

**МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ  
МАРІУПОЛЬСЬКИЙ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ  
ЕКОНОМІКО-ПРАВОВИЙ ФАКУЛЬТЕТ  
КАФЕДРА РАЦІОНАЛЬНОГО ПРИРОДОКОРИСТУВАННЯ ТА  
ОХОРОНИ НАВКОЛИШНЬОГО СЕРЕДОВИЩА**

До захисту  
допустити:  
Завідувач  
кафедри

\_\_\_\_\_ (підпис)

\_\_\_\_\_ (ПІБ завідувача кафедри)

«\_\_» \_\_\_\_\_ 20\_\_ р.

**«ОПТИМІЗАЦІЯ ПЕРЕРОБКИ ПЛАСТИКОВОГО СМІТТЯ  
НА ПРИКЛАДІ ВИГОТОВЛЕННЯ ЕКО-ПЛИТ»**

Кваліфікаційна робота  
здобувача вищої освіти  
другого  
(магістерського) рівня вищої  
освіти освітньо-професійної  
програми  
«Екологія та охорона  
навколишнього середовища»  
(назва освітньо-професійної програми)

**Камка Віталій Володимирович**

(прізвище, ім'я, по батькові здобувача вищої освіти)

**Науковий керівник:**

Зеленська В.А., кандидат біологічних наук,  
доцент кафедри раціонального природокористування  
та охорони навколишнього середовища

(прізвище, ініціали, науковий ступінь, вчене звання)

**Рецензент:**

Шабанов В. І., кандидат біологічних наук,  
проректор з науково-методичної роботи  
Донецького обласного інституту післядипломної освіти

(прізвище, ініціали, науковий ступінь, вчене звання, місце роботи)

Кваліфікаційна робота  
захищена з оцінкою \_\_\_\_\_ Секретар ЕК \_\_\_\_\_  
«\_\_» \_\_\_\_\_ 20\_\_ р.

## ЗМІСТ

<b>ВСТУП</b> .....	3
<b>РОЗДІЛ 1. ПЛАСТИКОВЕ СМІТТЯ В СИСТЕМІ КОМПЛЕКСНОГО УПРАВЛІННЯ ВІДХОДАМИ</b> .....	5
1.1. Система комплексного управління відходами.....	5
1.2. Пластикове сміття як глобальна проблема сучасності.....	19
1.3. Проблеми переробки пластикових відходів.....	25
Висновки до розділу 1.....	27
<b>РОЗДІЛ 2. АНАЛІЗ СПОСОБІВ ПЕРЕРОБКИ ПЛАСТИКОВИХ ВІДХОДІВ</b> .....	28
2.1. Порівняльний аналіз методів утилізації пластикових відходів.....	28
2.2. Способи впливу на пластикові відходи.....	30
2.3. Особливості технологій механічної переробки пластикових відходів....	32
Висновки до розділу 2.....	46
<b>РОЗДІЛ 3. ВДОСКОНАЛЕННЯ ТЕХНОЛОГІЧНОГО ПРОЦЕСУ ПЕРЕРОБКИ ПЛАСТИКОВИХ ВІДХОДІВ ДЛЯ ВИРОБНИЦТВА БУДІВЕЛЬНИХ ЕКО-ПЛИТ</b> .....	47
3.1. Типовий технологічний процес механічної переробки пластикових відходів.....	47
3.2. Удосконалення технології переробки пластикових відходів.....	53
3.3. Удосконалення технологічного процесу виробництва еко-плит.....	59
Висновки до розділу 3.....	66
<b>ВИСНОВКИ</b> .....	67
<b>СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ</b> .....	68

## ВСТУП

Сучасна ситуація в різних сферах діяльності людини характеризується нераціональним використанням природних ресурсів і безперервним ростом утворення антропогенних відходів.

Інтенсивний розвиток науково-технічного прогресу і бурхливий ріст народонаселення за останнє століття привели до того, що у світі накопичилося колосальна кількість невикористаних відходів.

Оскільки природні механізми не встигають знешкоджувати великі маси відходів, що швидко поступають у біосферу, виникає загроза значного погіршення стану довкілля (атмосфери, ґрунтів, поверхневих і підземних вод).

У наш час людство підійшло до тієї межі, за якою подальше некероване утворення відходів приведе до безповоротних змін, пов'язаних із забрудненням довкілля, і порушенням стійкості біосфери. Тому проблема управління відходами набула глобального характеру і зайняла одне з важливих місць у ряді екологічних і природоохоронних проблем планети.

У Україні, як і у багатьох інших країнах, рішення задачі ефективного управління відходами стає одним з пріоритетів розвитку міст і цілих регіонів. Від успішного рішення цієї задачі багато в чому залежить оздоровлення природного середовища і забезпечення екологічної безпеки урбанізованих територій.

Значне застосування полімерів за останні декілька десятиліть обумовлене їх чудовими хімічними і фізичними властивостями наприклад, характеристикою газонепроникності, низькою дифузійною здатністю, відмінними механічними і термомеханічними властивостями, високою інертністю матеріалу. З іншого боку, пластикові відходи представляють небезпеку для людини і довкілля. Глобальна кількість пластикових відходів, що утворилися з 1950 по 2023 рік, склала приблизно 6,3 млрд тон. Щороку, згідно з опублікованими даними, близько мільйона тонн пластикових

відходів потрапляє в океан і на звалища. Нині методи переробки пластику включають поховання, спалювання і рекуперацію енергії, а також її переробку. Методи поховання і спалювання мають небезпечні речовини, що викидаються в довкілля.

Для скорочення кількості пластикових відходів можна застосувати декілька стратегій. Підхід до зниження забруднень пластиком підрозділяється на чотири основні типи заходів : скорочення споживання, заміна, переробка і утилізація.

Процес переробки пластику може здійснюватися з використанням механічних і хімічних процесів. Основною метою переробки пластикового сміття є перетворення вторинної сировини в економічно придатні для повторного використання форми.

Крім того, ключовий момент переробки пластикових відходів полягає не лише в зниженні вартості технологічного процесу, але і в підтримці екологічного балансу, необхідного для стійкого розвитку нашої планети. Вартість хімічної переробки пластикових відходів вища, ніж вартість механічної переробки. З цієї причини найбільш актуальні інновації в області технології механічної переробки пластикових відходів з метою підвищення якості продукції, що випускається, і застосування її у більше інноваційних технологічних процесах.

**Об'єкт дослідження:** технологічний процес механічної переробки пластикових відходів і виробництва будівельних полімерних плит.

**Предмет дослідження:** переробка пластикового сміття в системі управління відходами.

**Задачі дослідження:** на основі вивчення літературних джерел, виявити проблеми, які виникають при переробці пластикових відходів і запропонувати шляхи їх вирішення за допомогою технічних рішень.

**Мета дослідження:** вдосконалення технологічного процесу переробки пластикових відходів і виробництва будівельних полімерних плит.

# РОЗДІЛ 1

## ПЛАСТИКОВЕ СМІТТЯ В СИСТЕМІ КОМПЛЕКСНОГО УПРАВЛІННЯ ВІДХОДАМИ

### 1.1. Система комплексного управління відходами

Поняття «Управління відходами» охоплює як організацію поводження з відходами (включаючи збір, транспортування, утилізацію, переробку), так і заходи по запобіганню і зменшенню утворення відходів на основі організаційних, нормативно-правових, законодавчих, економічних, освітньо-інформаційних і інших підходів.

При вирішенні проблеми управління відходами слід виходити з того, що відходи життєдіяльності людини володіють двома принципово різними властивостями. З одного боку, відходи - це джерело негативної дії на людину і природне середовище, з іншого боку - джерело вторинних матеріально-сировинних і паливно-енергетичних ресурсів. У зв'язку з цим для забезпечення ефективного управління відходами необхідно одночасно добитися реалізації двох основних цілей:

- мінімізації екологічної небезпеки на усіх стадіях поводження з відходами;
- досягнення максимально можливого використання відходів в якості альтернативного джерела енергії і сировини.

Таким чином, ефективно організована система управління відходами дозволить не лише звести до мінімуму негативну дію відходів на здоров'я населення і довкілля, але і частково розв'язати проблему виснаження природних ресурсів.

Поставлених цілей не можна досягти шляхом простого посилення екологічних стандартів або вибором «правильних» технологій і їх комбінацій. Досить привести визначення терміну «система управління відходами», щоб зрозуміти складність і різноманіття завдань, пов'язаних з процесами розпорядження відходами.

В Україні система управління відходами регулюється рядом державних стандартів [1-8].

Система управління відходами може бути визначена як частина загальної системи адміністративного управління, яка включає організаційну структуру, діяльність по плануванню, обов'язки і відповідальність, практичні заходи, методи, процедури, процеси і ресурси, необхідні для формування, впровадження, досягнення, аналізу і оптимізації політики в області управління відходами [1].

У розвинених країнах управління відходами розглядається як складна система, направлена своїми зусиллями передусім на скорочення кількості відходів, що утворюються, і їх максимально можливу утилізацію.

При розгляді системи управління можна виділити три взаємозв'язані компоненти:

- виробника (власника відходів), який повинен отримати економічну вигоду від їх використання;
- довкілля, стійкість якого не повинна порушуватися в результаті утворення відходів і поводження з ними;
- суспільство, яке не повинне страждати від сусідства з об'єктами переробки або розміщення відходів.

Схема стосунків системи управління відходами з її «споживачами» показана на рис. 1.1.



Рис. 1.1. Стосунки системи комплексного управліннями відходами

Виділені компоненти, роблячи вплив на систему, викликають дію у відповідь. Наприклад, суспільство впливає на систему, домагаючись зниження впливу відходів на здоров'ї людини; у свою чергу, система впливає на суспільство, регулюючи (у кращу або гіршу сторону) його відношення не лише до виробників відходів, але і до органів влади.

Передбачається, що управління включає порядок в освіті і поводженні з відходами, а також залучення населення до участі в роздільному зборі відходів споживання.

Система комплексного управліннями відходами (КУВ) повинна відстежувати, контролювати і управляти усіма діями з відходами, починаючи з моменту їх освіти до моменту утилізації або поховання.

Система управління відходами має бути побудована на відомих принципах ієрархії пріоритетів для КУВ, законодавчо закріпленою у рамках європейського і міжнародного права. Ієрархія як спосіб побудови і організації складних систем показує, як і в якій послідовності діяти. Відповідно до загальноприйнятої ієрархії КУВ встановлені основні напрями вирішення проблеми управління відходами і їх пріоритетність:

На самій вершині ієрархії пріоритетів - запобігання або зменшення виробництва відходів і їх небезпеки.

Така ієрархія, має на увазі, що в першу чергу повинні розглядатися заходи по первинному скороченню відходів, потім по вторинному скороченню: повторному використанню і переробці частини відходів, що залишилися, і в саму останню чергу - заходи по утилізації або похованню тих відходів, виникнення яких не вдалося уникнути і які не піддаються переробці у вторсировині [9].

Зменшення кількості небезпечних властивостей відходів, що утворюються, істотно спрощує їх утилізацію. Первинне скорочення відходів досягається шляхом удосконалення технологій виробництва і переорієнтації виробників і споживачів на дії, що призводять до утворення меншої кількості відходів (проекування продукції з розрахунком утилізації, використання

предметів багаторазового (тривалого) користування, відмова від зайвої упаковки та ін.).

Якщо запобігти утворенню відходів не представляється можливим, то відходи повинні повторно використовуватися і перероблятися в цілях виробництва нових матеріалів, сировини і продуктів. При цьому принцип мінімального збитку для довкілля має бути збережений: якщо відходи переходять в категорію вторинної сировини, то така сировина не повинна представляти небезпеку для довкілля.

Для зведення до мінімуму екологічної небезпеки відходів застосовують методи знешкодження або забезпечують неможливість вторинного використання окремих компонентів відходів.

Відходи, які не підлягають повторному використанню можуть бути використані в якості вторинних енергетичних ресурсів. Спалювання відходів дозволяє не лише максимально зменшити їх об'єм, термічно знешкодити небезпечні компоненти, але і ефективно робити утилізацію теплової енергії.

Тільки після того, як вичерпані методи використання відходів в якості ресурсу при виробництві вторинних матеріалів і енергії, залишки відходів вивозяться для розміщення на полігоні з дотриманням усіх природоохоронних заходів.

Умовою максимального зменшення потоку відходів, що направляються на полігони, повинні стати первинний роздільний збір відходів або фактичне вилучення ресурсно-цінних фракцій зі змішаного сміття. Важливо робити розділення відходів як можна ближче до джерела їх утворення шляхом розділення потоку відходів з різним змістом корисних компонентів.

У міру росту урбанізації, а також рівнів виробництва і споживання істотно загострилася ситуація, пов'язана з санітарним очищенням міст від побутових і промислових відходів. Вдосконалення муніципальних систем управління відходами визнається сьогодні головним завданням в області охорони довкілля. Все більша увага приділяється оптимізації міських систем



управління відходами за критеріями екологічної небезпеки і ресурсозберігання. Завдяки такому підходу забезпечується поліпшення стану довкілля міських територій і зниження питомих витрат на санітарне очищення міста.

Муніципальна система управління відходами розглядається як градоутворювальна функціональна система, пов'язана з усіма сторонами життєдіяльності міста. При розробці таких систем необхідно враховувати різні аспекти діяльності як органів влади, так і господарюючих суб'єктів : екологічні, ресурсозберігаючі, економічні, технічні, фінансові, правові, соціальні, організаційні і політичні.

Як зазначено вище, для вирішення завдань ефективного управління відходами міст первинне значення надається створенню систем управління, побудованих на принципах загальноприйнятої ієрархії пріоритетів КУВ. Повнота реалізації встановленого порядку дій з відходами в різних містах визначається конкретними місцевими умовами.

Враховуючи складність і багатоаспектність даної проблеми, доцільно на початку побудови КУВ розробити концепцію управління відходами стосовно цього міста (регіону).

Сучасні тенденції, характерні для розвинених країн, пов'язані з тим, що організаційні і соціальні аспекти концепції КУВ мають на увазі запобігання повній і безконтрольній передачі вирішення проблеми в руки лише профільних відділів міської адміністрації. Передбачається участь в цій роботі громадських організацій, населення, виборних органів, залучення до вирішення проблеми менеджерів природоохоронної діяльності, а не тільки інженерних працівників. Економічний аспект ґрунтується на принципі «забрудник платить». Суть принципу полягає в тому, що виробник відходів несе за них відповідальність протягом усього їх «життєвого циклу», оплачуючи утилізацію (поховання) і екологічні платежі за негативну дію на природне середовище [11].

Формування муніципальної концепції управління відходами,

орієнтованою в першу чергу на санітарне очищення міста від побутових і промислових відходів, повинно включати ряд обов'язкових етапів. До їх числа відносяться:

- аналіз існуючого положення з управлінням відходами;
- розробка організаційних заходів;
- розробка технічних заходів;
- розробка схеми фінансування створення і експлуатації системи управління відходами.

Крім того, концепція повинна передбачати використання наступних основних методів управління: організаційно-управлінських, нормативно-правових, економічних, соціальних, технічних і інформаційних.

Важливо відмітити, що найбільшу проблему для влади і служб міського господарства представляють тверді побутові відходи (ТПВ), оскільки вони є кінцевими відходами будь-якої діяльності людини і утворюються усюди по місту (у житловому і нежитловому секторах), а їх кількість безперервно зростає [12].

Сучасна концепція визначає стратегію і тактику найбільш ефективного поетапного рішення проблеми управління ТПВ муніципальних утворень з позицій екологічної безпеки і ресурсозберігання. Генеральний стратегічний напрям вирішення проблеми полягає в поступовому (поетапному) залученні ТПВ до переробки з найменшими витратами і без негативної екологічної дії.

Відповідно до концепції на першому етапі вирішення проблеми реалізується масштабна програма ресурсозберігання шляхом залучення до сортування відходів нежитлового сектора міста і організації роздільного збору вторсировини при активній участі населення (усі цінні компоненти збираються в один контейнер, залишкові відходи - в іншій). Таким чином, в місті утворюються три потоки ТПВ: відходи нежитлового сектора (відходи магазинів, ринків, установ і так далі), вторсировина, зібрана населенням в контейнерах, і залишкові відходи житлового сектора. Масштабне сортування відходів нежитлового сектора і вторсировини, зібраної населенням,

здійснюється на комплексах по сортуванню і компактуванню ТПВ.

На другому етапі використовується енергетичний потенціал залишкових відходів шляхом застосування термічної переробки за прогресивною технологією (спалювання, газифікація і так далі). Для залучення залишкових відходів до термічної переробки необхідно виділити з них (за допомогою методів механізованого сортування) горючу фракцію.

Реалізація третього етапу пов'язана з утилізацією відходів органічного походження (харчових і рослинних відходів з житлового і нежитлового секторів). Передбачається використання технології переробки таких відходів з отриманням цінного органічного добрива - біогумусу.

Процес переробки ТПВ в Україні ускладнюється тим, що не виконується попереднє сортування відходів, не існує налагодженої системи транспортування відходів до місць їх переробки, технології переробки відходів небезпечні для здоров'я людини і довкілля. Для спрощення процесу переробки слід приділити увагу сортуванню сміття ще під час його збору.

Цільове призначення сепарації ТПВ витікає з визначення цього процесу. Сепарація ТПВ, аналогічно збагаченню інших сировинних матеріалів, є сукупністю процесів первинної обробки сировини в цілях витягання цінних компонентів, видалення небезпечних і баластних компонентів, виділення фракцій відходів (напівпродуктів), оптимальних по складу для переробки тим або іншим методом. Сфера застосування ручного сортування обмежується досортировкой вторресурсів і крупнокускових фракцій ТПВ, в інших випадках застосовується механізоване сортування (в умовах заводської практики).

Основна перевага сепарації ТПВ як техногенної сировини полягає в тому, що вона має пряме природоохоронне значення, оскільки вихід залишків сепарації завжди менше маси початкової сировини, а склад відходів для подальших переділів переробки оптимізується з точки зору гомогенізації, здатності до горіння, зниження змісту небезпечних і баластних компонентів та ін., що підвищує екологічну безпеку промислової переробки ТПВ.

Застосування сепарації ТПВ перед термо і біообробкою відходів дозволяє видалити металеві компоненти, що відпрацювали електробатарей і акумулятори, деякі види синтетичних матеріалів, що зменшує викиди ртуті і миш'яку на 70-75 %, свинцю - на 40 %, при цьому ефективність спалювання і ферментації ТПВ підвищується, а склад продуктів і відходів переробки покращується. Економічна ефективність первинного сортування як підготовчі операції в процесі комплексної переробки ТПВ пов'язана з тим, що, перерозподіляючи матеріальні потоки відходів (зокрема, за рахунок виділення напівпродуктів - горючих і біорозкладаних фракцій), сортування в 1,5-2 рази скорочує потребу в дорогому термічному і біотермічному устаткуванні. В той же час капітальні витрати на саме сортування не перевищують 10-15 % витрат на термо- і біообробку. При сепарації ТПВ в якості середовища розділення переважно використовують повітря («сухі процеси»), значно рідше - воду («мокрі процеси»). Найбільш прийнятні «сухі способи» сортування. Їх переваги - відсутність води і забруднених стічних вод, відсутність різкого неприємного запаху, рентабельність транспортування виділених фракцій відходів (напівпродуктів) на далекі відстані [25].

Низькі технологічні і економічні показники сортування ТПВ в Україні пояснюються не недоліками процесу, а непрофесіоналізмом людей, які цим займаються. Ефективність сортування (особливо ручний) багато в чому залежить від організації роботи на стадії збору і транспортування ТПВ [26].

До теперішнього часу не існує єдиної думки відносно того, яка з технологій переробки ТПВ є найбільш раціональною. Так, істотний розвиток у світі отримала технологія роздільного збору ресурсноцінних фракцій ТПВ: скла, макулатури, полімерних і металевих пляшок і банок, харчових відходів. Розсортовані відходи з контейнерів легко піддаються переробці.

У складі ТПВ можна виділити наступні види відходів :

- вторинні матеріальні ресурси;
- біорозкладані (органічні) відходи;

- відходи, що не переробляються.

З точки зору рентабельності переробки найбільш вигідною є перша група ТПВ.

Серед вторинних матеріальних ресурсів можна виділити чотири групи:

- високоліквідні - промислові відходи, що утворюються у вигляді побічної продукції : лом чорних і кольорових металів, високоякісні марки макулатури, чисті виробничі текстильні, полімерні відходи, відходи склобою та ін.;
- середньоліквідні - макулатура, що містить картон, змішана макулатура, полімери із сторонніми включеннями, відходи споживання у вигляді виробів та ін.;
- низьколіквідні - вологоміцні відходи паперу і картону, суміші полімерів, пухнув в текстильній промисловості, сильнозабруднені відходи склобою та ін.;
- неліквідні - багат шарова полімерна упаковка, картонно паперова упаковка з-під м'яса, птаха, риби, упаковка з-під токсичної продукції та ін.

Значний об'єм ТПВ складають придатні для вторинного використання метали, папір і картон, пластики. Потенціал переробки ТПВ дуже високий, а дійсний відсоток переробки відходів дуже низький. Основна складність на шляху до переробки ТПВ - відсутність системи роздільного збору сміття.

Структуру ринку по поводженню з твердими побутовими відходами можна представити у вигляді взаємозв'язаних груп:

1. Постачальники відходів - це населення або підприємства, що утворюють відходи; компанії-перевізники, що здійснюють вивезення сміття; пункти збору відходів і/або полігони; трейдери; компанії-сортувальники.

2. Переробники відходів - це сміттепереробні заводи; виробники кінцевої продукції з вторсировини; незалежні переробники.

3. Споживачі відходів - це виробники кінцевої продукції з вторсировини.

Досить поширеним способом знешкодження відходів у всьому світі є сміттєспалювання. У багатьох європейських країнах термічне знешкодження - один з основних способів утилізації відходів, оскільки закони забороняють вивезення сміття на полігони з вмістом органічних речовин більше 5 %. Саме тому останніми роками в країнах ЄС, США і Японії простежується загальна тенденція до розширення будівництва нових і реконструкції існуючих сміттєспалювальних заводів з виробленням теплової і (чи) електричної енергії, тобто електростанцій на альтернативному паливі - ТПВ. Проте якщо ці заводи не оснащені потужною системою газоочищення, то відбувається серйозне забруднення атмосфери [17].

Для переробки твердих побутових відходів застосовують термічні методи, оскільки ТПВ містять до 80 % органічних речовин.

Термічна переробка відходів - це сукупність процесів теплової (вогневого) дії на відходи для зменшення їх маси і об'єму, знешкодження, а також отримання енергоносіїв (у вигляді газу, пари, органічної рідини, твердого вуглецевого залишку) і інертних матеріалів (з можливою утилізацією). Важливі переваги сучасних методів термічної переробки - це зниження об'єму відходів в 10 разів, ефективне знешкодження відходів (знищення патогенної мікрофлори), попутне використання енергетичного потенціалу органічних відходів. На практиці застосовують різні процеси термічної переробки відходів - спалювання, газифікацію, піроліз, гідрогенізацію, плазмову обробку, а також комбінацію цих процесів. З різних методів термічної переробки ТПВ найбільш поширено спалювання - шарове (при температурі  $900-1000^{\circ}\text{C}$ ) і рідше - в киплячому шарі (при  $850-950^{\circ}\text{C}$ ). Перспективне застосування плазмових технологій, при яких забезпечується температура вище за температуру плавлення шлаку, що дозволяє отримати нешкідливий засклений продукт. Основні переваги спалювання як процесу термічної переробки ТПВ - високий рівень апробованості технологій (у провідних країнах ЄС спалюванню піддається близько 30 % ТПВ), устаткування, що серійно випускається, високий гарантійний термін

експлуатації (надійність традиційних систем спалювання підтверджена багаторічною практикою експлуатації численних заводів, у тому числі дуже великих), високий рівень автоматизації. Основна тенденція розвитку сміттєспалювання - перехід від прямого спалювання ТПВ до оптимізованого спалювання виділеної з ТПВ горючої (паливної) фракції і перехід від спалювання як процесу ліквідації ТПВ до спалювання як процесу, що забезпечує додаткове отримання теплової і електричної енергії. При енергетичному використанні відходи можна розглядати як нетрадиційне паливо. В той же час спалювання слід оцінювати передусім як метод переробки відходів, а не спосіб виробництва енергії, тобто, оптимальні для зниження екологічної небезпеки технології, а не для досягнення максимально можливого виробництва енергії [19].

Необхідно враховувати, що спалювання усїєї маси непідготовлених, що утворюється, несортованих ТПВ є самим витратним і екологічно небезпечним варіантом технологічного рішення. Відмітимо основні недоліки спалювання ТПВ (які не завжди враховуються), властиві самій технології:

- великий об'єм збіднених киснем газів (5-6 тис. м<sup>3</sup>/т спалюваних відходів, вміст кисню - не більше 8 %, щільність - в 1,5 рази вище за щільність повітря), що відходять;
- жодне газоочищення цей недолік виправити не може;
- утворення парникових газів, що створюють (відповідно до офіційної версії) так званий «парниковий ефект»; виправити ситуацію газоочищення не може;
- освіта в процесі спалювання дуже токсичних з'єднань (діоксиду, фурану, хлоридів і бромідів металів та ін.), що забруднюють димові гази, що вимагає застосування дуже дорогого газоочищення (для зниження концентрації шкідливих речовин до встановлених норм; «нульові» викиди поки не досягаються, що закономірно призводить до накопичення шкідливих речовин в довкіллі).

Необхідним заходом по стабілізації і зниженню викидів парникових

газів при спалюванні ТПВ являється сортування. Попереднє сортування знижує кількість спалюваних відходів, скорочує вихід газів, що відходять, і покращує їх склад. Одночасно сортування ТПВ з витяганням цінних компонентів скорочує кількість відходів, що направляються на поховання, і відповідно сприяє скороченню викидів в атмосферу  $\text{CO}_2$  і  $\text{CH}_4$ . Що стосується технології газоочищення, то її застосування не можна розглядати як «панацею від усіх бід» при спалюванні непідготовлених, несорттованих ТПВ, бо результати газоочищення (як і будь-якій технології) залежать від складу сировини (в даному випадку - від складу неочищених газів на вході в систему газоочищення).

Газоочищення розраховане на певний склад газів і при підвищеному вмісті в газах тих або інших шкідливих речовин можливі їх витік та уникнення знешкодження. Ефективність газоочищення істотно підвищується при реалізації так званих первинних заходів : зниження змісту у відходах, що направляються на термічну переробку, потенційно небезпечних для довкілля компонентів (шляхом сортування ТПВ в заводських умовах і роздільного збору небезпечних компонентів в місцях скупчення) і вдосконалення власне технологій термічної переробки відходів (шляхом зменшення кількості що утворюються в процесі шкідливих речовин і об'єму газів, що відходять).

У перспективі спалювання може витіснитися прогресивнішими термічними технологіями. У загальному випадку ефективність і екологічна безпека термічної переробки ТПВ визначаються складом відходів, технологією процесу, мірою підготовки відходів до термообробки і стабілізацією їх складу, режимом процесу (температурою, часом перебування газів, що відходять в камері згорання, температурою газів, що відходять, об'ємом і розподілом повітря), технологією автоматизації процесу.

Заслуговує на увагу і такий спосіб переробки ТПВ, як піроліз - вивезення сміття на полігони, складування відходів в котловани, термічний метод розкладання відходів при недоліку або відсутності кисню, в ході якого складні речовини розщеплюються на простіші з утворенням трьох видів



продуктів: газу, смоли і твердих вуглецьвмісних з'єднань (пірокарбона).

Проблема полягає в тому, що у більшості відходів міститься фосфор, хлор і сірка. Сірка і фосфор в окисленій формі леткі і завдають шкоди довкіллю. Хлор активно реагує з органічними продуктами піролізу з утворенням стійких отруйних сполук (наприклад, діоксин).

Уловлювання цих з'єднань диму - процес не з дешевих і має свої складнощі. Проблема переробки зношених автомобільних шин і гумотехнічних виробів, що вийшли з експлуатації, має велике екологічне і економічне значення для усіх розвинених країн світу. А непоправність природної нафтової сировини диктує необхідність використання вторинних ресурсів з максимальною ефективністю.

Шини і полімери є цінною сировиною, в результаті їх переробки методом низькотемпературного піролізу (до 500<sup>0</sup> С) виходять рідкі фракції вуглеводнів (синтетична нафта), вуглецевий залишок (технічний вуглець), металокорд і горючий газ. В той же час, якщо спалити 1 т шин, то в атмосферу виділиться 270 кг сажі і 450 кг токсичних газів.

Переваги піролізних установок :

- досягаються практично повна утилізація матеріально-енергетичних ресурсів ТПВ і енергоавтономність усього технологічного циклу;
- оскільки термічне розкладання відбувається без доступу повітря, немає умов для утворення таких токсичних з'єднань, як діоксин, фуран, бензапірен і ін.;
- замкнутість схеми, компактність устаткування і екологічна чистота визначають можливість розміщення такого підприємства в межі будь-якого міста;
- піролізні установки дозволяють отримувати прибуток за рахунок реалізації зробленої продукції (пара, електроенергія) на відміну від діючих сьогодні виробництв, де експлуатаційні витрати значно перевершують прибуток від реалізації, а рентабельність підприємств ґрунтується на платежах населення за переробку

сміття;

- для піролизних установок немає необхідності будувати капітальні споруди і високі димарі. Установки можуть монтуватися під навісом або в ангарах легкого типу на бетонній основі.

Одне з головних завдань, яке ставить перед собою керівництво закордонних країн в плані переробки ТПВ, - створення систем управління відходами, заснованих, у тому числі, і на принципі ресайклінгу. Він полягає в тому, що різні фракції відходів повинні не змішуватися між собою, а перероблятися окремо один від одного з найменшими витратами і шкодою для довкілля.

Закордона система управління відходами також включає наступні позиції:

- усі заходи по управлінню відходами (скорочення їх кількості, переробка, спалювання) доповнюють один одного і розробляються в комплексі;
- система утилізації ТПВ функціонує за рахунок залучення місцевих ресурсів і з урахуванням реально існуючих локальних проблем;
- місцевий досвід управління ТПВ отримується постійно за рахунок реалізації невеликих програм;
- програми стосовно відходів, що реалізуються, своєчасно піддаються контролю і аналізу;

участь міської влади, а так само усіх груп населення в заходах, що викладаються, розглядається як необхідна умова реалізації програм сфері відходів.

В якості найбільш важливого елементу системи, впливаючого на інші елементи і такого, що є основою формування системи управління відходами, слід рахувати збір і тимчасове накопичення (зберігання) відходів. Залежно від рішень, прийнятих на цьому етапі, вибираються необхідність сортування і її об'єм, технології переробки, знешкодження і поховання відходів, транспортні потоки.

В цілях забезпечення ефективного збору і тимчасового накопичення (зберігання) відходів використовуються різні види контейнерів, найбільш поширеними з яких є (разом з традиційними) заглиблені контейнери і контейнери для роздільного збору.

У будь-якому випадку найдоцільніше (як з економічної, так і з екологічної точок зору) здійснювати роздільний збір відходів саме на етапі збору і накопичення ТПВ з наступних причин:

- чисті вторресурси, зібрані на етапі збору, відразу направляють до місць подальшої переробки;
- вторресурси можуть вивозитися за допомогою практично будь-яких транспортних засобів, а не тільки сміттєвозів;
- сортування відходів на цьому етапі найбільш дешево.

## **1.2. Пластикове сміття як глобальна проблема сучасності**

Відходи, сміттям є суміш речовин, товарів, предметів і їх частин, що утворилися в процесі виробництва, виконання робіт, надання послуг або в процесі використання, втратили споживчі властивості і були призначені для утилізації, захоронення і тд. Відходи є гетерогенною сумішшю, у зв'язку з чим вони систематизовані на десять класифікаційних груп. В першу чергу відходи розділяють на промислові і комунальні (побутові), потім по агрегатному стану — тверді і рідкі, за величиною фракцій, в міліметрах, по хімічному складу, за фізичними і санітарно-бактеріологічними властивостями і навіть за часом утворення.

Пластикове сміття — глобальна проблема сучасності, викликана експоненціальним ростом його виробництва і накопичення. Незважаючи на те що цей вид відходів законодавчо є малонебезпечним для довкілля і піддається переробці, велика частина пластика, особливо в Україні, складається.

За морфологічною ознакою виділяють більше десяти основних компонентів відходів, доля яких в загальному об'ємі сміття залежить від

країни, регіону, кліматичної зони, пори року, економічної ситуації, рівня благоустрою та ін. (таблиця. 1.1) [13].

Таблиця 1.1

## Компоненти відходів

Компонент	Доля в загальній масі, %
Харчові відходи	20-50
Папір, картон	25-40
Пластмаса	3-20
Скло	3-10
Текстиль	3-7
Шкіра, гума	1-7
Дерево	1-4
Камні	1-3
Кістки	0,5-4,0
Метали	0,2-5,0
Інші	1-5

Пластмаси або пластики — органічні матеріали, основу яких утворюють синтетичні або природні високомолекулярні з'єднання — полімери, що складаються з мономерних ланок, сполучених в довгі макромолекули хімічними або координаційними зв'язками. Саме синтетичні полімери лідирують по виробництву, поширенню і споживанню, а також стають однією з глобальних проблем сучасності, оскільки інтенсивно забруднюють та засмічують Землю. Ці матеріали дешеві, їх легко виготовити, їм можна надати практично будь-якої форми — листи, плівки і щонайтонші нитки. Пластики характеризуються високою хімічною стійкістю до кислот і лугів, не пропускають воду, стійкі до корозії, погано проводять електричний струм і тепло. У світі випускається величезна кількість типів синтетичних полімерів. Найпоширенішими пластмасами є: полівінілхлорид (ПВХ); поліетиленрефталан (ПЕТ); поліпропілен (ПП); полікарбонат (ПК); полістирол (ПС); поліетилен низького тиску (ПЭНД); поліетилен високого

тиску (ПЭВП); поліетиленовий віск (ПВ); полібутилентерефталат (ПБТ); поліамід (ПА); акрилонитрилбутадієнстирол (АВС). Нині база синтетичних полімерних матеріалів доходить до 100 тис. найменувань.

Більшість типів пластмас звичайно добре піддається переробці і вторинному використанню. У Європі вторинній переробці піддається до 50% відходів, а в Україні — не більше 4%. Життєвий цикл пластику значно перевищує термін його служби. Зазвичай увесь пластик потрапляє на звалища, де триває його «атака» на природу і рух по харчових ланцюгах до людини. До 10 % пластикових відходів закінчує свій шлях у водах Світового океану. Довговічний і нерідко токсичний матеріал стає причиною захворювань і загибелі багатьох представників наземної і водної фауни. Класична ієрархія управління відходами зводиться лише до трьох векторів: утилізація, у тому числі енергетична, вторинне використання і переробка.

Промисловість в рік робить більше 300 млн т пластика. Всього за декілька десятків років споживання пластиків збільшилося з 5 млн до 100 млн т в рік, і близько половини його загального об'єму з'явилася за останні 15 років. Пластик — найвироблюваний продукт на планеті Земля. Але тільки менше 25 % побутового пластика у світі вирушає на переробку, а в деяких регіонах він не переробляється взагалі [32].

У 1988 р. в США Суспільство пластмасової промисловості (Society of the Plastics Industry) для забезпечення утилізації одноразових предметів розробило систему маркування (коди переробки) для усіх видів пластика і ідентифікаційні коди (таблиця. 1.2) [13].

Таблиця 1.2

## Система маркування для усіх видів пластику

Клас	Приклад	Назва	ISO 10431:2011	ДСТУ 24888-81	Знак коду переробки*
1	Пляшки для напоїв, упаковки для порошків і сипких харчових продуктів, поліестер	Поліетілен-терефталат (лавсан)	PET	ПЭТФ	
2	Пакети фасувальні, для соків і молока, контейнери для продуктів, пляшки для шампунів, відбілювачів	Поліетилен високої щільності (низького тиску)	PEHD (HDPE)	ПЭНД (ПНД, ПЭВП)	
3	Вікна, двері, меблі, підлогові покриття, банки для харчових жирів	Полівінілхлорид	PVC	ПВХ	
4	Пакети, харчова плівка, відра, труби, кришки, гнучкі пластикові упаковки	Поліетилен низької щільності (високого тиску)	PELD (LDPE)	ПЕВД (ПВД, ПЭНП)	
5	Посуд для гарячих блюд, одноразові шприци, мішки для упаковки круп, цукру, контейнери для заморожування продуктів, пляшкові кришки, пляшки для кетчупів і сиропів,	Поліпропілен	PP	ПП	
6	Іграшки, пакувальні підноси для продуктів, одноразовий посуд, підкладки, квіткові горщики, валізи, баночки для ліків	Полістирол	PS	ПС	

Існує також сьомий клас для інших видів пластику. Маркіроване цією цифрою виріб не може бути перероблений і закінчує свій життєвий цикл на полігоні поховання або в печі сміттєспалювального заводу. Прикладом такого матеріалу є полівінілхлорид.

Полівінілхлорид практично не піддається переробці. Більше того, існують докази того, що канцероген, що міститься в нім, вінілхлорид має

здатність проникати через продукти харчування в організм людини. Для його виробництва використовується безліч хімічних добавок, токсичних для біосфери і людини : фталати, важкі метали і т. д.

Інші типи пластмас зазвичай добре піддаються переробці і вторинному використанню [30].

Життєвий цикл пластику значно перевищує термін його служби. Так або інакше, увесь пластик потрапляє на полігони, де триває сміттева пластикова «атака» на природу і починається його шлях по харчових ланцюгах. Довговічний і нерідко токсичний матеріал стає причиною захворювань і загибелі багатьох представників наземної і водної фауни. До 10 % пластикових відходів закінчує свій шлях у водах Світового океану, 88% поверхні якого вже забруднено пластиковим сміттям різного розміру, а найбільш дрібні частки осідають в травній системі морських мешканців. За даними вчених, в шлунках 94 % птахів можна знайти пластик. Дослідники виявили мікропластик в нутрощах 114 видів водних тварин. Більше половини з них людина споживає в їжу [24]. Один пакет може вбити багато разів. Більше 260 видів тварин, у тому числі безхребетних, або випадково проковтують пластик, або заплутуються в ньому. Імобілізованість зазвичай призводить до смерті або важких травм. Підраховано, що більше 400 тис. морських ссавців гине щорічно в результаті пластикового забруднення океанів. У верхньому шарі океану в шість разів більше пластика, ніж планктону. Він не тоне і плаває всього в декількох сантиметрах від поверхні води, притягаючи риб, які харчуються ним. Усі учасники ланцюжка найчастіше отруюються або гинуть. На глибинах більше кілометра концентрація сміття складає від 17 до 335 одиниць на квадратний кілометр. У наземних екосистемах протікають схожі процеси: від дрібних ґрунтових організмів, черв'яків через ланцюги живлення пластик доходить до великих тварин і людини. Приблизно 800 видів тварин сьогодні знаходиться під загрозою вимирання із-за споживання пластику і отруєння ним [14-22].

Те, чим цінний пластик для людей, - легкість і довговічність - посилює

його небезпеку для природи. У нього є потенціал - увійти до глобальної продовольчої мережі по трофічних ланцюгах. Люди теж частина цього харчового ланцюга. Хіміки з університету в Едінбургу зробили відкриття, що риби і тварини, які «живляться» пластиком, є не єдиним і навіть не основним джерелом пластику в їжі людини. Це може бути пил, що осідає на ній. За 20 хвилин в їжу з пилом може потрапляти близько 14 часток пластмаси [23].

Плаستيки розрізняються за змістом цілого ряду добавок, які можуть проникати в довкілля, акумулюватися в ній і робити на неї синергетичний ефект. Деякі з цих хімікатів вважаються ендокринними руйнівниками, що викликають гормональні зміни. Інші з'єднання, що містяться в пластиках, здатні викликати природжені патології, рак і мають тератогенний ефект. Хлорований пластик виділяє в ґрунт шкідливі хімічні речовини, що отруює його у тому числі і джерела води. З іншого боку, по рівню негативної дії багатьох з пластмас що досліджувалися в лабораторних умовах на тваринах, вважаються безпечними для людей, у зв'язку з чим їх давно застосовують для виготовлення різних імплантів (зубів, кісток та ін.).

У європейських країнах частенько відвідувачам пропонують паперові пакети і тканеві сумки замість поліетилену. У Індії, де від пластика гинуть бродячі корови, введена заборона на виробництво, продаж і використання пакувальної плівки і поліетиленових пакетів, окрім пакетів для медичних відходів. Більше п'яти років тому подібну заборону випустив уряд острову Занзібар, куди раніше ввозилося близько 350 т пластикових пакетів щорічно. Нині більше 40 держав обмежує використання пластикової тари. Найсуворіший закон ухвалений в Кенії, де під заборонаю випуск, імпорт і використання пакетів, що не розкладаються. З 2020 р. в Сан-Франциско (США) введена заборона на напої в пластиковій тарі. Подібні закони вже діють в 14 національних парках і університетах США [16-19].



### 1.3 Проблеми переробки пластикових відходів

Проблема переробки відходів полімерних матеріалів набуває актуального значення не лише з позиції охорони довкілля, вона також пов'язана з тим, що в умовах дефіциту сировини пластмасові відходи стають потужним сировинним і енергетичним ресурсом.

Використання відходів полімерів дозволяє істотно економити первинну сировину (передусім нафту), воду і електроенергію.

Вибір схем технологічної переробки пластикових відходів зумовлений їх фізико-хімічними, механічними і технологічними властивостями, часом використання і «старіння» (зміна, погіршення структури і складу полімерного компонента під дією експлуатаційних чинників), які значною мірою відрізняються від тих же характеристик первинного полімеру.

Класична ієрархія управління відходами, яка є основою стратегій, що розробляються, по скороченню кількості відходів, зводиться лише до трьох векторів:

- утилізація, у тому числі енергетична (спалювання на сміттєспалювальних заводах), тобто, їх правильний збір і розміщення;
- вторинне використання тих же виробів;
- переробка, або рециклінг (механічними і фізико-хімічними методами).

Але жоден з цих способів не призводить до безпечного для природного середовища і здоров'ю людини дійсного знищення, видаленню пластикових відходів і відходів їх спалювання.

Актуальним базовим рішенням проблеми накопичення пластику є зменшення (до повного виключення) використання деяких типів товарів, переважно одноразових, і рециклінг інших. У Європі ще в 2006 р. переробка пластмас, включаючи і механічний рециклінг, і отримання палива за рахунок утилізації відходів, перевищила 50 % [34]. Але проблема далека від рішення, особливо в глобальному масштабі.

Так в деяких країнах діє заборона на використання одноразових

пластикових пакетів в усіх типах магазинів, ринків і аптек, також заборонено видавати поліетиленові пакети безкоштовно, на них встановлені високі податки і ціни.

Біля 30 % вторинного пластика у світі йде на виготовлення синтетичного волокна, ниток для килимів, одягу. Інші напрями включають виробництво плівки, бандажної стрічки, оббивки для автомобілів. До 70 % усього вторинного ПЕТ в Європі переробляють у волокна поліестеру, використовуваного як утеплювач одягу, спальних мішків, наповнювача для м'яких іграшок. З волокон меншого діаметру отримують штучну вовну для одягу. Такі тканини можуть містити до 100 % вторинного матеріалу. Наприклад, для виготовлення светра з штучної вовни вимагається близько 25 перероблених ПЕТ-пляшок [35].

Створений компанією Envion генератор (Envion Oil Generator) здатний переробляти 10 тис. тон пластикового сміття щорічно, видаючи при цьому до 50 тис. барелів синтетичної нафти. Цей метод дозволяє переробити в рідке паливо до 82 % пластику, а вартість переробки в синтетичне паливо складає приблизно 17 доларів за тонну.

У Європі будують підприємства по виробництву дизпалива з пластикових відходів, пластик додають у бітум і інші вироби для дорожнього покриття. Кілька років тому голландські учені запропонували концепцію Plastic Road – пластикових доріг. Автомобільна траса збиратиметься з пластикових модулів, що витримують таке ж навантаження, як асфальт. При цьому вони легше, ніж звичайне покриття, і ґрунт менше схильний до осідання, їх простіше транспортувати. Цей матеріал відрізняється дешевизною, довговічністю і швидкістю створення з нього різних конструкцій. Після закінчення терміну служби модулі можна переробляти і знову використовувати [35].

Досить перспективним і новим є використання перероблених пластикових відходів у будівельній сфері [31].

## Висновки до розділу 1

У розвинених країнах існує розгорнута система комплексного управління відходами.

Відходи пластику можна вважати глобальною проблемою для людства. Більшість пластиків легко піддаються вторинній переробці, необхідно лише правильно організувати їх збір і сортування. Екологічно відповідальні країни вже давно не лише розділяють відходи, але і намагаються мінімізувати використання пластику. Для України безумовним первинним рішенням повинні стати екологізація свідомості населення, підвищення рівня його знань в цій області, а також розумне обмеження використання пластиків.

Одним з перспективних напрямів є застосування вторсировини з пластику з будівельній сфері.

## РОЗДІЛ 2

### АНАЛІЗ СПОСОБІВ ПЕРЕРОБКИ ПЛАСТИКОВИХ ВІДХОДІВ

#### 2.1 Порівняльний аналіз методів утилізації пластикових відходів

При виборі технологій обробки, утилізації, знешкодження твердих комунальних відходів пріоритетними є технології, що забезпечують отримання кінцевого продукту, доступного для застосування в інших технологічних процесах в якості початкової сировини або добавки до основної сировини.

На основі цього можна виділити декілька пріоритетних способів переробки пластикових відходів.

Спалювання є економічно не вигідним, зазвичай його використовують, лише для того, щоб скоротити об'єм відходів. Теплотворна здатність пластиків дуже велика. Дуже часто побутові відходи використовують як джерело теплової енергії. У деяких країнах функціонують невеликі теплові енергетичні станції, працюючі на принципі спалювання комунальних відходів, 60% з яких складають відходи з пластика. Печі таких ТЕЦ забезпечені спеціальними фільтрами, які уловлюють шкідливі викиди. Подібні фільтри складні у виробництві і мають дуже високу вартість [5].

Спалювання пластмас завжди супроводжується сильним виділенням в атмосферу діоксину і фурану. Основними «виробниками» діоксину є сміттєспалювальні заводи і підприємства чорної металургії. Діоксин це речовини, які негативно впливає на здоров'я людей, пригнічують імунітет і сприяють розвитку онкологічних захворювань. Їх руйнування можливе, якщо процес спалювання сміття проводиться при температурі вище 1200 градусів Цельсія. На даний момент в нашій країні функціонує ряд сміттєспалювальних підприємств, і утилізація відходів на них проходить при температурі до 850 градусів Цельсія [17-19].

Поховання і депонування роблять на спеціальних полігонах. Спочатку сміття складують, а коли набирається достатня кількість, його закопують.

Території, призначені для поховання, розташовуються далеко від населених пунктів, тому ризик зараження людей токсинами зведений до мінімуму. У Україні цей метод утилізації найпоширеніший. Як вже було сказано, час розпаду пластика займає від 500 до 1000 років, тому їх поховання є великою екологічною проблемою довкілля.

Піроліз процес термічного розкладання матеріалів при температурах 500-900 градусів Цельсія за відсутності кисню. Основним продуктом піролізу пластикових відходів є вугілля. Продукт, що карбонізує, піддається обробці водяною парою при високих температурах, стає пористим і може використовуватися як адсорбент. У Великобританії піроліз пластикових відходів роблять при температурі в 550<sup>0</sup> С, а отриманий продукт застосовують в якості палива [17].

Сировину завантажують в реактор і піддають нагріву. Відбувається розрив молекулярних зв'язків з виділенням газу. Газ, що виробився, відходить до колони ректифікації і переходить в рідкий стан. Пари, для конденсації яких потрібно більш високі температури, по відповідних трубках переходять в резервуар водяного затвора.

Продуктом є синтетична нафта, яка використовуються як паливо або сировина в нафтохімічній промисловості.

Хімічна рециркуляція один з найбільш екологічно безпечних способів переробки поліетилентерефталату. Він заснований на процесі деполімеризації пластикових відходів до етилгліколю і терефтанової кислоти, а ці продукти знову поступають на синтез. До цього ж способу можна віднести метод отримання насиченої полієфірної смоли. Для цього сировина проходить процес гліколізу і поліконденсації з додаванням насичених багатоосновних кислот. Вторинна переробка це спосіб промислової переробки, суть якого полягає в отриманні з пластикових відходів - пластівців, хімічних волокон або гранул. Це досить трудомісткий і енерговитратний процес, що включає такі обов'язкові стадії як сортування, очищення, промивання, термічну обробку, гранулювання і сушку.

Проте вторинна переробка пластика на думку більшості дослідників, є найоптимальнішим варіантом утилізації пластикових відходів, являється їх вторинна переробка. При використанні цього методу вирішується ряд екологічних і економічних проблем. На жаль, в нашій країні ця галузь менш розвинена в порівнянні з країнами Європи, в яких переробляється близько 80% пластикових відходів.

При вторинній переробці пластика сировина відсортовується, подрібнюється, очищається, а далі проходить на агломерацію і гранулювання. Кінцевим найважливішим етапом є сушка. Сушка при підвищених температурах може істотно змінити молекулярну масу полімеру. Недостатня сушка знижує якість вторинного матеріалу.

## **2.2 Способи впливу на пластикові відходи**

Вибір схем технологічної переробки пластикових відходів обумовлений їх фізико-хімічними, механічними і технологічними властивостями, часом використання і «старіння» (зміна, погіршення структури і складу полімерного компонента під дією експлуатаційних чинників), які значною мірою відрізняються від тих же характеристик первинного полімеру.

Існує декілька способів переробки пластикових відходів, які можна розділити по способах впливу: механічного, хімічного, термічного. Більше Ці способи з коротким описом, рівнем ефективності, недоліками зведені (таблиця 2.2).

Також в таблиці приведені можливі варіанти застосування вторсировини після переробки пластикових відходів в залежності від засобу впливу.

Таблиця 2.2

## Переробка пластикових відходів за засобами впливу

Спосіб переробки відходів	Опис способу	Міра забруднення відходів, що поступають	Ефективність переробки від загального об'єму	Можливе застосування отримуваних продуктів	Недоліки
Механічний	Сортування, подрібнення, обробка з допомогою температурної дії, сушка	Низька, частково середня	70 - 75	Упаковка Сировина для виробництва волокон, використовуваних для виготовлення підлогових покриттів штучних тканин, сировина для виробництва продукції в будівництві	Незначна кількість домішок і вологи можуть викликати істотну втрату якості вторинного сировини
Хімічний	Термічне розкладання в відсутності кисню	Середня, сильна	30 - 50	Полієфіри для клеїв, покриттів виробництва тари. Можливість використання як палива, сировини для нафтохімічної промисловості	Витрати на устаткування занадто високі для забезпечення рентабельності виробництва потрібен великий товарообіг.
Термічний	Відходи спалюють в спеціально обладнаних печах різної конфігурації	Сильна	20 - 25	Спалювання з метою отримання теплової енергії отримання газоподібних і рідких палив	Фільтри що очищають шкідливі гази, складні у виробництві

Порівняння методів переробки пластикових відходів показує, що механічний спосіб є найбільш вигідним, оскільки матеріал на виході можна використати як сировину в різних промислових і хімічних виробництвах.

### **2.3 Особливості технологій механічної переробки пластикових відходів**

В цілому, при усьому різноманітті способів переробки відходів пластмас і вживаного при цьому устаткування загальна схема процесу може бути представлена таким чином: попереднє сортування і очищення, подрібнення, відмивання і сепарація, класифікація за видами, сушка, грануляція, переробка у вироби [34].

Перша стадія зазвичай включає сортування відходів на вигляд, відділення непластмасових компонентів. Спочатку сировина подається на три сортувальні лінії, де вручну відбираються відходи, придатні для подальшої переробки.

Друга стадія - одна з найбільш відповідальних в процесі. В результаті одно- або двохстадійного подрібнення матеріал досягає розмірів, достатніх для того, щоб можна було здійснювати його подальшу переробку.

На наступному етапі подрібнений матеріал піддають відмиванню від забруднень різними розчинниками, миючими засобами і водою, а також відділяють від неметалічних домішок. По конвеєрному механізму частки потрапляють на горизонтальне миття, де віддаляються забрудники (пил, пісок).

Четверта стадія залежить від вибраного способу розділення відходів по видах пластмас. У тому випадку, якщо віддається перевага мокрому способу, спочатку роблять розділення, а потім сушку. При використанні сухих способів спочатку роздрібнювані відходи сушать, а потім вже класифікують. Висушені подрібнені відходи змішують при необхідності із стабілізаторами, барвниками, наповнювачами і іншими інгредієнтами і гранулюють.

Завершальною стадією процесу використання відходів є переробка грануляту у вироби.





Рис. 2.1. Блок схема переробки пластикових відходів

Розглянемо декілька способів переробки пластикових відходів.

Особливість технології переробки з використанням спеціальних датчиків полягає в тому, що спочатку проходить подрібнювання, а далі сортують за допомогою датчиків по товщині часток як мінімум на дві фракції (рис. 2.2). Фракції з великими розмірами частинок піддаються вторинному подрібненню [31-34].



Рис 2.2. Блок схема подрібнення за допомогою датчиків

Досить цікавим рішенням являється комплекс по вторинній переробці пластиків складається з загрузочного бункера, конвеєра, апарату регулювання шару завантаження. Система регулювання розташована під

полотном конвеєра і є системою «сит» по висоті. Подання сировини на загрузочний конвеєр контролюється в робочій кабіні з операторами. Також в технологічну схему включений сепаратор чорних металів. З його допомогою здійснюється автоматичний відбір металів, що потрапили разом з сировиною на конвеєрну лінію. Приймальні короби розташовані в два ряди по обидві сторони від конвеєра.

Необроблена частина відходів вирушає у бункери для повторного сортування. Накопичувальні бункери обладнані автоматичним розвантаженням, датчиками заповнення і облаштуванням завантаження. конвеєр призначений для подання флекса на пресування і упаковку. Комплекс включає естакаду, що несе, і централізовану систему автоматичного управління.

До складу комплексу (рис. 2.3.) входять:

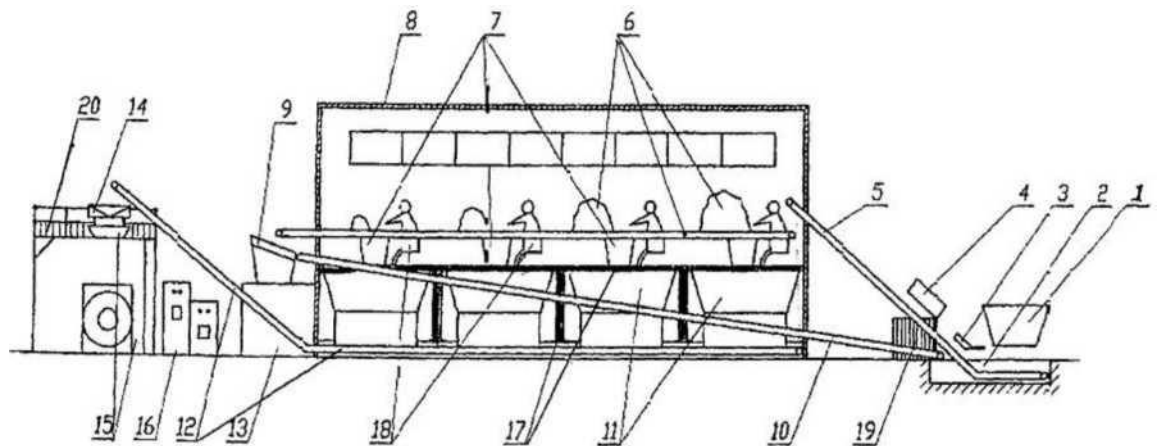


Рис. 2.3. Комплекс переробки пластикових відходів

1. Завантажувальний бункер;
2. Розвантажувальний конвеєр;
3. Облаштування регулювання шару завантаження;
4. Сепаратор чорних металів;
5. Підйомний конвеєр з ребордами;
6. Сортувальний конвеєр;
7. Приймальні короби (у два ряди, по обох сторонах від конвеєра);

8. Робоча кабіна з облаштуванням вентиляції, кондиціонування і антибактерицидними джерелами;
9. Приймач відходів що невідсортувалися;
10. Поворотний пристрій несортованої сировини для повторного сортування;
11. Накопичувальні бункери з автоматичними розвантажувальними і завантажувальними пристроями і датчиками автозаповнення;
12. Накопичувальний конвеєр для на пресування і пакування;
13. Прес-компактор для неділової частини відходів;
14. Перфоратори;
15. Брикетований прес для пресування і пакування тари, оснащений гідравлічним приводом від власної гідростанції і системою обв'язування кіп низьковуглецевим дротом.
16. Централізована система автоматичного управління комплексом і електрична система управління пресом, пов'язана з центральною системою управління комплексом електричних блокувань;
17. Естакада
18. Робочі місця операторів сортувальників;
19. Бункернакопичувач чорних металів;
20. Майданчик обслуговування пресу.

Основні завдання комплексу - спрощення процесу переробки пластикових відходів, забезпечення екологічної безпеки довкілля, підвищення продуктивності і рентабельності при обробці.

Вторинна переробка пластикових пляшок досі є актуальним завданням, у тому числі, серед закордонних дослідників.

Автори патенту CN 202702439 U «Waste plastic bottle recycling and loading device» пропонують комплекс для вторинної переробки пластикових місткостей. У основі системи закладена рама, по якій рухається конвеєр для транспортування пляшок, що поступили на переробку. Конвеєрна стрічка оснащена зупинними пластинами з рельєфними отворами, які перешкоджають ковзанню сировини при транспортуванні. Апарат

завантаження подає сировину в початок конвеєрної стрічки між зупинними бар'єрами. Передбачувана конструкція дає можливість регулювання кількості матеріалу, що подається.

Автори наступного винаходу CN 102424221 A «Intelligent plastic bottle recycling device» пропонують інтелектуальний пристрій для переробки пластикових пляшок. Система повністю автоматизована. Вона включає сенсорний екран, систему подання пляшок, систему розпізнавання, процесор ARM, ІМС (інтегральна схема), зчитувач карт, ІС карту, і безпроводну мережеву карту. Облаштування зчитувача карт і безпроводна мережева карта сполучені процесором ARM. За допомогою сенсорного екрану оператор подає команду процесору. Мікропроцесорна карта сполучена з обладнанням зчитувача інформації з ІС карти і базою даних в процесорі. Безпроводна мережева карта використовується для зв'язку з сервером і механізмом процесора ARM. Описаний пристрій допомагає спростити процес переробки.

В процесі переробки вторинних відходів важливу роль грає стадія очищення і відмивання вторинного матеріалу. Цьому процесу присвятили дослідження автори наступного винаходу US5236603 A «Method for plastics recycling» Винахід забезпечує удосконалення систему переробки виробів з пластмас. У першому варіанті описаний спосіб рециркуляції пляшок з молока (усувається запах, викликаний бактеріями, за допомогою холодної води). У другому варіанті описана методика переробки пляшок, яка використовувалася як тара під напої. На стадії розділення використовують трьох камерний відстійник для розділення з використанням води в якості середовища і двох подальших етапів з використанням важчих середовищ для відділення облицювальних покриттів і алюмінію з ПЕТФ [41-49].

Цей спосіб переробки пластикових відходів включає наступні стадії:

1. Подрібнення пластикової тари на частки;
2. Видалення легких матеріалів з вказаних пластикових виробів;
3. Введення вказаних пластмасових виробів в промивальний резервуар, що

містить турбулентну воду і миючий засіб для гарячої води;

4. Дегідратація флекса;

5. Відділення вказаних пластикових виробів від інших залишків гідроциклоном;

6. Сушка флекса.

На установці в японському місті Фунабасі (рис. 2.4.) пластмасові відходи, що містять до 10 % каучуку, металу, скла і інших матеріалів, конвеєром подають на дробарку 2. Подрібнені відходи промивають і пневматичним транспортом направляють в повітряний класифікатор 3, де відділяється близько 3 % важких відходів. Далі відходи додатково подрібнюють в дробарці другого ступеня і продувають через магнітний сепаратор 4 для видалення металів, що залишилися. Потім подрібнені відходи промивають водою і детергентами і сушать у відцентровій сушарці 7. Висушені відходи перемішують в турбінному млині 8 для запобігання тому, що грудкує і подають в екструдер 9, де за допомогою таблетувального пристрою 10 матеріал перетворюється на пігулки [1,4].

На установках такого типу переробляють в основному відходи споживання. Що ж до виробничих відходів, то схема процесу їх переробки нерідко спрощується за рахунок виключення ряду стадій (особливо 3, 4 і 5) і часто зводиться до наступної: 1, 2, 6, 7

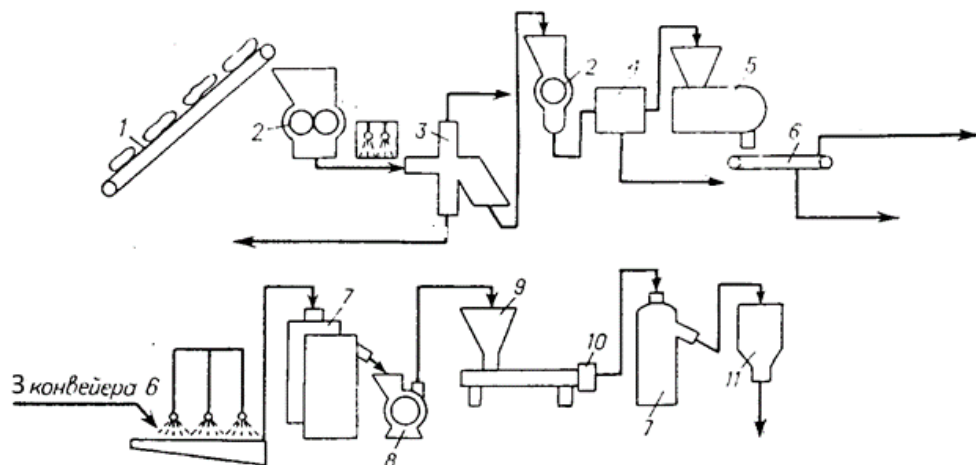


Рис. 2.4. Схема регенерації пластмасових відходів

1 - конвеєр для подання мішків; 2 - дробарки; 3 - повітряний класифікатор; 4 - магнітний сепаратор; 5 - промивач; 6 - конвеєр; 7 - відцентрові сушарки; 8 - млин; 9 - екструдер; 10 - брикетуючий пристрій; 11 - бункер для брикетів.

Стадія подрібнення відходів є практично обов'язковою і відповідальною при переробці відходів. Від якості подрібнення залежить можливість подальшої переробки відходів у виробі і сфери їх застосування.

При виборі того або іншого типу устаткування необхідно враховувати ряд чинників, головними з яких є: вид і характер пластмасових відходів, їх розміри і кількість, необхідна міра подрібнення і кінцевий розмір подрібненого матеріалу та ін. Іноді відходи заздалегідь ріжуть на дрібніші шматки, які далі подрібнюють на стандартному устаткуванні.

Для підвищення продуктивності стадії подрібнення часто необхідно проводити попереднє ущільнення відходів, особливо тих, які мають низьку насипну щільність. Для ущільнення відходів використовують дискові ущільнювачі, що є грануляторами з фракційними дисками, один з яких обертається, а інший нерухомий. Для переробки відходів поліетиленової плівки розроблена комплексна лінія, до складу якої входять вузли подрібнення відходів, їх ущільнення і подальшої грануляції. Подрібнення здійснюється в ножовій роторній дробарці з трисекційним ротором, після чого подрібнені відходи пневмотранспортом через дозуючий живильник подаються в ущільнюючий конусно-шнековий екструдер з гранулюючою голівкою і далі після охолодження ріжуться на гранули розміром 3x4 мм (рис. 2.5).

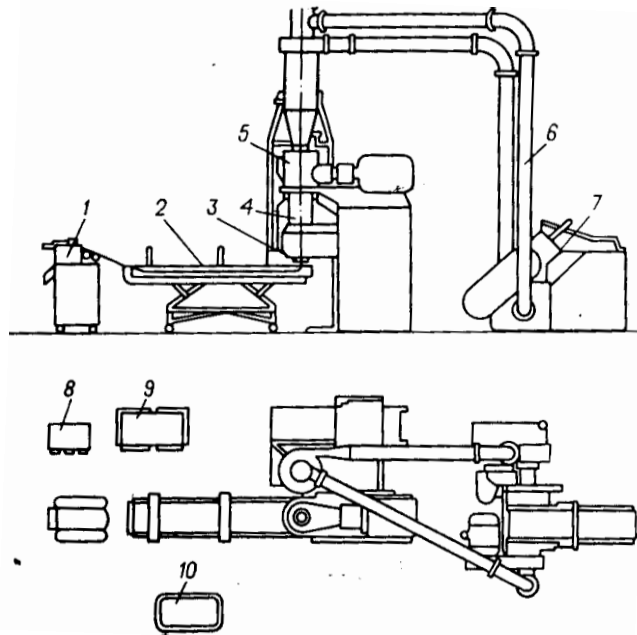


Рис. 2.5. Лінія для переробки відходів поліетиленової плівки

- 1 - гранулятор; 2 - ванна охолодження; 3 - гранулююча голівка;  
 4 - конусно-шнековий екструдер; 5 - дозуючий живильник;  
 6 - пневмотранспортер; 7 - подрібнювач відходів;  
 8, 9 - шафи управління; 10 - пульт управління.

Для ущільнення піноматеріалів часто використовують автоклавний метод, що дозволяє з пластмас з уявною щільністю  $15-20 \text{ кг/м}^3$  отримувати полімери нормальної щільності і що не містять вспінюючого агенту шляхом поступового підвищення температури і використання вакууму.

Ущільнення також проводять в екструдерах, що мають зони вакуум-отсоса, де з полімерних відходів в розплаві віддаляється вспінюючий агент і повітря. Регулюючи температуру екструдера по зонах, продуктивність, вакуум, а також проводячи багатократну екструзію, можна добитися повного видалення летких з екструдату, після чого гранулят піддають подрібненню.

Оскільки процес подрібнення супроводжується великим виділенням теплоти, у ряді дробарок передбачається водяне охолодження. Це хоча і дещо ускладнює конструкцію дробарок, проте сприяє збільшенню їх продуктивності. Більш висока дисперсність в процесі подрібнення може бути

досягнута при використанні подрібнювачів інших конструкцій, які засновані на ударній, ударно-ріжучим м або ударно-імпульсній дії.

В останні 15-20 років все більший розвиток знаходить техніка криогенного подрібнення, яка дозволяє охолоджувати матеріал нижче температури крихкості. Як охолоджувальний агент використовується рідкий азот, що має температуру - 196 градусів Цельсію, що нижче температури крихкості більшості полімерних матеріалів.

Подрібнення при знижених температурах має ряд переваг : завдяки охолодженню і інертному середовищу виключається термодеструкція полімеру, різко зростає міра подрібнення, підвищується продуктивність процесу і знижуються питомі енерговитрати, запобігає окисненню продукту.

Після подрібнення, у тому разі якщо відходи можуть містити металеві включення, їх зазвичай пропускають через магнітний сепаратор. У магнітному полі, що створюється за допомогою електромагнітів, відбувається відділення магнітних металів від пластмасової частини відходів.

У разі, якщо відходи можуть містити домішки кольорових металів, зазвичай використовують електросепарацію. На рис. 2.6 показана принципова схема електричного сепаратора з коронною системою. Суміш, що підлягає розділенню, подається на заземлений електрод – барабан 4, який переміщає частки в зону дії коронуючих електродів 6. В результаті часткового пробою повітря в міжелектродному просторі утворюються іони, які передають заряд часткам металу і полімеру. Металеві часточки швидко розряджаються, відриваються від барабана і потрапляють у бункер 8. Полімерні відходи зберігають заряд тривалий час і притягуються до барабана до тих пір, поки не очищаються спеціальною щіткою 3, після чого потрапляють у бункер 7. При такому способі сепарації розділення відбувається досить повно, а втрати відходів пластмас не перевищують 1 %.

Розроблені також індуктивні прилади, що дозволяють видаляти немагнітні метали в електромагнітному полі. У верхній частині приладу розташована котушка індуктивності, що створює електромагнітне поле



високої частоти. Електропровідні частки змінюють це поле і виникаючий сигнал через підсилювач включає електромагніт управління заслонкою.

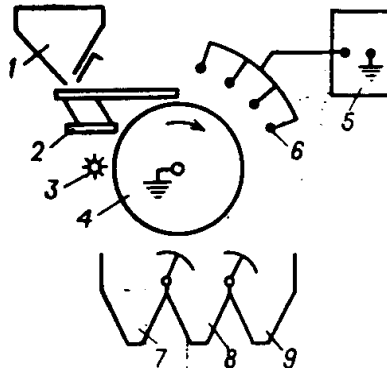


Рис. 2.6. Принципова схема електричного сепаратора

1 — бункер; 2 — віброживильник; 3 — щітка; 4 — заземлений електрод (барабан), що обертається; 5 — джерело високої напруги; 6 — коронируючі електроди; 7-9 — бункери.

Порція матеріалу із сторонніми металевими включеннями видаляється із загального масопотоку, після чого заслонка повертається в початкове положення.

Важливою стадією попередньої обробки відходів є очищення їх від забруднень. Присутність у відходах забруднень призводить до помітного погіршення зовнішнього вигляду деталей, що отримуються з відходів, зниження якості поверхні і фізико-механічних показників. Підвищення змісту забруднень від 0 до 20 % приводить до збільшення середньої глибини шорсткості поверхні деталей від 0,3 до 0,55 мм.

Для очищення забруднених відходів застосовують зазвичай наступні методи: сухе видалення пилу, миття у водних розчинах, розчинення полімерів з подальшим фільтруванням розчинів, обробку поверхні розчинниками. Вибір методу визначається сумісністю забруднень з пластмасами і хімічною природою забруднень.

Різновидом рідинного розділення відходів пластмас є їх послідовна обробка в камерах, заповнених водними розчинами солей різної щільності від хлориду натрію ( $1,07 \text{ г/см}^3$ ) до хлориду кальцію ( $1,38 \text{ г/см}^3$ ). Суміші відходів полімерів розділяються залежно від їх щільності, причому відділення ПВХ ефективніше відбувається у присутності невеликих кількостей неіоногенного поліоксиетилендодецила.

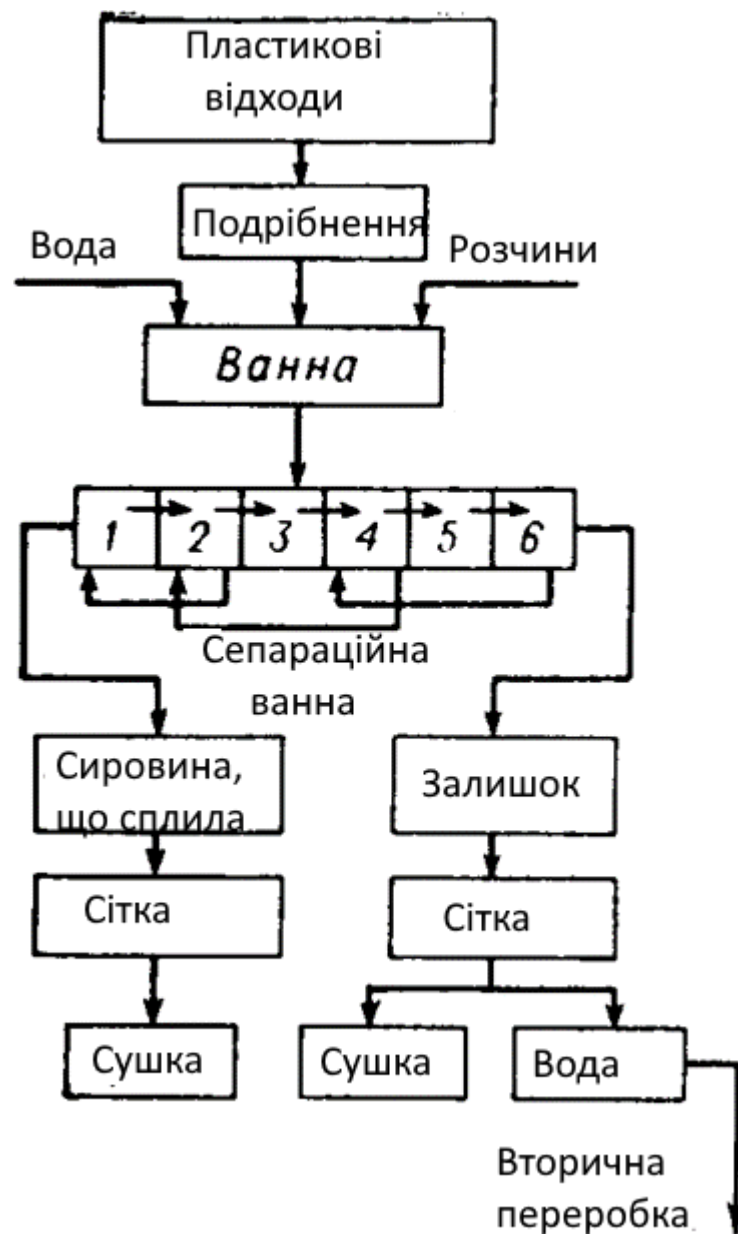


Рис. 2.7. Принципова схема сепарації флотації відходів

Розроблений також рідинно-циклонний спосіб розділення суміші відходів. Відходи подрібнюють, змішують з водою і подають в циклон, де за рахунок відцентрової сили відбувається розділення суміші на дві фракції, що відрізняються питомою вагою. В результаті послідовних операцій, що повторюються, в циклонах вдається досягти високої міри розділення 98-99 %.

Окрім мокрих методів розділення відходів пластмас останнім часом усе більш широко використовуються сухі методи. Найбільше поширення отримав комбінований метод, що включає просіювання і провіювання. Він передбачає попередню операцію подрібнення і придатний в тих випадках, коли подрібнені відходи відрізняються один від одного за формою або по щільності або за обома цими показниками. Якщо фракцію подрібненої суміші відходів, що пройшла через сито певних розмірів, розділити провіюванням, то в результаті різної швидкості осідання часток, визначуваною щільністю полімерів, утворюються дві фракції з відходів з більшою і меншою щільністю. Описаний метод може здійснюватися і в зворотному порядку. Комбінований метод дозволяє досягти міри розділення 90-95 %.

У тому випадку, коли вдається добитися досить високої міри очищення і виділення індивідуальних відходів з суміші, а також коли відходи заздалегідь розсортовані по видах пластмас, переробка відходів багато в чому схожа з переробкою первинних пластмас.

Дво-трикратна переробка пластмас не впливає істотно на їх фізико-механічні показники. Це говорить про принципову можливість повертати у виробничий цикл отримання виробів з пластмас відходи синтезу і переробки, термічна дія на які була порівняно недовгочасною. Проте таке повернення відходів в цикл вимагає ретельної попередньої оцінки їх властивостей. Тільки після цього може бути прийняте рішення про можливість використання відходів.

Використання відходів викликає необхідність певних змін в апаратурному оформленні процесів переробки. Якщо говорити про

найширше вживаний для переробки відходів метод екструзії, то з цих особливостей необхідно відмітити наступні: наявність в бункері перетрушувача і шнека для полегшення умов заправки екструдера, конічну форму циліндра в зоні завантаження для підвищення міри стискування матеріалу, для хорошої гомогенізації і виключення пульсації, обов'язкова наявність зони розрядки для дегазації розплаву, установку змінних фільтрів в голівці екструдера.

На рис. 2.8 представлена принципова схема лінії утилізації технологічних відходів методом екструзії. Гранулят найбільш поширеного полімеру - поліетилену, як правило, переробляють в плівку, яка використовується в сільському господарстві для невідповідальних призначень або йде на виготовлення мішків для сміття. Плівку отримують на звичайній установці для випуску рукавної плівки.

Для переробки відходів методом лиття під тиском, як правило, застосовують машини, працюючі за типом інтрузії, з шнеком, що постійно обертається. Його конструкція така, що забезпечує захоплення і гомогенізацію відходів.

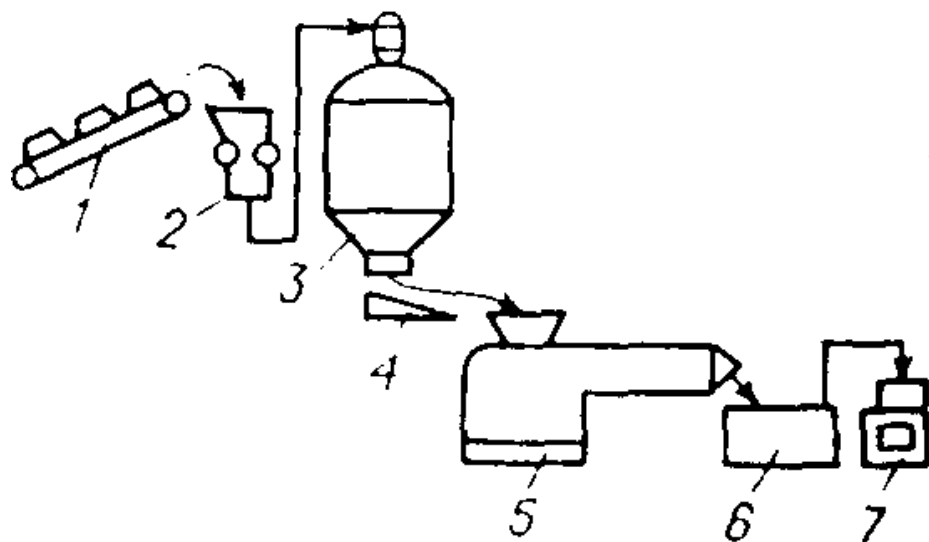


Рис. 2.8. Принципова схема переробки відходів пластмас методом екструзії

1 — конвеєр з відходами; 2 — подрібнювач; 3 — бункер-змішувач; 4 — магнітний жолоб; 5 — екструдер; 6 — охолоджувальна ванна; 7 — гранулятор

З метою переробки індивідуальних відходів розроблені спеціальні комплектні агрегати, що включають дробарку, сепаратор і змішувач-дозатор для змішення з кондиційним продуктом, рис. 2.9. Такі установки створені фірмами G. Fischer (Швейцарія), Co. Mec (Італія), Mauser і Condux (Німеччина).

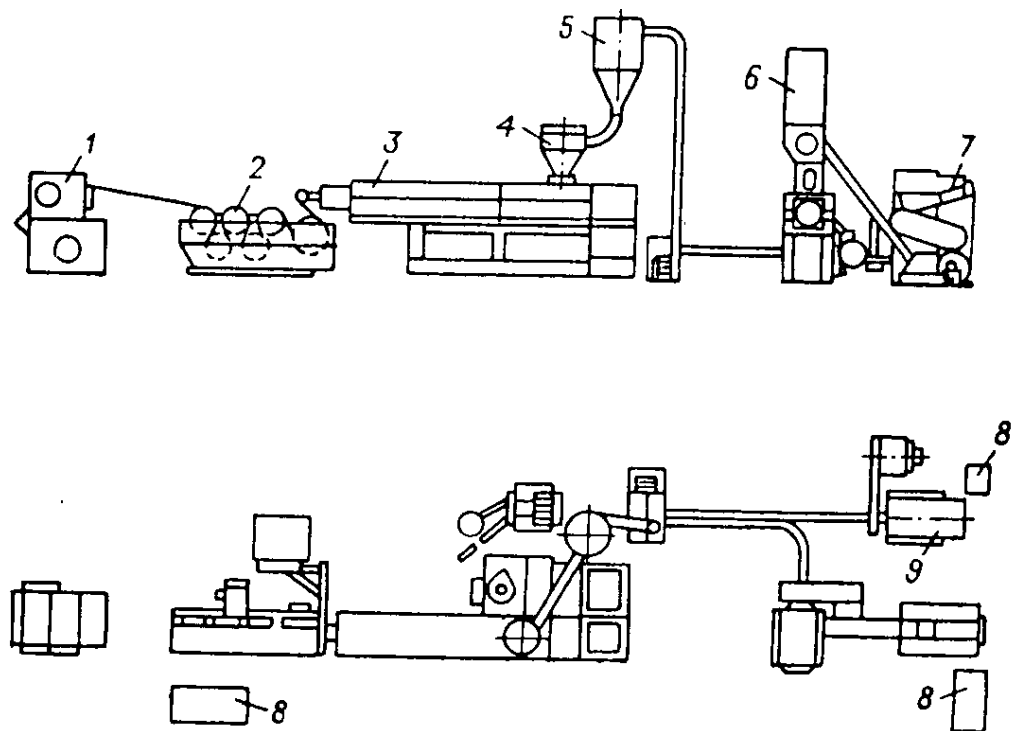


Рис. 2.9. Комплексна лінія для грануляції вторинних пластиків

1 - стрічковий гранулятор; 2 - пристрій, що охолоджує; 3 - черв'ячний прес; 4 - живильник-дозатор; 5 - бункер-накопичувач;

6 - подрібнювач; 7 - роторний різак; 8 - пульти управління; 9 - кусковий подрібнювач.

Відходи, що утворюються на стадії синтезу, як правило, менш схильні до термічної дії, чим відходи переробки, тому часто їх можна додавати до товарного продукту у більш високих концентраціях.

## **Висновки до розділу 2.**

В ході проведенного дослідження було праналізовано особливості різних способів переробки пластикових відходів. Було розглянуто переваги і недоліки кожного з них, було виявлено, що найбільш доцільним і розповсюдженим є спосіб механічного впливу на сировину при переробці пластикових відходів.

При переробці пластикових відходів однією з головних проблем є проблема сепарації пластикових відходів, а також низька енергоефективність процесу.

### **РОЗДІЛ 3**

## **ВДОСКОНАЛЕННЯ ТЕХНОЛОГІЧНОГО ПРОЦЕСУ ПЕРЕРОБКИ ПЛАСТИКОВИХ ВІДХОДІВ ДЛЯ ВИРОБНИЦТВА БУДІВЕЛЬНИХ ЕКО-ПЛИТ**

### **3.1 Типовий технологічний процес механічної переробки пластикових відходів**

Розглянемо типовий процес переробки пластикових відходів. Переробка пластикових відходів розпочинається з сортування сировини. Потім, відходи проходять переробку в декілька послідовних кроків:

- подрібнення сировини
- центрифугування
- агломерація
- екструдкування
- охолодження стренг і їх нарізка на гранули
- транспортування і зберігання продукції.

Збір сировини і його сортування - початок процесу. На цьому етапі відходи ділять на категорії, які відповідають виду сировини. Сортування робиться вручну і з використанням механізованих пристроїв.

Відсортовані відходи очищають від деталей з чужорідного матеріалу. Далі підготовлена сировина подрібнюють в спеціальних машинах, за допомогою дроблення. Потім, очищають в спеціальних машинах для сухого миття, після чого, подрібнений і очищений пластик переходить на наступний крок обробки - центрифугування. Цей процес позбавляє матеріал від домішок. Після подрібнення слідує термічна обробка матеріалу і його перетворення на гранулу.

Для переробки вторсировини на підприємстві використовуються наступне устаткування:

- машина для подрібнення відходів;
- циклон;

- агломератор - для зменшення об'єму сировини;
- гранулятор (екструдер) - для формування однорідної сировини, за допомогою використання температури. Схема лінії по переробці пластикових відходів представлена на рис 3.1.

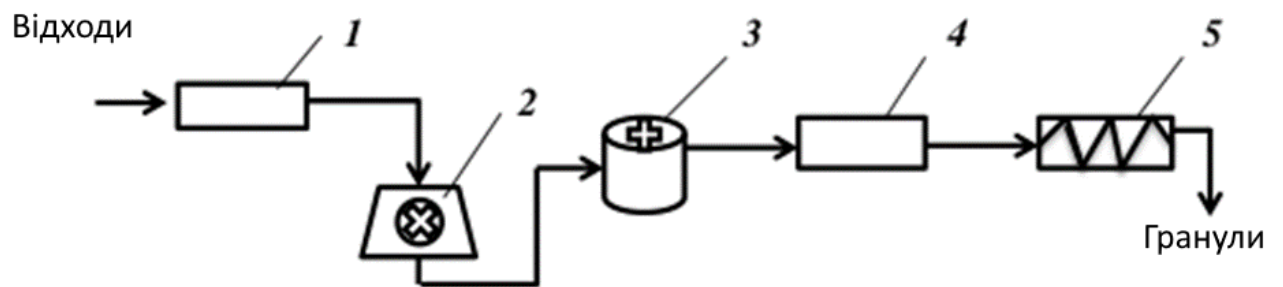


Рис. 3.1 Типова схема лінії переробки відходів в гранули

- 1 - вузол сортування поліетилену; 2 - дробарка; 3 - циклон; 4 - агломератор; 5 – екструдер

Після сортування підготовлений брукт завантажують в дробарку, рис. 3.2.

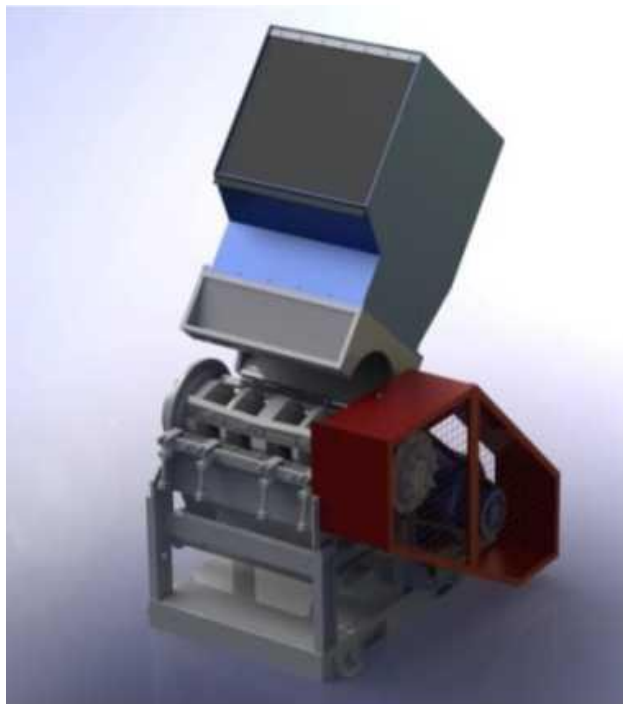


Рис. 3.2 Дробарка моделі AMD - 200D



Над дробаркою встановлений витяг з вологим пиловловлювачем.

Технічні характеристики дробарки представлені в таблиці 3.1.

Таблиця 3.1

Технічні характеристики дробарки моделі AMD - 200D

Габарити дробарки, ВхШхД (мм)	1500x400x600
Завантажувальний отвір, ВхШ (мм)	225x230
Хар-ки електродвигуна	4,0 кВт 16 А 380 В
Маса дробарки (кг)	160
Частота обертання ротора (об/хв) :	1500
Ножів на роторі (шт) :	3
Ножів на станині	2
Товщина подрібнюваного матеріалу	4-5
Продуктивність (кг/годину)	35 - 50

Далі подрібнений поліетилен всмоктується в циклонний бункер, рис. 3.3.



Рис. 3.3 Циклон моделі СП-100

Система призначена для очищення подрібненого матеріалу або сировини від легких та летких включень, очищає сировину без попереднього миття і сушки. Устаткування дозволяє очищати різноманітну сировину, у тому числі ПЕ, ПЕТ, ПВХ, гуму і інші матеріали.

Подрібнений матеріал висмоктується з дробарки в циклонний бункер. Після очищення, летка фракція збирається у фільтр-рукав, а очищена дроблена сировина падає вниз і збирається в контейнери.

Основні технічні характеристики циклону вказані в таблиці 3.2.

Таблиця 3.2

Основні технічні характеристики циклону моделі СП- 100

Частота обертання вентилятора,	900
Габарити ДхШхВ, мм	2850х1940х2120
Продуктивність, кг/г	до 800
Потужність, кВт	30

Використання агломератора - один із способів підвищень ефективності і економічності переробки, рис. 3.4.



Рис. 3.4. Двороторний агломератор моделі АПР-30х2М

На виході отримується товарний продукт - агломерат.

Подрібнений і відсортоване пластикове сміття поступає в зону розігрівання, де переходить в пластичний стан. Розм'якшена таким чином маса переміщається шнековими транспортерами.

На цьому етапі відбувається перемішування пластика і його дегазація - видалення летких речовин, що виділяються при нагріванні [39].

Технічні характеристики дворотного агломератора моделі АПР- 20х2М, вказані в таблиці 3.3.

Таблиця 3.3

Технічні характеристики дворотного агломератора АПР- 30х2М

Продуктивність на відходах ПВД не менше	120 кг/годину
Продуктивність на відходах ПВД максимальна	350 кг/годину
Встановлена потужність	60 кВт
Кількість роторних ножів	4/8
Кількість стаціонарних ножів	4
Тип корпусу	овальний
Об'єм корпусу	400 л
Тип вивантаження	механічний
Габаритні розміри ДхШхВ	1325х1050х1250 мм
Вага	1080 кг

Для поліпшення процесу змішування і створення більш високого значення зусилля стискування маси застосовується двохкаскадний шнековий екструдер, рис. 3.5. Такий агрегат має більш високу продуктивність, ніж однокаскадний екструдер, тому, вважається самим затребуваним.

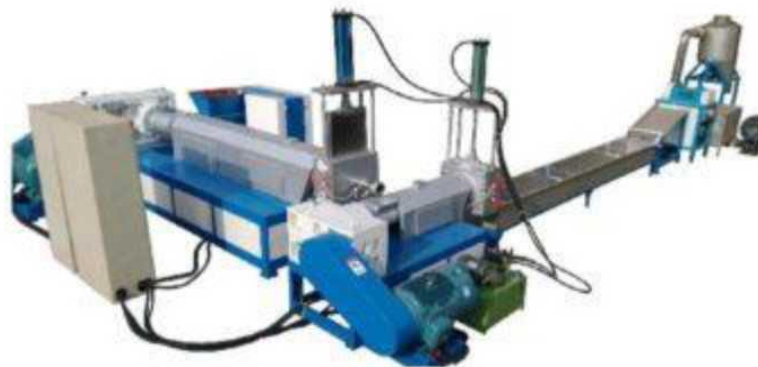


Рис. 3.5. Двохкаскадний шнековий екструдер

Маса розплавлених полімерів під тиском, створюваним шнеками, пропускається через круглі отвори в сталевій матриці - фільтрі. На виході матриці утворюються джгути (стренги). Зовні це нагадує вихід фаршу з м'ясорубки. Далі відбувається водяне охолодження джгутів і їх нарізка на гранули.

Каскадна лінія грануляції має два фільтри, завдяки чому сировина проходить подвійне очищення, і вимоги до чистоти сировини, що входить, можна понизити.

Лінія грануляції каскадного типу серії STR складається з двох одношнекових екструдерів:

- у першому екструдері відбувається попередній розплав сировини, змішування, ущільнення сировини. Виділяються волога і різні забруднення сировини, у тому числі фарба з плівки. Отримуваний розплав відрізняється неоднорідною щільністю.
- у другому екструдері відбувається пластифікація і гомогенізація сировини. Отримувані на виході з екструдера стренги, які згодом ріжуться спеціальним інструментом, вирізняються однаковою товщиною, однаковими розмірами і властивостями.

Ріжуться стренги холодним методом. Після екструзії, стренги охолоджуються у ванні, обдуваються, а потім ріжуться на гранули і калібруються. Ця технологія отримання гранульованого полімерного матеріалу є найпоширенішою і найбільш вживаною.

Готові охолоджені гранули транспортують контейнерами в приміщення для зберігання готової продукції, де надалі відбуватиметься відбір проб для контролю якості, фасовка і маркування.

Таблиця 3.4

Технічні характеристики стренгової лінії (двохкаскадного екструдера).  
Модель STR 115/90

Діаметр шнека	1-й екструдер	115 мм
	2-ой екструдер	90 мм
Потужність двигуна	1-й екструдер	50 кВт
	2-ой екструдер	11-30 кВт
Швидкість обертання шнека		10-120 об/хв
Загальна нагрівальна потужність		50 кВт
Продуктивність		180-200 кг/г
Потужність гранулятора		2.2 кВт
Вага		3000 кг
Габарити		6000x3500x1500 мм

### 3.2 Вдосконалення технології переробки пластикових відходів

При вдосконаленні технологічної схеми ділянки або цеху по переробці пластикових відходів з подальшим виробництвом будівельних екоплит були поставлені наступні вимоги:

1. Невисока вартість.
2. Мобільність. Можливість перенесення устаткування на інший виробничий майданчик.
3. Універсальність, простота в обслуговуванні.
4. Автоматизація управління.
5. Компактність устаткування для можливості розміщення на обмеженому в площі виробничому майданчику.
6. Підвищена якість переробки і знижена енергоефективність.

На даний момент у викладеній типовій технології існує ряд проблем, пов'язаних з отриманням продукції заявленої якості, що відповідає основним технічним параметрам.

У зв'язку з тим, що в основному сировина закуповується із складними забрудненнями погіршується якість отримуваної продукції. Також сильно забруднена сировина вимагає довгого додаткового очищення.

Для того, щоб поліпшити якість продукції, що отримується на

виробництві, а також для зменшення кількості бракованої продукції, яка згодом разом з відходами потрапить на полігони, пропонується модернізувати технологічну лінію, за допомогою впровадження в неї мийної і сушарної установки. Тоді з'явиться можливість проводити додаткове миття і очищення сильнозабрудненої сировини, тим самим дозволяючи поліпшити якість гранули, яка далі піде на виробництво нових поліетиленових виробів, а не на полігон у вигляді сміття.

Розглянемо типи устаткування різних типів, що представлені на ринку.

Сухе миття для полімерів. Мінусами цього устаткування є те, що воно, в основному, націлене на очищення легких «плавучих відходів» (лушпиння, папір, дрібний пісок, пил, бруд), оскільки більше і важче сміття застргає на ситі. У зв'язку з цим, сито доведеться часто очищати. Плюсами є те, що на очищення сировини не знадобиться вода.

Горизонтальна миюча центрифуга має безліч плюсів, але єдиним мінусом є занадто висока продуктивність. Така висока продуктивність, на даний момент, непосильна в існуючій лінії виробництва.

Ванна флотації має безліч плюсів: споживання малої потужності, простота у використанні і експлуатації, а також функціонування у складі різних технологічних ліній по збору і видаленню тонучих часток, що полегшує процес видалення сміття, що осіло. З мінусів: потрібно 3000 л води для очищення 1 т сировини.

Фрикційне миття забезпечує найкращу міру очищення плівкових матеріалів.

Центрифуга для сушки полімерів є відмінним варіантом для існуючої лінії, але, в сукупності з миттям, занадто дорогим. Окупність такої лінії настане після року експлуатації.

Прес-сушарка або шнекове віджимання спрямоване на сушку плівкових матеріалів, міру вологості плівки, після завершення процесу, не перевищує 7 %. З мінусів: устаткування дороге.

Сушарка гарячим повітрям. З мінусів: високе споживання енергії.

З плюсів: найдешевший варіант із запропонованих. Вивчивши різні пропозиції виробників цих апаратів, був зроблений висновок, що найкращим вибором буде установка фрикційного миття з ванною флотації і прес-сушилки.

Технологічний процес після впровадження в технологічну лінію мийно-сушарної установки, складатиметься з наступних стадій:

- подрібнення сировини
- миття в дві стадії
- сушка
- агломерація
- екструдкування
- охолодження стренг і їх нарізка на гранули
- транспортування і зберігання продукції.

Схема нової технологічної лінії по переробці пластикових відходів представлена на рис. 3.6.

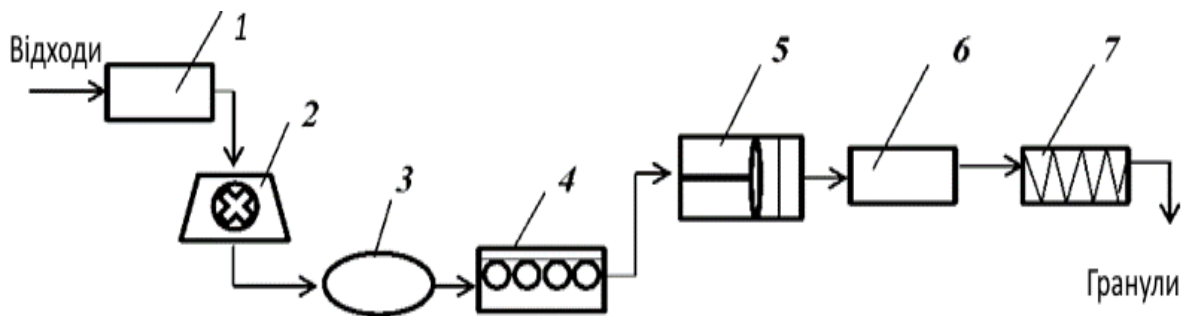


Рис. 3.6. Пропонована схема технологічної лінії по переробці пластикових відходів

1 - вузол сортування; 2 - дробарка; 3 - ванна флотації; 4 - фрикційне миття; 5 - прес-сушка; 6 - агломератор; 7 - екструдер

Далі розглянемо технічні характеристики вибраної апаратури і їх принцип дії.

Після дробарки подрібнена сировина поступатиме у ванни флотації, рис. 3.7.



Рис. 3.7. Ванна флотації

Принцип дії ванн флотацій полягає в наступному. У резервуарі подрібнена сировина і чужорідні частки розділяються за допомогою конвеєра (за рахунок різної відносної щільності). Подрібнений матеріал залишається на поверхні і за рахунок циркуляції води транспортується до устаткування наступного етапу в лінії миття. Чиста сировина не лише забезпечує отримання чистих гранул, але також оберігає устаткування від абразивної дії піску і бруду.

Ванна флотації використовується для відділення сміття від плівкових матеріалів. Функціонує вона у складі різних технологічних ліній за принципом збору і видалення тонучих часток. Сировина, що знаходиться на поверхні води, відділяється від чужорідних часток (піску, дрібних каменів, бруду і важких фракцій) в процесі перемішування. Забруднення осідають на дні ванни і доставляються до вузла вивантаження шнековим гвинтом. Плівка, що пройшла стадію очищення, вирушає на наступний етап переробки - у фрикційне миття.

Для цього виробництва, вибрана була ванна флотації моделі S - МФК - 400, її технічні характеристики вказані в таблиці 3.5.



Таблиця 3.5

Технічні характеристики миття флотоції для плівки, модель S - МФК - 400

Технічні характеристики	Показник
Продуктивність, кг/годину	200-1000
Потужність, кВт	3-5
Кількість лопатей, шт	3
Розміри (ДхШхВ), мм	7340x1595x3250

Подальшим етапом процесу переробки плівкових матеріалів буде миття тертям (фрикційне миття), рис. 3.8.



Рис. 3.8 Фрикційне миття

Вона спрямована на очищення матеріалів від забруднень (паперу, землі, піску, і харчових органічних відходів).

До складу миття тертям входять:

- завантажувальний бункер
- корпус
- ротор з лопатками
- екран з перфораційними отворами, циліндр (барабан), що утворює
- форсунки для подання води у барабан.

Подання подрібненого матеріалу здійснюється у безперервному режимі в завантажувальний бункер (воронку) миття. Миючий ефект

досягається завдяки високій інтенсивності тертя часток полімерних матеріалів як між собою, так і об внутрішні поверхні миття.

За рахунок відцентрової сили легкі частинки бруду, паперу і полімерів видаляються з барабана через перфораційні отвори, а матеріал переміщається до зони вивантаження. Видалені частки з бака, січення (дрібна фракція) полімеру змиваються із зовнішньої поверхні барабана водою і далі зливаються в систему водообороту.

Розглянемо особливості і технічні характеристики миття тертям, серії FRIK - TM, в таблиці 3.6.

Таблиця 3.6

## Технічні характеристики фрикційного миття серії FRIK -TM

Технічні характеристики	Показник
Потужність, кВт	17-30
Обороти ротора, об/хв	1500
Діаметр ротора, мм	400
Продуктивність, кг/г	300
Потужність водяного насоса, кВт	2,2

Після ретельного промивання, настає наступний крок - сушка. Традиційно процес сушки здійснюється за допомогою гарячого повітря і центрифуги. Проте, значні витрати на енергію, потрібну для процесу сушки поліетиленової плівки, можна замінити на віджимання води з вологої плівки за допомогою прес-отжима (рис. 3.9).



Рис. 3.9 Прес-сушка моделі STANKO - 300

Процес віджимання зменшує вміст води до 3% при низькому споживанні енергії всього 25 кВт на 500 кг сировини, що в три рази менше, ніж при стандартній сушці. Процес віджимання також швидше за стандартні сушки, що збільшує пропускну спроможність, і в доповненні до економії енергії зменшує знос і витрати на обслуговування.

За технічними характеристиками був вибраний прес-сушка, моделі STANKO - 300 (Таблиця 3.7).

Таблиця 3.7

#### Технічні характеристики прес-сушки, модель STANKO - 300

Технічні характеристики	Показник
Загальна довжина шнека, мм	1124
Робоча довжина шнека, мм	776
Потужність приводу, кВт	25
Габарити, мм	2570x1500x2100
Маса, кг	2890
Продуктивність, кг/г	200-300

Після впровадження запропонованих рішень, витрати на електроенергію зміняться, оскільки в лінію додається фрикційне миття, ванна флотації і прес-сушка.

### 3.3 Удосконалення технологічного процесу виробництва еко-плит.

Еко-плита (екологічна плита) - це виріб у вигляді плити (панелі), що виготовлений з вторинної сировини – пластикових гранул або агломерату та подрібненого пластикового сміття. Полімерна плита є іноваційним матеріалом, матеріал який за багатьма характеристиками переважає існуючі аналоги. Цей полімерний виріб на противагу від аналогів, наприклад від ламінованої фанери, одним своїм виробництвом рятує ліс від вирубки, і підвищує масштаби переробки пластикового сміття. адже вона використовується в будівництві, архітектурі, військовій сфері, сільському господарстві. Перераховані вище факти напряму відносяться до

раціонального користування ресурсами, що є частиною концепції сталого екологічного розвитку країни.

Технологія виготовлення екологічних полімерних плит наступна. В готову для роботи прес-форму засипається полімерна гранула або агломерат 40% від об'єму, та подрібнене пластикове сміття в об'ємі 60%, і для збільшення міцності додається армована сітка. Після нагрівання полімерної суміші, суміш плавиться, утворюється сплав з армованою сіткою. Після чого полімерний виріб перекладається в прес-форму для охолодження. Охолоджений виріб – вже є готовою полімерною плитою.

Відомо що існують способи формування полімерного виробу, серед яких найближчим є спосіб, описаний у патенті України на корисну модель (патент на винахід № 126737), який обраний за прототип [48]. Спосіб за прототипом включає нагрівання частинок полімеру до температури плавлення, термопресування розплавлених частинок полімеру з наступною витримкою та охолодженням з отриманням литого полімерного виробу. Для нагрівання частинок полімеру їх розміщують у прес-форму у вигляді пошарової структури з полімерних частинок різних фракцій та наповнювача, потрібної для формування полімерного виробу. Нагрівання частинок полімеру, термопресування з витримкою та охолодження виконують у прес-формі, яка закривається після формування пошарової структури з частинок полімеру. Причому нагрівання заготовки у прес-формі здійснюють після її закриття. Такий спосіб дозволяє підвищити швидкість нагріву та уникнути небажаних тепловтрат. Проте виконання всіх стадій способу, починаючи від нагрівання частинок полімеру та закінчуючи охолодженням, в одній формі термопресу призводить до того, що потрібно чекати на закінчення формування одного виробу для початку формування наступного виробу, яке може бути почате тільки після виймання сформованого перед цим готового литого полімерного виробу. Це призводить до збільшення часу на формування декількох виробів, та відповідно, збільшення собівартості їх виготовлення, що є особливо суттєвим для технологічної лінії з виробництва

листових виробів, полімерної гранули та агломерату. Така проблема може бути вирішена збільшенням кількості форм термопресів. Проте, навіть у такому випадку потрібне нагрівання та охолодження форм термопресів для формування кожного нового виробу, що знижує енергетичну ефективність способу формування полімерних виробів, оскільки знижує енергетичну ефективність способу.

В основу модернізованої корисної моделі поставлене завдання зменшення часу на формування декількох полімерних виробів одночасно з підвищенням енергетичної ефективності та собівартості отримання виробів шляхом зміни умов здійснення етапів способу та обладнання, яке при цьому використовується.

Поставлене завдання вирішується таким чином, формування полімерного виробу, яке включає нагрівання частинок полімеру до температури плавлення, термопресування розплавлених частинок полімеру з наступною витримкою. Після чого відбувається етап охолодження з отриманням литого полімерного виробу, відповідно до корисної моделі. Перед нагріванням, частинки полімеру розташовують у відкритій формі, нагрівання здійснюється шляхом розташування відкритої форми у нагрівальній камері, в якій підтримують температуру плавлення частинок полімеру. Термопресування здійснюють одночасно з охолодженням, шляхом розташування відкритої форми після нагрівальної камери у камері з пресом та з охолодженням стінок камери.

Технічний результат від використання корисної моделі полягає у розділенні місця нагрівання частинок полімеру та місця їх термопресування з витримкою та охолодженням, що дозволяє розташовувати нову відкриту ємність з частинками полімеру, для виготовлення наступного виробу у нагрівальній камері, одразу після виймання попередньої ємності з вже розплавленими частинками полімеру. Якщо використовувати спосіб на технологічній лінії для виробництва листових виробів, то це призведе до суттєвого скорочення часу на формування декількох виробів або збільшення

кількості виробів за однаковий проміжок часу за рахунок тільки однієї нагрівальної камери та камери з пресом із охолодженням стінок камери, у порівнянні з використанням однієї форми термопресу.

Згідно з одним з переважних варіантів виконання способу, перед розташуванням частинок полімеру у відкритій формі їх змішують з порошковим барвником. Це дозволяє отримати полімерний виріб потрібного кольору та/або структури зовнішньої поверхні і за допомогою цього уникнути або принаймні спростити обробку, або покриття поверхні готового виробу після формування.

Згідно з наступним з переважним варіантом виконання способу, термопресування здійснюють у камері з пресом та з водяним охолодженням стінок камери. Такий спосіб додатково підвищує енергоефективність способу за рахунок водяного охолодження частинок полімеру у розплавленому виді одночасно з термопресуванням. При цьому, є можливість утилізації нагрітого теплоносія після водяного охолодження з камери, наприклад, для гарячого водопостачання тощо, що також підвищує енергоефективність способу.

Згідно з останім переважним варіантом виконання способу, використовують відкриту форму, нагрівальну камеру та камеру з пресом з охолодженням стінок у складі технологічної лінії для виробництва листових виробів з полімерних гранул та/або агломерату. Такий спосіб додатково скорочує час на формування декількох виробів за рахунок послідовно утворених технологічних операцій, зв'язаних між собою обладнанням технологічної лінії.

В цьому випадку, в якості литого полімерного виробу можуть отримувати будівельну посилену полімерну панель, шляхом укладання щонайменше одного шару армувальної сітки у зазначену відкриту ємність на розплавлені частинки полімеру, після нагрівальної камери. За рахунок такого варіанту виготовлення отримують полімерний виріб з параметрами, які збільшують цикл його використання, що потрібно при будівництві. До того ж зазначається що цей спосіб в межах етапів самого процесу формування

полімерного виробу, тобто без додаткових операцій з вже готовим виробом що підвищує енергоефективність способу та зменшує собівартість отриманої продукції.

Наступним надається приклад здійснення способу згідно корисної моделі, який тільки пояснює її суть та можливість здійснення не обмежуючи інших можливих варіантів її реалізації.

Формування полімерного виробу починають з розташування частинок полімеру у відкритій формі. В якості частинок полімеру можуть використовувати такі полімери як поліетилен (PE), поліпропілен (PP) або полівінілхлорид (PVC) та інші подібні або їх суміш. Зокрема, в якості сировини для виготовлення полімерного виробу згідно способу використовують подрібнену сировину з відходів вказаних полімерів або в агломераті (вторинна полімерна гранула). Кількість частинок полімеру визначають з врахуванням їх фракції та розмірів виробу, який потрібно виготовити. Перед розташуванням частинок полімеру у відкритій формі можуть здійснювати їх змішування з порошковим барвником для отримання полімерного виробу потрібного кольору чи відтінку на виході.

Підготовані таким чином частинки полімеру розташовують у відкритій формі шляхом їх насипання з дозуючого бункера, в якому попередньо задають параметри об'ємного дозування для виготовлення одного полімерного виробу в залежності від виду часток і їх фракції. Також можуть здійснювати об'ємне дозування частинок полімеру для виготовлення одного полімерного виробу з використанням розмірів відкритої форми або міток на її внутрішній поверхні, тощо. Відкрита форма виглядає як ємність зі стінками та відкритою верхньою частиною для розташування частинок полімеру. Внутрішня поверхня стінок ємності може мати тефлонове покриття.

Потім відкриту форму з кількістю частинок полімеру, потрібною для виготовлення одного полімерного виробу, розташовують у нагрівальній камері та нагрівають внутрішній об'єм до температури плавлення частинок полімеру в залежності від їх виду. Наприклад, температура нагріву

внутрішнього об'єму нагрівальної камери може бути у межах 160...230°C. Для цього камера містить електричні нагрівальні елементи у внутрішньому об'ємі (ТЕНи) або засоби для інфрачервоного нагріву тощо. Також камера обладнана засобом автоматичного регулювання та підтримання температури внутрішнього об'єму нагрівальної камери. Після нагріву для забезпечення потрібної температури плавлення, як протягом формування одного полімерного виробу, так і для формування наступних виробів. Нагрів внутрішнього об'єму нагрівальної камери для першого виробу можуть здійснювати і перед розташуванням відкритої форми у нагрівальній камері.

Час витримки відкритої форми у нагрівальній камері до їх розплавлення та зв'язування між собою складає приблизно 10...15 хвилин, в залежності від типу полімеру. Після розплавлення частинок полімеру виймають відкриту форму з нагрівальної камери, розташовують її у камері з пресом з водяним охолодженням стінок камери. При цьому підтримують температуру внутрішнього об'єму нагрівальної камери для розташування нової відкритої форми з порцією часток полімеру для формування наступного виробу. Термопресування розплавлених частинок полімеру з наступною витримкою та охолодженням здійснюють протягом 10-15 хвилин шляхом обробки розплавлених частинок полімеру під тиском. Охолодження здійснюють до досягнення температури розплаву полімеру у межах 50...60°C. Наступним виймають відкриту форму з камери з пресом і дістають отриманий таким чином литий полімерний виріб з відкритої форми. Потім можлива додаткова обробка поверхні готового полімерного виробу, наприклад, шліфування чи різання на менші частини тощо.

У випадку, коли потрібно виготовити посилений полімерний виріб, наприклад, призначений для використання у будівництві, наприклад, будівельну посилену полімерну панель, для якої потрібно забезпечити багато циклів використання. У такому випадку після нагрівальної камери у відкриту ємність на розплавлені частинки полімеру укладається щонайменше один шар армувальної сітки. Для поліпшення міцності та збереження форми



полімерної плити можна використовувати армовану сітку. Армована сітка буквально «зв'язує» розплавлені частинки полімеру між собою, до того ж легко змінити розміри армованої сітки.

Отримана таким чином будівельна посилена полімерна панель за рахунок армувальної сітки має кращі показники на злам та розтягування (не менше 80 циклів використання, можливо і до 200 циклів), підвищену вологостійкість без зміни своєї структури та властивостей, поліпшені теплоізоляційні показники, стійкість до температурних перепадів, сонячного випромінювання та температур, що сприяє її більш ефективному використанні у будівництві у порівнянні з виробами з деревини та дерев'яної стружки аналогічного призначення. Також відсутність клею та смоли у складі такого полімерного виробу сприяє його екологічності та можливості застосування у харчовій промисловості, для контакту з харчовими продуктами тощо. При цьому, знижена собівартість отримання такого виробу завдяки заявленому способу що робить цей виріб більш привабливим для застосування у порівнянні з тими ж виробами з деревини та дерев'яної стружки аналогічного призначення.

У випадку, якщо потрібен полімерний виріб з зовнішньої поверхнею певної структури, наприклад, виступами та впадинами для антиковзкої структури, що чергуються, таку структуру виробу забезпечують за допомогою структури внутрішньої поверхні відкритої ємності та поверхні пресу в камері.

Технологічна лінія для виробництва листових виробів повина мати мінімальний набір відкритих форм для розташування частинок полімеру, нагрівальну камеру та камеру з пресом з охолодженням стінок камери. Вказані камери можуть бути об'єднані засобами транспортування відкритої форми між ними, за допомогою рейок, конвеєрів, вантажопідійомних механізмів типу талі та інших подібних. Відкриті форми також можуть бути самохідними для поліпшення автоматизації формування полімерних виробів.

Таким чином, завдяки корисній моделі досягають зменшення часу на

формування декількох полімерних виробів одночасно з підвищенням енергетичної ефективності та зменшенням собівартості виробів.

### **Висновки до розділу 3**

Модернізована технологія переробки пластикових відходів дозволить підвищити якість та енергоефективність отримання вторсировини для її подальшої переробки.

Модернізована технологія виробництва полімерних еко-плит на відміну від стандартних – дозволяє нагрівальним прес-формам працювати без зупинок, за допомогою переміщення полімерної плити в форму для охолодження. На відміну від стандартного способу використовуються дві пресформи що підвищує продуктивність, а за рахунок швидкості формування збільшується енергоефективність.

## ВИСНОВКИ

Забруднення навколишнього середовища пластиковими відходами можна вважати глобальною проблемою для людства. Більшість пластиків легко піддаються вторинній переробці, необхідно лише правильно організувати їх збір і сортування. Екологічно відповідальні країни вже давно не лише розділяють тверді побутові відходи, але і намагаються мінімізувати використання пластика. Для України безумовним первинним рішенням повинні стати підвищення свідомості населення, підвищення рівня його знань в області екології.

Досягти вирішення проблеми пластикових відходів можна тільки на основі системи комплексного управління відходами. Одним з перспективних напрямів є застосування вторсировини з пластикових відходів в будівельній сфері.

В ході проведенного дослідження було проаналізовано особливості різних способів переробки пластикових відходів. Було розглянуто переваги і недоліки кожного з них і виявлено, що найбільш доцільним і розповсюдженим є спосіб механічного впливу на сировину при переробці пластикових відходів.

При переробці пластикових відходів однією з головних проблем є проблема сепарації пластикових відходів та низька енергоефективність процесу. Зарпоноване вдосконалення технології переробки пластикових відходів дозволить підвищити якість та енергоефективність отримання вторсировини для її подальшої переробки.

Модернізована технологія виробництва полімерних еко-плит на відміну від стандартної дозволяє нагрівальним прес-формам працювати без зупинок, за допомогою переміщення еко-плити в форму для охолодження. На відміну від стандартного способу використовуються дві пресформи що підвищує продуктивність, а за рахунок підвищення швидкості формування збільшується енергоефективність та швидкість процесу виробництва, та собівартості екоплит

## СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. ДСТУ – 2195-99 (ГОСТ 17.9.0.2-99). Охорона природи. Поводження з відходами. Технічний паспорт відходу. Склад, вміст, виклад і правила внесення змін (введений в дію від 2001-01-01 на зміну ДСТУ – 2195-93 (ГОСТ 17.0.0.05-93).
2. ДСТУ – 3052-95. Ресурсозбереження. Порядок установлення показників ресурсозбереження в документації на продукцію. Введений в дію 1997-01-01.
3. ДСТУ – 3910-99 (ГОСТ 17.9.0.1-99). Охорона природи. Поводження з відходами. Класифікація відходів. Порядок найменування за генетичним принципом і віднесення їх до класифікаційних категорій. Введений в дію вперше 2001-01-01.
4. ДСТУ – 3911-99 (ГОСТ 17.9.0.1-99). Охорона природи. Поводження з відходами. Виявлення відходів і подання інформаційних даних про відходи. Загальні вимоги. Введений в дію вперше 2001-01-01.
5. ДСТУ – 4462.0.01:2005. Охорона природи. Поводження з відходами. Терміни та визначення понять. Введений в дію вперше. Чинний 2006-07-01.
6. ДСТУ – 4462.0.02:2005. Охорона природи. Комплекс стандартів у сфері поведження з відходами. Введений в дію вперше 2006-07-01.
8. ДСанПіН 2.2.7. 029-99. «Гігієнічні вимоги щодо поведження з промисловими відходами та визначення їх класу небезпеки для здоров'я населення» від 1999- 01-07.
9. Державні будівельні норми України Полігони твердих побутових відходів Основні положення проектування. ДБН В.2.4-2-2005// Електронний ресурс/ Режим доступу <http://dbn.at.ua/load/1-1-0-289>.
10. Утилизация и рекуперация отходов: Учебное пособие / Краснянский М. Е. – издание 2-е, исправленное и дополненное – Харьков: Бурун и К, Киев: КНТ, 2007. – 288 с.
11. Про внесення змін до деяких законодавчих актів України у сфері

поводження з побутовими відходами. Проект Закону України №4028 від 05.02.2016 р. [Електронний ресурс]. — Режим доступу: [https://search.ligazakon.ua/1\\_doc2](https://search.ligazakon.ua/1_doc2)

12. Джигирей В. С. Екологія та охорона навколишнього природного середовища. К.: Знання, 2007 - 422 с.

13. ДК 005 “Класифікатор відходів ” (КВ) чинний від 2000-30-03.

14. Довідково-методичні настанови щодо застосування ДК 005 “Класифікатор відходів ”.

15. Відходи виробництва і споживання та їх вплив на ґрунти і природні води: Навчальний посібник / За ред. В.К. Хільчевського. – К.: Видавничо-поліграфічний центр "Київський університет", 2007. – 152 с.

16. Про Загальнодержавну програму поводження з токсичними відходами: закон України від 2000р / Відомості Верховної Ради України (ВВР), 2000, № 44.

17. Бригінець К.Д. Утилізація промислових відходів. / К.Д. Бригінець, К.О. Абашина; Харк. нац. акад. міськ. госп-ва. – Х.: ХНАМГ, 2012. – 58 с.

18. Пластик: реальная угроза. URL: <http://www.nat-geo.ru/planet-or-plastic/1201321-plastik-realnaya-ugroza>;

19. Масленников С. И. Микропластик в океане — новые проблемы морского природопользования / С. И. Масленников, Г. Ф. Щукина, Ю. П. Назарец // Рыбное хозяйство. - 2017. - № 3. - С. 33-37.

20. Рахимов М. А. Проблемы утилизации полимерных отходов /М. А. Рахимов, Г. М. Рахимова / Фундаментальные исследования. 2014. — № 8-2. — С. 331-334.

21. Оценка экологической безопасности термопластичных материалов на основе линейных полимеров / В. П. Дмитренко [и др.] // Экология промышленного производства. — 2018. — № 1 (101). — С. 52-59.

22. Бондар І.Л. Системи поводження з твердими побутовими відходами в українських містах, роль міського населення в роздільному збиранні сміття та рекомендації для органів місцевого самоврядування /І.Л. Бондар, Л.І.

Полтораченко. — К.: ПРООН. — 2011. — 47 с.

23. Пластик: проклятие мирового океана. URL: [http:// www.nat-geo.ru/planet-or-plastic/1200843-plas-tik-proklyate-mirovogo-okeana/#full](http://www.nat-geo.ru/planet-or-plastic/1200843-plas-tik-proklyate-mirovogo-okeana/#full) ;

Разработка концепции управления отходами программа Европейской комиссии Tempus. URL: <http://www.tiwasic.de/rus/publications.html>.

24. Sahai, R. Отходы пластиков: их влияние и биодegradация / R. Sahai, P. Singh, // Нефтегазовые технологии. - 2015. - № 3. - С.58-62.

25. Доскіч В. Переробка втор сировини — гроші зі сміття [Електронний ресурс]. - Режим доступу: <https://ecology.unian.ua/trash/1181589-pererobka-vtorsirovinigroshi-zi-smittya.html>

26. Доскіч В. Сортунання сміття в Україні: вийти на новий рівень [Електронний ресурс]. — Режим доступу: <https://ecology.unian.ua/1327494-sortuvannya-smittya-vukrajini-viyti-na-noviy-riven.html>

27. Прокопенко О.М. Довкілля України за 2016 рік. Статистичний збірник /О.М. Прокопенко. — К.: Державна служба статистики України, 2017. - 242 с.

28. PROСміття. Побутові відходи: виклики для України та світу [Електронний ресурс]. - Режим доступу:

<https://biggggidea.com/.../prosmittya-pobutovi-vidhodi-vikli>

29. Батлук В. А. Основы экологии. К.: Знання, 2007, 519 с.

30. Білявський Г. О., Бутченко Л. І., Навроцький В. М. Основы экологии. К.: Лібра, 2002 - 351с.

31. Дворкин Л. И., Пашков И. А. и др. Строительные материалы из отходов промышленности. Учебное пособие – К.: Вища школа, 1989. – 208 с.

32. Бойчук Ю. Д., Солошенко Е. М., Бутай О. В. Екологія і охорона навколишнього середовища. К.: Видавничий дім «Княгиня Ольга», 2005 - 302 с

33. Вольфсон, С.А, Твердофазное деформационное разрушение и измельчение полимерных материалов. Порошковые технологии / С.А.

Вольфсон, В.Г. Никольский. СПб., 2004. №6. - 552 с.

34. Вторичная переработка пластмасс: [структура и свойства добавки, оборудование, применение] / пер. с англ. под ред. д-ра хим. наук, проф. Геннадия Е. Заикова; ред.: Франченко Ла Мантия. : Проф, 2007. – 397 с.

35. Джайлз Д., Брукс Д., Сабсай О.Ю. Производство упаковки из ПЭТ. - М. - Профессия, 2006г, 368 с.

36. Екологія / Ю. П. Бобильов, В. В. Бригадиренко, В. Л. Булахов, В. А. Гайченко та ін.; за ред. О. Є. Пахомова. Харків: Фоліо, 2014 666 с.

37. В.М. Радовенчик, М.Д. Гомеля «Тверді відходи: збір, переробка, складування» Навчальний посібник, Київ «КОНДОР» 2010 - 551с.

38. Шварц, О. Переработка пластмасс: подготовка сырья, технологии и оборудование, соединение полимеров, покрытия и отделка/ Шварц О., Эбелинг Ф.-В., Фурт Б.; пер. с нем. под ред. А. Д. Паниматченко. – Минск, 2008. - 315 с.

39. Франклин, П. Пластик - в переработку / П. Франклин // Твердые бытовые отходы. - 2007. - № 11 (17). - С. 68-72.

40. Файдюк И.С. Вторичная механическая переработка ПЭТ [Электронный ресурс]. URL: <https://engitime.ru/tehnologi/vtorichnaya-mexanicheskaya-pererabotka-pet.html>.

41. Турілова К. Тверді побутові відходи в Україні: потенціал розвитку / К. Турілова, Д. Обарканін, О. Ларіоновим та ін. — К.: ІФС в Україні, 2017. – 114 с.

42. URL: [https://www.eximpack.com/oborud/pererabotka\\_polimernyh\\_oth/](https://www.eximpack.com/oborud/pererabotka_polimernyh_oth/)

43. Патент CN 202702439 U, 27.07.2012 Waste plastic bottle recycling and loading / Yan Chuanrong.

44. Патент CN 102424221 A, 29.10.2011 Intelligent plastic bottle recycling / Cao Jiandong , Cyun Yuedong , Ma Djung.

45. Патент US5236603 A, 18.06.1991 Method for plastics recycling / Donald L.

46. Патент US7591222 B2, 3.05.2006 Compressing device for plastic

bottles optimized for recycling machines / Лафонд Аллен.

47. Патент US7892500 B2, 31.07.2007 Method and system for recycling plastics / Carner William E.

48. Патент на корисну модель № 126737, В29С, Спосіб виготовлення полімерного виробу/ Р. Йоган, 10.04.2018, бюл. №7.

49. Pellow D. N. Garbage Wars: The Struggle for Environmental Justice in Chicago / D. N. Pellow, L. S.-H. Park. — Cambridge : MIT Press, 2004. — 256 p.

50. Knoblauch J. A. The environmental toll of plastics [Electronic resource] / J. A. Knoblauch // Environmental Health News. — 2009. — Mode of access: <https://www.ehn.org/plastic-environmental-impact-2501923191.html>.

51. Gruchlik Y. Removal of organic micropollutants in waste stabilization ponds: a review / Y. Gruchlik, K. Linge, C. Joll // Journal of Environmental Management. - 2017. - Vol. 206. - P. 202-214. - DOI: 10.1016/j.jenvman.2017.10.020.

52. Recycling of plastic waste: Screening for brominated flame retardants (BFRs) / K. Pivnenko [et al.] // Waste Management. — 2017. — Vol. 69. — P. 101-109. - DOI: <https://doi.org/10.1016/j.wasman.2017.08.038>.

53. Biodegradation of sugarcane trash through use of microbially enhanced compost extracts / K. Shrestha [et al.] // Compost, Science & Utilization. — 2012. - Vol. 20, № 1. - P. 34-42.

54. Pachepsky Y. Scale and scaling in soils / Y. Pachepsky, R. L. Hill // Geoderma. - 2017. - Vol. 287. - P. 4-30.

55. Milios L. Sustainability impact assessment of increased plastic recycling and future pathways of plastic waste management in Sweden / L. Milios, A. Esmailzadeh Davani, Y. Yu // Recycling. - 2018. - № 3. - P. 33-50.

56. Amit G. An overview on waste plastic utilization in asphaltting of roads / G. Amit [et al.] // Journal of Engineering Research and Studies. - 2012. - Vol. 3, № 2. - P. 1-5.

57. Kathalewar M. et al. Chemical recycling of PET using neopentyl glycol:



Reaction kinetics and preparation of polyurethane coatings // Prog. Org. Coatings. Elsevier B.V., 2013. Vol. 76, № 1. P. 147-156.

58. Otto B. Using PET Scrap-Technology and Quality / Rieter PET Symposium. Hanau, Juny 2007.