадження депозитарної системи свідчать дані по окремих країнах ЄС (Литва, Латвія, Словаччина, Румунія, Німеччина тощо).

Варто зазначити, в Україні вже є правові підстави у вигляді Закону у вигляді Закону № 2320-IX «Про управління відходами» і курсу на РВВ (EPR – *Extended Producer Responsibility*), тобто система, яка покладає на виробників відповідальність за весь життєвий цикл їхньої продукції, включаючи утилізацію після завершення терміну служби, щоб стимулювати створення екологічно-безпечних продуктів та зменшити навантаження на муніципалітети й платників податків, а саме РВВ (EPR) для пакування, але депозит – це окремий «надбудовний» механізм, який треба запустити як національну інфраструктуру.

Для впровадження національної депозитної системою необхідно: 1) закріпити цю систему законодавчо (наприклад, для ПЕТФ-пляшок до 3 дм³ при рівні депозиту 0,2 євро); 2) визначити роль операторів цієї системи від імені виробників/імпортерів напоїв (окремих неприбутковий оператор або консорціум); 3) намітити цілі – 77% до 2026 року та 90% до 2029 року.

Пропонується така модель управління та фінансування: 1) оператор – неприбуткова структура, підзвітна виробникам і державі, яка відповідає за реєстри, контракти, логістику, кліринг; 2) джерела фінансування – несплачені депозити, плата виробників, дохід від реалізації сировини (ПЕТФ), оплата послуг пунктам прийому (по аналогії систем діючих в ЄС).

Інфраструктура та ІТ-облік: 1) *Return-to-retail* – обов'язковий прийом у магазинах площею понад 300 м²; добровільний прийом для інших магазинів, що дозволить розширити «близкість» пунктів повернення; 2) національний реєстр штрихкодів (GSI) і маркування депозитом; єдина ІТ-система клірингу з онлайн-звітністю у реальному часі; 3) Мережа (автомати) + ручний прийом, лічильні/сортувальні центри, транспорт, договори з переробниками ПЕТФ-відходів.

Операційні правила: 1) чіткий «каталог» прийому: пляшки з маркуванням DRS, не стиснуті (або за правилами), з кришечкою, зчитуваний штрихкод; 2) антифрод – захист від «міграції» тари, контроль за «чужими» кодами, відеофіксація на лічильних центрах, аудит потоків; 3) єдині тарифи й SLA для магазинів/операторів перевезень.

Комунікація і залучення: 1) єдина національна кампанія (телебачення, діджитал, інстор): «купив – повернув – отримав депозит»; 2) прозорі метрики – щомісячні публічні дашборди: кількість прийнятих пляшок, % повернення по регіонах, якість сировини тощо.

Пілотний проєкт і масштабування (реалістичний таймлайн): 1) 0–6 місяців – ухвалення моделі, створення оператора, технічні регламенти, тендер на ІТ та логістику; 2) 6–12 місяців – пілотні проєкти у 2–3 регіонах (місто-мільйонник + область), тест клірингу, навчання ритейлу.

Висновки. На підставі проведених досліджень, можна зробити такі основні висновки:

1. Система поводження з ТПВ, зокрема з відходами ПЕТФ в регіонах України, зокрема в Одеській області, не відповідає принципам циркулярної еко-

номіки, а тому більша частина ресурсоцінних компонентів (у тому числі відходів ПЕТФ) потрапляють на чисельні звалища і полігони, що негативно впливає на стан довкілля.

2. Можливості ефективного використання відходів ПЕТФ матеріалів обмежується низкою причин, у разі усунення яких можна удосконалити існуючу систему управління та поводження з цими ресурсоцінними складовими ТПВ, що дозволить зменшити рівень техногенного навантаження на довкілля і отримати економічну вигоду.

3. У разі удосконалення існуючої системи збирання та переробки відходів пластикових матеріалів, зокрема відходів ПЕТФ, що утворюються на території Одеської області, істотна їх частка може бути перероблена на існуючих підприємствах Одеської промислово-міської агломерації.

Література

1. Волошина І.В. Переробка сміття, що містить пластик (огляд). *Теплофізика та теплоенергетика*. 2019. Т. 41, № 3. С. 90-98.
2. Пушкарьов Ю.М., Сайтарли С.В., Савін С.М. та ін. Одержання і властивості полімерних композитів, наповнених модифікованим високодисперсним поліетилентерефталатом. *Voprosy khimii i khimicheskoi tekhnologii*. 2024. № 5. С. 91-95.
3. Радовенчик В.М., Гомеля М.Д. Тверді відходи: збір, переробка, складування: навчальний посібник. К. : Вид-во «Кондор», 2010. 552 с.
4. Єфремова О., Іванішена Т., Іщук Т., Трухін О., Єфремова Ю. Сучасний стан поводження з полімерними відходами. *Herald of Khmelnytskyi national university*, 2022 (313). Issue 5. С. 26-31.
5. Коломієць Т. М., Караваєв Т.А., Глушкова Т.Г. Полімерні відходи: проблеми накопичення та вторинної переробки. *Вісник Львівського торговельно-економічного університету. Технічні науки*. 2021. № 26. С. 86-94.
6. Мікульонек, І.О. Обладнання і процеси переробки термопластичних матеріалів з використанням вторинної сировини: монографія. К. ІВЦ Видавництво «Політехніка», 2009. 265 с.
7. Мельник Л.І., Руденко І.В. Аналіз методів переробки відходів поліетилентерефталату. URL: <https://journals.indexcopernicus.com/api/file/viewByFileId/233053> (дата звернення 19.08.2025).
8. Янушевська О.І., Кринець Г.В., Літинська М.І. Інноваційні хімічні технології переробки вторинних матеріалів. частина 1: навчальний посібник. URL: <https://ela.kpi.ua/server/api/core/bitstreams/fba5314f-5e62-4d2a-895e-8faf44503b22/content/> (дата звернення 21.08.2025).
9. Савчук Б.П., Пушкарьов Д.В. Способи переробки полімерних відходів. *Вісник Східноукраїнського національного університету імені Володимира Даля*. 2025. № 1 (287). С. 67-77.
10. Кавиршин О. Г., Кавиршина В. О. Проблеми використання ресурсного потенціалу відходів міста. *Вісник ІЕПД НАН України*. 2011. № 1. С. 11-21.
11. Лаптева Ю. Ринок вторинного поліетилену в Україні. Презентації доповідей Waste Management – 2019. URL: <https://drive.google.com/file/d/1zE7Y9FwTJHqnusr142cDWpco3awMjab/view?usp=sharing> (дата звернення 21.08.2025).
12. Морфологічний склад побутових відходів узагальнені дані населених пунктів України. URL: <https://ulead.org.ua/storage/admin/files/6c39ec127cadea84a3bd81453656d3ae.pdf> (дата звернення 21.08.2025).
13. Сафранов Т.А., Данкевич В.І., Полушкін Т.І. Особливості управління та поводження з відходами пластикових матеріалів на території Одеської області. *Науковий вісник Вінницької академії безперервної освіти. Серія «Екологія»*. 2024. Вип.2. С. 75-82.
14. Михайлова Є.О. Пластикові забруднення – одна з головних екологічних проблем людства. URL <https://repository.hneu.edu.ua/bitstream/123456789/25028/1/%D0%9C%D0%B8%D1%85%D0%B0%D0%B9%D0%BB%D0%BE%D0%B2%D0%B0%20%D0%84.%D0%9E> (дата звернення 21.08.2025).
15. Полушкін Т.І., Сафранов Т.А. Можливості використання окремих видів відходів пластикових матеріалів у регіонах України. *Екологічні науки*. 2025. № 3(60). С. 173-177.

Дата першого надходження рукопису до видання: 23.10.2025

Дата прийнятого до друку рукопису після рецензування: 28.11.2025

Дата публікації: 15.12.2025