

Центральноукраїнський національний технічний університет  
Агротехнічний факультет  
Кафедра екології, охорони навколишнього середовища  
та здорового способу життя

“Допущено до захисту ”  
Зав. кафедрою ЕОНСЗСЖ  
к.б.н., доцент  
\_\_\_\_\_ Ольга МЕДВЕДЄВА  
“ \_\_\_\_\_ ” 2024 р.

**КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА**  
**за другим (магістерським) рівнем вищої освіти**  
**на тему**  
**“ Екологічне обґрунтування ефективності переробки**  
**побутових пластикових відходів\_”**

Виконав здобувач вищої освіти  
II курсу, групи ЕО-22 М  
ОПП «Екологія»  
спеціальності 101 «Екологія»  
\_\_\_\_\_ Іванов В.М.  
« \_\_\_\_\_ » \_\_\_\_\_ 2024 р.

Керівник роботи  
к.б.н., доцент  
\_\_\_\_\_ Ольга МЕДВЕДЄВА  
« \_\_\_\_\_ » \_\_\_\_\_ 2024 р.

Рецензент \_\_\_\_\_ Микола КОВАЛЬОВ  
« \_\_\_\_\_ » \_\_\_\_\_ 2024 р.

м. Кропивницький, 2024

Центральноукраїнський національний технічний університет  
 Факультет АТ  
 Кафедра ЕОНСЗСЖ  
 Рівень вищої освіти магістр  
 Галузь знань 10 – Природничі науки  
 Спеціальність 101 - екологія  
 Освітньо-професійна (освітньо-наукова) програма

ЗАТВЕРДЖУЮ

Зав. кафедрою ЕОНСЗСЖ

к.б.н., доцент

Ольга МЕДВЕДЄВА

“ ” 2024 р.

### ЗАВДАННЯ НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ ЗА ДРУГИМ (МАГІСТЕРСЬКИМ) РІВНЕМ ВИЩОЇ ОСВІТИ ЗДОБУВАЧА ВИЩОЇ ОСВІТИ

Іванова Віктора Миколайовича

(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема роботи

Екологічне обґрунтування ефективності переробки побутових пластикових відходів

2. Керівник роботи

Медведєва О.В., кандидат біологічних наук, доцент

(прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання)

3. Строк подання роботи до захисту \_\_\_\_\_

4. Мета та завдання кваліфікаційної роботи

Полягає в розробці біорозкладних полімерних композицій, модифікованих ультразвуковою обробкою в процесі екструзії.

Завдання дослідження:

- Обґрунтувати вибір наповнювачів для модифікації поліетилену високого тиску з метою отримання полімерних композицій, що біорозкладаються.
- Отримати полімерні композиції на основі поліетилену високого тиску із наповнювачами різної хімічної природи. Обґрунтувати вибір складів композицій.
- Отримати плівкові зразки полімерних композицій методом екструзії з ультразвуковою обробкою розплавів і без неї.
- Провести дослідження фізико-хімічних властивостей одержаних зразків.
- Отримати плівкові зразки на основі поліетилену з додаванням

полікапролактону та модифікованого крохмалю та дослідити експлуатаційні властивості одержаних зразків, а також визначити терміни їх біорозкладання.

- Встановити залежність між складами полімерних композицій та термінами біорозкладання матеріалів на їх основі.

### 3. Консультанти по роботі, із зазначенням розділів роботи

| Розділ               | Консультант           | Підпис, дата   |                  |
|----------------------|-----------------------|----------------|------------------|
|                      |                       | Завдання видав | Завдання прийняв |
| Технологічна частина | Доцент Медведєва О.В. |                |                  |
| Економічна частина   | Асистент Мірзак Т.П.  |                |                  |
| Охорона праці        | Доцент Лузан П.Г.     |                |                  |

### КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

| № П/П     | Строк виконання етапів роботи | Назва етапів кваліфікаційної роботи                                         |
|-----------|-------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------|
| Перший    | 15.11.2023 року               | Розділ 1.Огляд літератури,<br>Розділ 6. Охорона праці                       |
| Другий    | 22.11.2023 року               | Розділ 2. Технології переробки ПЕТ відходів<br>Розділ 3.Методика досліджень |
| Третій    | 14.12.2023 року               | Розділ 4. Результати досліджень                                             |
| Четвертий | 20.12.2023 року               | Розділ 5. Економічне обґрунтування результатів досліджень                   |
| П'ятий    | 25.12.2023 року               | Висновки, список літератури, вступ.                                         |

Дата видачі завдання « \_\_\_\_ » \_\_\_\_\_ 2023 р.

Підпис керівника

\_\_\_\_\_ Медведєва О.В.  
(прізвище та ініціали)

Завдання прийнято до виконання « \_\_\_\_ »  
\_\_\_\_\_ 2023р.

Підпис здобувача

\_\_\_\_\_ Іванов В.М.  
(прізвище та ініціали)

## РЕФЕРАТ

На тему: «Екологічне обґрунтування ефективності переробки побутових пластикових відходів»

Випускна кваліфікаційна робота виконана на 75 сторінках, включає 24 таблиці, 14 рисунків, 37 літературних джерела, 3 додатки.

Об'єктом дослідження є ТОВ «Екостайл».

Метою дослідження є: полягає у розробці практичних рекомендацій щодо оптимізації схем переробки побутових пластикових відходів на основі оцінки їхньої еколого-економічної ефективності виходячи з аналізу існуючої ситуації в системі поводження з цими відходами на рівні Кіровоградської області.

У вступі розкривається актуальність магістерської роботи за обраним напрямом, ставиться проблема, мета і завдання.

У першому розділі присвячена класифікації, аналізу стану, методів переробки та використання пластикових відходів, державної політики у сфері поводження з відходами.

У другому розділі проведено аналіз найпоширеніших методів переробки ПЕТ відходів, а також перспективи розвитку цих напрямів.

У третьому розділі описується методика проведення досліджень технології переробки ПЕТ відходів.

У четвертому розділі описана технологія переробки ПЕТ-відходів та отримання біопластику.

У п'ятому розділі проводиться техніко-економічне обґрунтування проекту створення виробництва з переробки ПЕТ-відходів, а також розрахунок збитків, заподіяних при викидах забруднюючих речовин в атмосферу. У шостому розділі проведено аналіз ризиків, котрі можуть виникнути під час переробки ПЕТ-відходів.

У висновках наведені результати магістерської роботи та визначені перспективи розроблених заходів.

**ПОБУТОВІ ВІДХОДИ, ПЕТ-ПЛАСТИК, ПЕРЕРОБКА, ФЛЕКС.**

## Список скорочень, наведених у роботі

ПЕ – поліетилен

ПКЛ - полікапролактон

ПК – полімерна композиція

ПЕВт (ПЕНЩ) – поліетилен високого тиску (низькою щільністю)

ПЛА – полілактид

ПБЛ - полібутіролактон

МК – модифікований крохмаль

ПТР – показник плинності розплавів

БПК - біорозкладна полімерна композиція

УЗ – ультразвукова обробка розплавів полімерних композицій

ПК ПСБ – полімерна композиція із прискореним терміном біорозкладання

## ЗМІСТ

|                                                                                                                                                                                     | Стої |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------|
| Реферат                                                                                                                                                                             | 4    |
| Список скорочень                                                                                                                                                                    | 5    |
| Вступ                                                                                                                                                                               | 8    |
| РОЗДІЛ 1 ПОБУТОВІ ПЛАСТИКОВІ ВІДХОДИ (огляд літератури)                                                                                                                             | 11   |
| 1.1. Класифікація пластикових відходів                                                                                                                                              | 11   |
| 1.2. Обсяги утворення (накоплення) пластикових відходів та рівень їх переробки в Україні і світі.                                                                                   | 13   |
| 1.3. Ринок вторинної полімерної сировини в Україні.                                                                                                                                 | 18   |
| РОЗДІЛ 2 ТЕХНОЛОГІЇ ПЕРЕРОБКИ ПЕТ ВІДХОДІВ                                                                                                                                          | 26   |
| РОЗДІЛ 3 МЕТОДИКА ДОСЛІДЖЕНЬ                                                                                                                                                        | 33   |
| 3.1. Методика проведення досліджень                                                                                                                                                 | 33   |
| 3.2. Методи досліджень                                                                                                                                                              | 37   |
| РОЗДІЛ 4. РЕЗУЛЬТАТИ ДОСЛІДЖЕНЬ                                                                                                                                                     | 40   |
| Дослідження впливу біоактивних наповнювачів та                                                                                                                                      |      |
| 4.1. ультразвукової обробки на властивості розплаву та плівки на основі поліетилену.                                                                                                | 40   |
| Дослідження впливу крохмалю та ультразвукової обробки на властивості розплавів поліетилену, експлуатаційні властивості та здатність до біорозкладання плівок на його основі         | 44   |
| 4.2.                                                                                                                                                                                |      |
| Дослідження впливу ультразвукової обробки розплавів поліетилену, модифікованого полікапролактоном та крохмалем на експлуатаційні властивості та здатність до біорозкладання плівок. | 50   |
| 4.3.                                                                                                                                                                                |      |
| РОЗДІЛ 5 ЕКОНОМІЧНА ОЦІНКА ЗАПОБІГАННЯ НАНЕСЕННЯ ШКОДИ ПРИ ЗБЕРІГАНІ ПЕТ ВІДХОДІВ                                                                                                   | 55   |
| РОЗДІЛ 6 ОХОРОНА ПРАЦІ                                                                                                                                                              | 60   |

|        |                                                                                                              |    |
|--------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
|        | Аналіз небезпечних і шкідливих виробничих факторів, які                                                      |    |
| 6.1.   | можуть виникнути під час переробки побутових<br>пластикових відходів                                         | 60 |
| 6.2.   | Розробка заходів по запобіганню дії небезпечних та<br>шкідливих виробничих факторів і покращенню умов праці. | 61 |
| 6.2.1. | Заходи запропоновані для усунення небезпечних та<br>шкідливих виробничих факторів.                           | 61 |
| 6.2.2. | Вибір і обґрунтування засобів індивідуального захисту                                                        | 62 |
| 6.2.3. | Інструкція з охорони праці при переробці побутових<br>відходів                                               | 63 |
| 6.2.4. | Небезпечні сполуки та речовини, які трапляються при<br>переробці побутових пластикових відходів              | 64 |
| 6.3.   | Розробка заходів з пожежної профілактики                                                                     | 66 |
| 6.4.   | Висновки по розділу                                                                                          | 67 |
|        | ВИСНОВКИ                                                                                                     | 68 |
|        | СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ                                                                               | 70 |
|        | ДОДАТКИ                                                                                                      | 74 |

## ВСТУП

**Актуальність теми.** В даний час все більше уваги приділяється проблемі створення полімерних матеріалів, що біорозкладаються, для зниження навантаження на навколишнє середовище. Розробка та дослідження таких матеріалів є одним із пріоритетних напрямів розвитку науки. Сьогодні склалося кілька наукових напрямів у галузі створення біорозкладних полімерних матеріалів, які займаються дослідженнями біополімерів та біокомпозитів на основі природних та синтетичних полімерів, а також модифікацією синтетичних полімерних композицій для прискорення деструкції полімерної матриці.

Найбільш ефективним та поширеним способом надання біологічної деградації матеріалам із синтетичних полімерів є введення в полімерну композицію різних природних наповнювачів, що є живильним середовищем для мікроорганізмів, а також добавок, що прискорюють деструкцію полімерного матеріалу. Незважаючи на те, що існує велика кількість робіт, присвячених створенню біорозкладних полімерних матеріалів, описані способи їх отримання та сфери їх застосування, проблема створення біодеградованих систем для зниження часу біоруйнівності ще не вирішена остаточно [1].

**Мета роботи** розробка біорозкладних полімерних композицій, модифікованих ультразвуковою обробкою в процесі екструзії.

Для досягнення поставленої мети було поставлено такі наукові завдання:

1) Обґрунтувати вибір наповнювачів для модифікації поліетилену високого тиску з метою отримання полімерних композицій, що біорозкладаються.

2) Отримати полімерні композиції на основі поліетилену високого тиску із наповнювачами різної хімічної природи. Обґрунтувати вибір складів композицій.

3) Отримати плівкові зразки полімерних композицій методом екструзії з ультразвуковою обробкою розплавів і без неї.

4) Провести дослідження фізико-хімічних властивостей одержаних зразків.

5) Отримати плівкові зразки на основі поліетилену з додаванням полікапролактону та модифікованого крохмалю та дослідити експлуатаційні властивості одержаних зразків, а також визначити терміни їх біорозкладання.

6) Встановити залежність між складами полімерних композицій та термінами біорозкладання матеріалів на їх основі.

**Об'єкт дослідження** – системи поводження із побутовими пластиковими відходами.

**Предмет дослідження** – еколого-економічні показники ефективності створення БПК

**Наукова новизна.** Встановлено, що ультразвукова обробка розплавів полімерних композицій на основі поліетилену та наповнювачів, що володіють здатністю до біорозкладання, сприяє рівномірному розподілу останнього в полімері, що призводить до збільшення деформаційно-міцності та водопоглинання. Виявлено, що ультразвукова обробка розплавів поліетиленових композицій, що містять як наповнювач відходи агропромислового комплексу або крохмаль, прискорює процес біодеструкції матеріалу, що пов'язано з іммобілізацією вологи в композиції за рахунок збільшення кисневмісних груп у поліетилені. Доведено, що введення полікапролактону до 10% (про.) у поліетиленові композиції, що містять модифікований крохмаль та отримані з використанням ультразвукової обробки при екструзії, призводить до прискорення процесу біорозкладання на 20-30%.

**Практична цінність роботи.** Отримані результати досліджень впливу ультразвукової обробки на розплави полімерних композицій на основі поліетилену та наповнювачів: відходів агропромислового комплексу та модифікованого крохмалю. Розроблено технологію виробництва біорозкладних полімерних плівок, отриманих при впливі ультразвуку на їх розплави в процесі екструзії.

**Особистий внесок здобувача в наукові дослідження.** Викладені в роботі результати отримано автором самостійно. Щодо розглянутих в магістерській роботі задач, котрі розв'язані в працях, спільних з науковим керівником,

О.В. Медведєвою, їй належить постановка проблеми досліджень і загальне керівництво роботою.

**Апробація результатів роботи.** Основні положення випускної кваліфікаційної роботи доповідалися на міжнародній конференції: XIV Міжнародної науково-практичної конференції «Проблеми конструювання, виробництва та експлуатації сільськогосподарської техніки», м. Кропивницький, ЦНТУ, 8-10 листопада 2023 року, а також на круглому столі «Екологічні проблеми сучасності», проведеному на кафедрі екології, ОНС та ЗСЖ ЦНТУ 30.11.20223 р..

**Публікації.** Результати проведених досліджень в даній магістерській роботі опубліковані у вигляді тез доповідей: В. Іванов Аналіз існуючої ситуації при поводженні з пластиковими відходами в умовах Кіровоградської області. Матеріали XIV Міжнародної науково-практичної конференції «Проблеми конструювання, виробництва та експлуатації сільськогосподарської техніки». (м. Кропивницький, 8-10 листопада 2023 р), Кропивницький: ЦНТУ. 2023. С.370-371 [3].

## РОЗДІЛІ

### ПОБУТОВІ ПЛАСТИКОВІ ВІДХОДИ (огляд літератури)

#### 1.1. Класифікація пластикових відходів

Пластмаси - це матеріали, які засновані на природних і синтетичних смол. Важливою властивістю є їхня пластичність, тобто здатність під впливом високої температури і тиску приймати задану форму і тримати її після охолодження [4].

Головними способами отримання пластиків служать реакції поліконденсації та полімеризації. Вироби їх отримують шляхом пластичної деформації матеріалу з перетворенням форми і розмірів чи застосовуючи лиття під тиском.

Основні складові пластиків це полімери та наповнювачі. Використання наповнювачів дозволяє отримати з одного матеріалу пластики з широким діапазоном властивостей.

Це відбувається завдяки поверхневим процесам на кордоні полімер – наповнювач. Йде повне змочування поверхні наповнювача з полімером, збільшується енергія зв'язку між ними. Ці процеси покращуються при додаванні пластифікаторів та певних розчинників. Як наповнювачі використовують чисті смоли, мінеральні матеріали, деревне борошно, скляні волокна, повітря.

Вироби із пластиків нерозчинні у воді. Концентровані кислоти діють руйнівно на вироби. Але ступінь розчинення визначається складом виробу та концентрацією кислоти. Органічні розчинники, такі як бензол, толуол, ксилол, ацетон та ін руйнують частково або повністю структуру полімерів [5].

Висока температура та ультрафіолетове випромінювання викликають старіння пластиків. У деяких термостійкість досягає 80-130 °C (полікарбонати). Мікроорганізми також можуть зруйнувати багато пластикових матеріалів (наприклад, полістирол). Морозостійкість визначається видом пластику та наповнювача в його складі, але температуру до -30 °C витримує більшість матеріалів. Пластмаси мають високими діелектричними властивостями [6].

Механічні властивості пластику залежать від природи полімеру та наповнювача. Пластики можуть бути твердими та міцними, легкими, гнучкими та пружними. Всі пластики мають високі теплоізоляційні властивості.

Такі полімерні матеріали знаходять велике застосування у багатьох сферах діяльності. У будівництві це виробництво труб, підлогових та покрівельних покриттів, дверей, ізоляційних матеріалів. У машинобудуванні пластики використовують для виробництва болтів, гайок, підшипників і т. д., у медицині - штучних клапанів серця, кришталіків ока, ортопедичних вкладок і т. д., в автомобілебудуванні - для обробки кабін, кузовів, салону [7].

Пластики поділяють на термопласти та реактопласти [8]. Термопласти зберігають здатність знову переходити у в'язко текучий стан. До складу термопластів входять поліетилен, ПВХ, поліаміди.

До реактопластів відносять матеріали, які можуть знову перейти в розплавлений стан. Синтез реактопластів триває кілька стадій. Полімери мають більш високі показники за твердістю, теплостійкістю, стійкістю до старіння. Вироби з реактопластів мають мінімальну зміну властивостей у процесі їх експлуатації. До реактопластів відносяться фенопласти, епоксидна та поліефірна смоли. Реактопласти використовують в авіабудуванні у складі корпусів ракет, стійок шасі, елементів теплового захисту тощо [9]

Таблиця 1.1. - Види пластика

| Цифровий код | Позначення | Назва пластика                              |
|--------------|------------|---------------------------------------------|
| 1            | PET (ПЕТ)  | поліетилентерефталат                        |
| 2            | HDPE (ПНТ) | Поліетилен високої щільності низького тиску |
| 3            | PVC (ПВХ)  | полівінілхлорид                             |
| 4            | LDPE (ПВД) | Поліетилен низької щільності високотиску    |
| 5            | PP (ПП)    | поліпропілен                                |
| 6            | PS (ПС)    | полістирол                                  |
| 7            | OTHER      | Інші види пластику                          |

Для легкої ідентифікації пластикових відходів було розроблено міжнародну класифікацію відходів, придатних для переробки, позначається екологічним маркуванням по 2 типу (зі стрічкою Мебіуса), де кожен вид пластика має свій номер та позначення, представленої в таблиці 1.1 [10].

1.2. Обсяги утворення (накоплення) пластикових відходів та рівень їх переробки в Україні і світі.

За даними Держуправління статистики, в 2020 р. в Україні було утворено 6 млрд. 220,6 млн. т. промислових та побутових відходів. Це на 779,6 млн. т. більше, ніж у 2016 році. З них 2 млрд 53,9 млн (33,2%) передано для повторного використання. 15,6 млн. знешкоджено (0,25%), 2 млрд. 378 млн. (38,2%) відправлено на зберігання, 826 млн. т. (13,2%) відправлено на поховання [11].

Склад ТПВ за компонентами змінюється у межах; показники змісту окремих компонентів можуть різнитися у рази чи навіть десятки разів. Серед основних факторів, які визначають тимчасову нестабільність та просторову варіабельність компонентного складу ТПВ, можна виділити такі:

- Період часу (структура споживання товарів схильна до постійних змін);
- сезонність (наприклад, восени у складі ТПВ збільшується вміст харчових відходів);
- Клімат (кліматичні умови місцевості визначають структуру продуктів харчування, що вирощуються на місці);
- транспортна доступність (розвиненість сполучення з іншими територіями відбивається на номенклатурі товарів);
- Джерела утворення відходів (так, відходи від населення значно відрізняються за складом від відходів інфраструктури);
- Структура населення (відходи від населення з різним рівнем доходу і сферою зайнятості, як правило, мають різний компонентний склад);
- ступінь благоустрою житла (на складі відходів позначаються такі фактори, як наявність пічного опалення, поверховість житлового фонду,

наявність сміттєпроводів); – система збирання відходів (наявність чи відсутність роздільного збирання тощо);

– тип і розмір застосовуваних сміттєзбірників (наприклад, у контейнери більшого обсягу, як правило, складуються великогабаритні відходи); -  
Періодичність вивезення відходів;

- Розвиток ринку вторинної сировини (розвинений ринок вторинної сировини сприяє зниженню вмісту корисних компонентів у відходах)

ТПВ мають різний компонентний склад, який змінюється у широких діапазонах. Величини вмісту окремих компонентів у складі відходів можуть різнитися до десятків разів [12].

Виділяють такі основні фактори, що визначають мінливість компонентного складу ТПВ у часі та просторі:

#### 1. Проміжок часу.

Структура споживання товарів постійно змінюється, залежить від сезону.

Наприклад, вміст харчових відходів у складі ТПВ зростає восени.

#### 2. Місцевий клімат.

Клімат регіону впливає на склад рослинної продукції, яка тут вирощуються.

#### 3. Транспортна доступність.

Асортимент товарів залежить від того, наскільки розвинене транспортне сполучення з іншими регіонами.

#### 4. Джерела, що утворюють відходи.

Склад відходів населення значно відрізняється від складу відходів інфраструктури.

#### 5. Рівень благоустрою житла.

Поверховість житлових будинків, порядок збирання відходів (чи є роздільний збір, сміттєпровід), використання пічного опалення – все це впливає на склад відходів.

#### 6. Система поводження з відходами.

Розмір та тип сміттєзбірників на майданчику. Наприклад, для великогабаритних відходів потрібні контейнери великого обсягу.

Періодичність, з якої вивозять відходи.

Рівень розвитку ринку вторинної сировини. Якщо ринок розвинений, кількість корисних компонентів у відходах знижується.

Варто відзначити значні зміни компонентного складу ТПВ з часом – через рік та десятиліття. Сучасний склад відходів суттєво видозмінився. Виробники почали використовувати більше упаковки, споживачі частіше купують напівфабрикати – тому у складі ТПВ зріс вміст картону, паперу та полімерів. Можна відстежити тенденцію переходу з паперового пакування на полімерну. У зв'язку з цим, частка полімерів у ТПВ збільшується швидше, ніж частка паперу та картону. Прогнозують ускладнення складу полімерної продукції та подальше збільшення маси полімерів у складі ТПВ. Коли стали популярними одноразові предмети гігієни, їх вміст зріс до 2–3 % від загальної маси відходів і навіть більше [13].

Очевидною є тенденція до зниження обсягу, маси та частки відходів харчових: населення стало споживати більше готових напівфабрикатів, покращили умови зберігання продуктів харчування, підвищилася якість продовольства. Склад харчових відходів також змінився. Очищення картоплі та капусти були основною масою харчових відходів раніше, зараз збільшився вміст фруктових очищень [14].

Помітна тенденція до скорочення частки металу у складі ТПВ. Однак паралельно з цим зросла частка кольорових металів – з'явилися алюмінієві банки з-під пива та інших напоїв.

В останні роки відзначають зниження вмісту скла у ТПВ. Це пов'язують із зменшенням обсягів користування скляною тарою [15].

Аналізувати структуру відходів споживання складно: немає системи збору достовірних даних про кількість утворених та використаних відходів. Тому, в аналізі, можна спиратися тільки на оцінки різних експертів та їх розрахункові показники.

У складі ТПВ зазвичай виділяють десять-п'ятнадцять компонентів. Серед них: пластик, картон і папір, харчові відходи, кольоровий та чорний метал, скло, дерево, гума, шкіра, кістки, будівельні матеріали та інше. Розбір ТПВ за основними компонентами наведе у таблиці 1.2. У світі спостерігається стала тенденція зростання обсягів відходів. У 2022 р. обсяг утворення відходів досяг 22 млрд тонн<sup>16</sup>, збільшившись порівняно з 2021 р. на 5% [16].

Таблиця 1.2 - Склад ТПВ за компонентами [17]

| № п.п. | Компонент         | Вміст в масі ТПВ, % | Домішки у складі                                                                                                                                         |
|--------|-------------------|---------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 1      | Харчові відходи   | 20-45               | Овочеві та фруктові очищення, хлібобулочні вироби, м'ясні та рибні відходи, подібне.                                                                     |
| 2      | Макулатура        | 10-40               | Пакувальний картон та гофрокартон, обгортковий папір, друкована преса та книги.                                                                          |
| 3      | Відсів            | 7-40                | Суміш, що не піддається сортуванню. Складається з дрібних компонентів (< 5 см): харчові залишки, склобій, будівельне сміття, вуличний кошторис та інше.  |
| 4      | Скло              | 10-20               | Пляшки та банки – понад 90 %, решта – листове скло та інші види.                                                                                         |
| 5      | Пластик           | 2-8                 | Тверді пакувальні пластики та плівки з-під харчових продуктів, пляшки з-під напоїв, косметична тара, пакувальний пінопласт, пластмасові іграшки та інше. |
| 6      | Дерево            | 2-8                 | Елементи зламаних меблів, обрізки пиломатеріалів, гілки дерев та ін.                                                                                     |
| 7      | Текстиль          | 4-7                 | Одяг, залишки матеріалів швейного виробництва, ганчірки та ганчір'я.                                                                                     |
| 8      | Чорні метали      | 3-5                 | Здебільшого – консервні банки. Найменшою мірою – відходи від ремонтних робіт (частини трубопроводів тощо).                                               |
| 9      | Гума, шкіра       | 0,5–3,5             | Шини автотранспорту, велокамери, взуття та відходи взуттєвих майстерень, гумові рукавички.                                                               |
| 10     | Кольорові метали  | 0,5–2               | Алюмінієві банки з напоїв. Фольга та брухт від приладів як домішки.                                                                                      |
| 11     | Будівельне сміття | 1-3                 | Облицювальна плитка, цегла, цемент, штукатурка, шпалери тощо.                                                                                            |
| 12     | Інше              | 1-2                 | Складноукладні, комбіновані матеріали (тетрапак тощо). Предмети, які неможливо класифікувати.                                                            |

Обсяг генерації ТПВ перевищив 1,3 млрд. тонн. Згідно з доповіддю департаменту міського розвитку Світового банку, до 2025 р. кількість утворених у світі ТПВ зросте до 2,2 млрд тонн [18]. Основний внесок у цей приріст внесуть швидкозростаючі міста країн, що розвиваються. Глобальні витрати на управління ТПВ зростуть з поточних 180 млрд. до 375 млрд. дол. США, причому найбільш істотно необхідний рівень витрат збільшиться в містах з низьким рівнем життя. У сегменті ТПВ найбільш серйозну проблему представляє, як ніколи, швидке зростання обсягів пластикових та електронних пристроїв. У промисловості упаковки і транспортування дедалі більше матеріалів витісняється пластиковими аналогами. Крім «видимих» наслідків як зростання обсягів накопичення сміття землі, широко обговорюється проблема плавучих островів морського сміття, масштаби якої значно складніше оцінити кількісно.

Істотну частку відходів споживання генерують країни із розвинутою економікою. На країни організації економічного співробітництва та розвитку припадає 44% у структурі утворення твердих комунальних відходів [19].

Переробка відходів у ресурси здійснюється за основними двома напрямками: виробництво вторинних матеріалів (рециклінг), а також вироблення енергії (waste-to-energy).

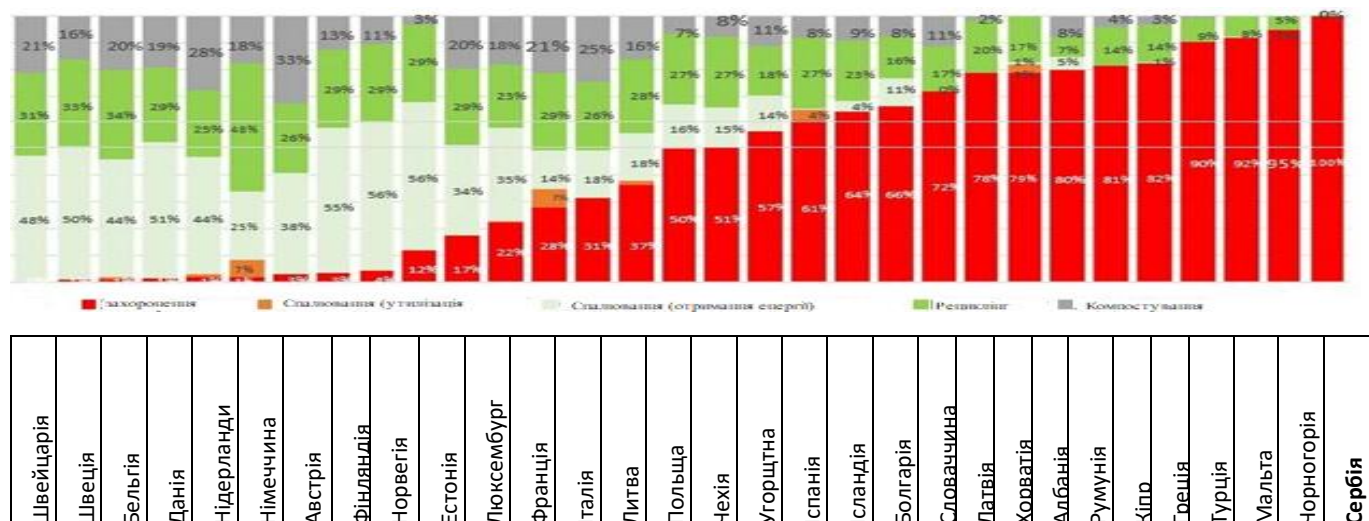


Рис. 1.1 – Структура поводження з відходами в Європі за 2021 р [21]

Незважаючи на те, що щороку зростає кількість відходів, що переробляються, вивезення відходів на полігон залишається звичайною практикою для багатьох країн. При цьому спостерігається чітка кореляція між

рівнем розвитку країни та поводженням з відходами. У розвинених країнах сміття розцінюється як стратегічний ресурс для отримання тепла та електрики, металів, пластику, скла та інших цінних матеріалів. Так, у Японії частка переробки відходів із отриманням корисних продуктів близька до 100%. В окремих країнах Європейського Союзу відсоток переробки відходів перевищує 60%, сортування відходів стало основою життя більшості громадян. Введення в дію "відповідальності виробника" також дає свої результати - підвищується роздільний збір відходів [20]. Виробництво енергії з відходів особливо поширене у Європі, проте нині пріоритет зміщується у бік переробки та вторинного використання. Європейська комісія рекомендує утриматися від будівництва нових сміттєспалювальних заводів для дотримання принципів ієрархії поводження з відходами, а також з метою зменшення ризиків надлишку потужностей [22].

Аналізуючи дані з рисунка 1, слідує висновок, що приклад європейських країн яскраво ілюструють відмінності у поводженні з відходами: так, якщо в найбільш розвинених країнах переважна частина сміття йде на переробку, то південна та східна частини Європи критично залежать від поховання, корисне використання відходів у цих країнах розвинене слабо.

### 1.3. Ринок вторинної полімерної сировини в Україні.

В даний час в Україні переробляється лише невелика частина пластикових відходів, що утворюються (близько 10-15%). Джерелами вторинних полімерів є промислові та побутові відходи. Найбільш чистими та придатними для переробки є промислові відходи виробництва великотоннажних полімерів, у зв'язку з чим частка їх вторинного використання сягає 80%. При цьому більша частина їх використовується за місцем освіти (повертається у виробничий процес), на вільному ринку придбати промислові відходи складно [23].

Основний обсяг ринку вторинної полімерної сировини формується за рахунок відходів споживання ТПВ. За оцінкою Рурсес, обсяг полімерних відходів споживання, що утилізуються, в Україні знаходився станом на 2021 р. на рівні

150 тис. тонн. Їхніми джерелами є торгові та виробничі компанії, населення (роздільний збір), полігони [24].

Більшість (близько 60% за масою) відходів споживання утворюється в житловому секторі – цей сегмент є найбільшою проблемою через складності зі збором і сортуванням. Комерційний сектор генерує близько 34% ПТПВ (з яких близько 24% – це відходи у місцях компактної освіти: упаковка, одноразовий посуд тощо, 10% – полімерні відходи, що виникають під час перевезення та обробки вантажів). Решта – відходи промислового (у частині упаковки та ін. витратних матеріалів) та будівельного сектору [25].

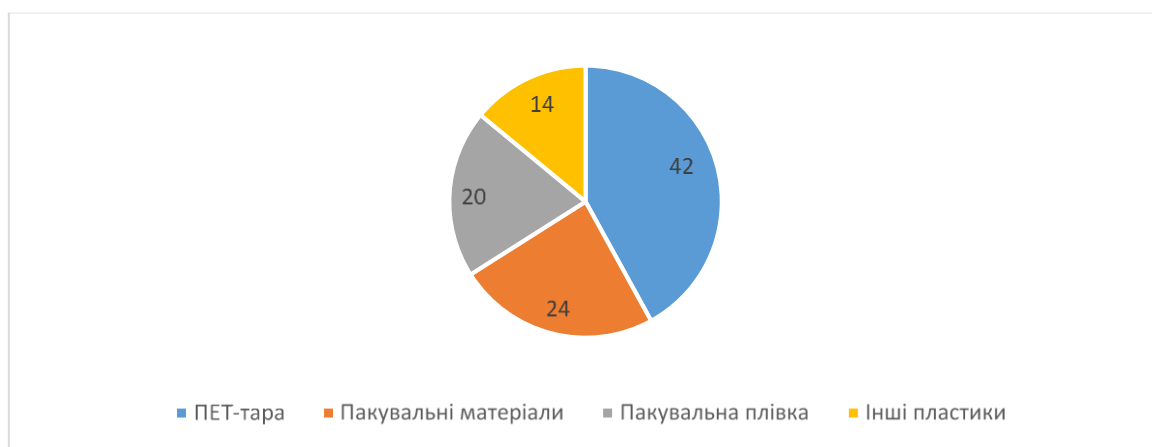


Рисунок 1.2 – Рівень вироблення різних видів пластиків, що витягуються з ТПВ

На рисунку 1.2 представлений частка компонентів різних виробів із ТПВ. З погляду типології, у структурі пластикових відходів найбільшу частку становить ПЕТ-тара, другою місці – різна упаковка, третьому – плівки. Однак у найбільшій кількості збираються ПЕТ-пляшки, оскільки вони найпростіше ідентифікуються та сортуються [26].

Наша країна, на даний момент, відстає від розвинених країн за рівнем вибірки та вторинної переробки пластикових відходів: рівень колекції найпоширенішого джерела полімерної вторинної сировини – ПЕТ-пляшок на рівні 20%. У середньому вибірка пластику з відходів не перевищує 10%. Незважаючи на поточне положення, рівень збору окремого виду пластику

істотно зростає. На рисунку 3 представлений рівень збору ПЕТ-пляшок, що показує позитивну динаміку збору ПЕТ-пляшок.

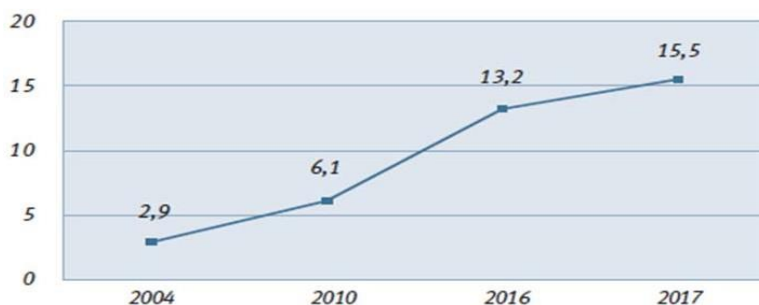


Рис. 3 - Обсяг збору ПЕТ-пляшок в Україні у період 2004-2017 рр., тис. т/міс. [27].

На малюнку 4 представлені способи збору пластикових відходів, проаналізувавши їх можна зробити такі висновки: останні чотири роки простежуються явні позитивні тенденції. По-перше, зростає рівень збирання. По-друге, змінюється система збору та сортування пластикових відходів: якщо в 2022 р. близько 76,3 % відходів для переробки були результатом ручного збору, то в 2023 р. вже більше половини сировини постачалося сміттесортувальними пунктами.

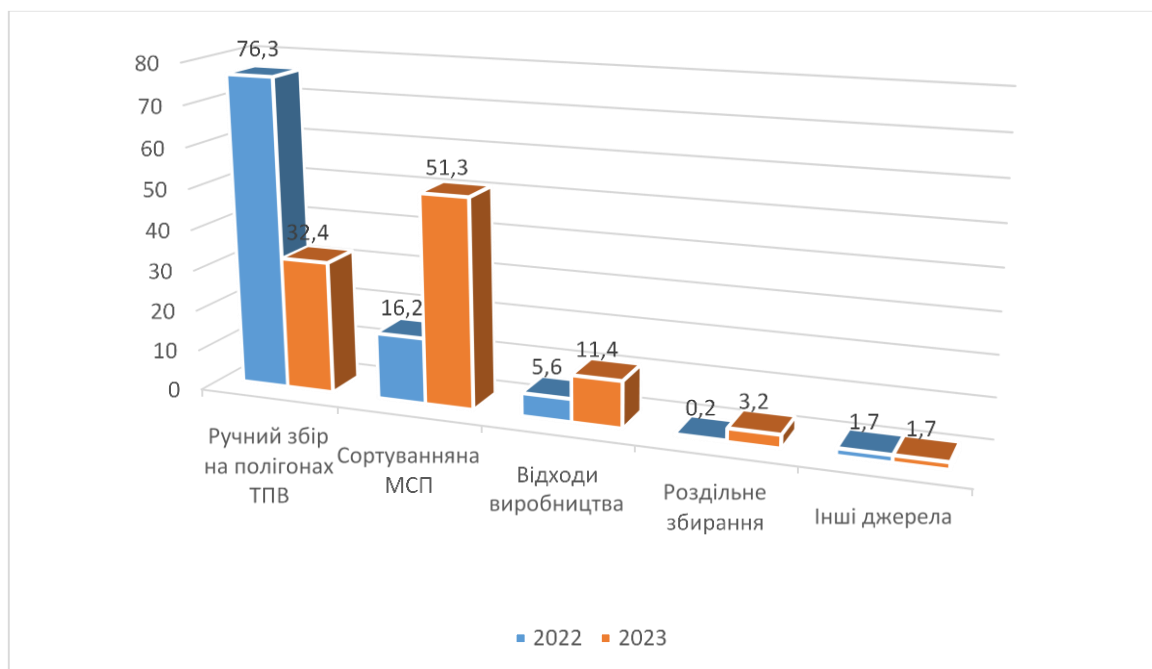


Рис. 4 – Методи збирання полімерних відходів в Україні у 2022 р. та 2023 роках.

Зросла частка промислових відходів, що відправляються на переробку

(насамперед за рахунок розвитку власних переробних потужностей виробників, але також за рахунок розвитку співпраці з незалежними переробниками). Роздільний збір, що є основним джерелом сировини у розвинутих країнах і дозволяє істотно поліпшити економіку бізнесу, в Україні поки що практично не впливає на ринок [28].

Як було зазначено раніше, найвищим коефіцієнтом вилучення з ТПВ характеризується ПЕТ-пляшка, що пов'язано із простотою її вибірки із загальної маси сміття. У результаті ринку вторинних пластиків частка ПЕТ близька до 50% з урахуванням флексу, поставляемого з-за кордону.

Місткість вітчизняного ринку вторинного ПЕТ (рПЕТ/вПЕТ) склала, за експертними оцінками, у 2021 р. 50 тис. тонн, з яких 6 тис. тонн було забезпечено імпортними постачаннями. Майже 100% імпорту – в ПЕТ для виробництва поліефірного волокна. Найбільші країни-постачальники: Україна (57% у структурі поставок у 2021 р.), Казахстан, Білорусь, Азербайджан, Литва, Таджикистан. На ринку переробки ПЕТ близько 63% припадає на волокна та неткані матеріали. Ключовим напрямом використання є виробництво волокон з обсягом близько 40 тис. тонн у 2021 р. На другому місці за обсягами споживання (близько 17%) – т.з. повний рециклінг bottle-to-bottle із отриманням преформ. На третьому – виробництво об'язувальних стріппінг-стрічок тощо виробів [29].

Єдине підприємство, чії потужності дозволяють отримувати вторинний ПЕТ-гранулят харчового призначення (переробка bottle-to-bottle) – завод із переробки пластмас «ПЛАРУС» (м. Київ) потужністю 30 тис. тонн на рік. При цьому пляшковий сегмент - ключовий на вітчизняному ринку первинного ПЕТ.

Практично всі компанії в Україні займаються переробкою ПЕТ-відходів у гранулят, який можна використовувати у виробництві продукції зі зниженими споживчими властивостями (волокна, у тому числі нетканого та геосинтетичного, стрічок, листів тощо продукції для технічного застосування). При цьому значна частина великих переробників використовує вторинний ПЕТ у своїй технологічному циклі для випуску кінцевої продукції з його основі [30].

Серед них – провідні виробники волокна з вторинного ПЕТ-флексу: ТОВ «Альфа-флекс» з потенційним обсягом переробки до 28 тис. тонн на рік, COLLAR Company та CLUB 4 PAWS з обсягом переробки близько 7 тис. тонн на рік. «Bark&Go» переробляє на рік близько 18 тис. тонн ПЕТ-пляшок, з яких близько 10% використовується для виробництва стрічки, решта йде на процесинг у волокно або на ринок, SPOKK 10 тис. тонн на рік) весь обсяг переробляє у стрічку.

Українські виробники первинного ПЕТ також беруть участь у переробці: зокрема, лінії з виробництва вторинного ПЕТ-грануляту встановлені на потужностях Kormotech (Optimeal, CLUB 4 PAWS), COLLAR Company, Animal ID, Harley&Cho, Bark&Go, Mr. Snoopy, VETonline.pro, SPOKK. Потужності дозволяють використовувати як сировину як відходи виробництва, і продукти переробки використаної харчової тари (пластівці) [31].

На ринку також нараховується значна кількість гравців, які займаються лише збиранням відходів ПЕТ та інших пластиків, їх пресуванням та подрібненням для продажу. Вони представлені переважно малим бізнесом із потужностями до 3 тис. тонн на рік. Загальна кількість підприємств оцінюється у кілька сотень. Найбільші переробники розташовані поблизу великих міст.

Місткість ринку вторинного поліетилену в Україні оцінюється в 250 тис. тонн. Рівень переробки оцінюється Мінприроди на 17% від сумарного обсягу утворення. На відміну від відходів ПЕТ, основними джерелами сировини для вторинного ПЕ є комерційні та виробничі підприємства. У цьому виявляється специфіка вітчизняного ринку в порівнянні зі світовими тенденціями, де переважає переробка побутових відходів [32]. Так, у структурі джерел сировини у 2016 р. 49% припало на чистий вторинний ПВД (джерело – магазинні плівки), 22% – чисті промислові відходи (спільно ПНТ та ПВД), 21% – полігонний ПВД, 8% - полігонний ПНТ.

Обсяг переробки поліетиленових відходів становить 20% від загального обсягу утворення<sup>66</sup>. Частка імпортного вторинного поліетилену над ринком України – приблизно 1%. Обсяг імпортних поставок у 2021 р., згідно з даними

державної служби статистики України, становив 3,2 тис. тонн. Динаміка закордонних поставок позитивна: порівняно з 2020 р. обсяг імпорту зріс утричі за рахунок Китаю. Відвантаження на експорт склали у 2020 р. 1345,1 млн. доларів, на третину збільшившись у порівнянні з рівнем 2018 р. Чисті поліетиленові відходи (комерційні та промислові) переробляються на покрівельну ізоляцію, будівельну фурнітуру, нехарчові плівки, каналізаційні труби. Поліетилен з полігонів застосовується для випуску георешіток та геомембран, ящиків та дренажних труб [33].

У разі поліпропілену, як і поліетилену, суттєвий обсяг відходів, що переробляються - промислові, що використовуються виробниками за місцем освіти. Частка переробки, за оцінками Міністерства захисту довкілля та природних ресурсів, становить 17%.

Збір та переробка відходів інших полімерів (ПВХ, ПС) поки що розвинені слабо. Ключова проблема, за оцінками гравців ринку, – відсутність роздільного збору та достатніх обсягів сортування ТПВ. Відходи полімерів стиролу різних марок російському ринку представлені переважно виробничим шлюбом як брил, обрізків, литников, і навіть як дроблянки чи деталі. Їх застосовують для виробництва промислової упаковки, рекламних вивісок, оздоблювальних матеріалів, листів. Уживані контейнери з ПС продаються в мало забрудненому вигляді і використовують для виробництва гранул, лотків для розсади, листів. Об'єм переробки становить 12% від загального обсягу утворення [34].

Постачання з-за кордону в 2019–2021 роках. були на рівні 1,7–2,5 тис. тонн. Об'єм відвантажень на зовнішні ринки мінімальний (0,1–0,5 тис. тонн). Рекордні обсяги згідно з даними митної статистики було експортовано у 2021 р. – майже 1 тис. тонн. ПВХ-відходів у порівнянні з іншими видами пластиків має менші можливості вторинної переробки через особливості матеріалу. Вторинної переробки піддаються переважно однорідні виробничі відходи.

Основними видами відходів на основі ПВХ є пластизолі, технологічні відходи та браковані вироби кабельної промисловості, виробництв ПВХ-профілів тощо. Згідно з оцінками Міністерства захисту довкілля та природних

ресурсів, частка переробки відходів полівінілхлориду в Україні перебуває на даний момент на рівні 10%. У світі існує практика збору ПВХ-фракцій зі складу ТПВ (від плівок до віконних профілів), однак в Україні цей сегмент розвинений слабо. Варто зазначити, що особливістю ринку відходів ПВХ є досить помітні, порівняно з внутрішньою переробкою, обсяги поставок на зовнішні ринки. Експорт різко зріс у 2021 р., перевищивши 1,2 тис. тонн, та стабільно збільшується (у 2020 р. було експортовано 2,7 тис. тонн). Відвантаження представлені відходами виробництва: кабельних та меблевих заводів, некондиційними пластикатами тощо [35].

Ціни на вторинні полімери безпосередньо залежать від ситуації на ринках первинних матеріалів. На рисунку 5 представлений зведений індекс цін термопласти.



Рисунок 5 – Зведений індекс цін на термопласти з 2012-2019 рр.

У індекс цін входять такі полімери: ПЕВТ, ПЕНТ, ЛПЕНП, ПП, ПС, УПС, ПВХ-С, ПЕТФ та ПС-В.

Ціни на вторинну сировину злетіли в 2021 р. більш ніж на 50% за зростанням цін на первинні полімери на тлі девальвації рубля. Основний тренди показує, що з 2022 р. відбувається стійкий тренд на зростання цін, з їхньою періодичною просадкою та корекцією ринку. У квітні 2021 р. індекс становив 103,02 тис. грн [36].

Говорячи про ціноутворення на ринку вторинних полімерів, можна навести умовний ланцюжок доданої вартості за рівнями переробки. Умовну, оскільки ціна на відходи та продукти їх переробки помітно різниться залежно від якості вихідної сировини, її видового/марочного складу, ступеня переробки.

Зокрема, найціннішими є чисті та однорідні відходи. Наприклад, полігонні відходи поліетилену приблизно в 1,5 рази дешевші за промислові і помітно відрізняються за ціною залежно від марки. Якщо говорити про ПЕТ, то найбільшим попитом через універсальність користується безбарвний і блакитний вПЕТ, ціна на нього вища порівняно з темною, синьою та зеленою фракціями. Фракції мікс є найменш цінними. З точки зору ступеня переробки: гранули коштують дорожче, ніж пластівці/дроблінка через відсутність проблем зі злиття, проблемами транспортування, подачі в екструдер та ін. [37].

## РОЗДІЛ 2

### ТЕХНОЛОГІЇ ПЕРЕРОБКИ ПЕТ ВІДХОДІВ

ПЕТ відходи – суміш множини синтетичних компонентів. Причому деякі речовини – не складова частина хімічної структури пластику. Вони легко випаровуються, потрапляють у організм, накопичуються у навколишньому середовищі. Варто людині подихати повітрям біля палаючого звалища або з'їсти їжу, підігріту в мікрохвильовій печі прямо в пластиковій ємності, і деяка частка токсичних речовин проникне в організм [38].

Найбільш шкодять здоров'ю фталати – пластифікатори, а також бісфенол А – затверджувач, що вбиває ендокринну систему. При розкладанні ПЕТ у довкілля випаровується метан – один із газів, які впливають посилення парникового ефекту. Повільно розщеплюючись у ґрунті, пластик виділяє хлор, множинні канцерогени, токсини, які проникають у водойми та ґрунтові води. Потім ця вода використовується для пиття, побутових та промислових потреб.

Ризик шкоди від даного типу відходів, що складається на полігонах для сміття, мінімальний. Адже ці майданчики сконструйовані так, щоб ПЕТ сміття не контактувало з ґрунтом, підземними та поверхневими водами. Набагато небезпечніші пластикові предмети, які люди викидають у недозволених місцях.

ПЕТ, з якого виготовляють пляшки, – зручний для обробки матеріал. Значна частина існуючих методів утилізації пластикових відходів спрямовано отримання вторинної сировини, у вигляді нарізаного або гранульованого полімерного матеріалу. В основу технології утилізації покладено механічний рециклінг полімерних відходів з метою їхнього вторинного використання. Продуктом подрібнення/дроблення є нарізаний або гранульований полімерний матеріал у легкосипучій формі, який призначений для використання [39].

Складність утилізації полягає у необхідності ретельного сортування та очищення відходів пластику. Наявність забруднень погіршує якість кінцевого продукту. Переробка в «флекси» включає операції дроблення, миття, зневоднення та сушіння. При додаванні операції агломерації отримують агломерат, при додаванні процесу грануляції – гранулят, який є готовою

вторинною сировиною для виготовлення пластмас, одягу, меблів, дорожнього покриття. Схема технологічного циклу наведено рис. 2.1.

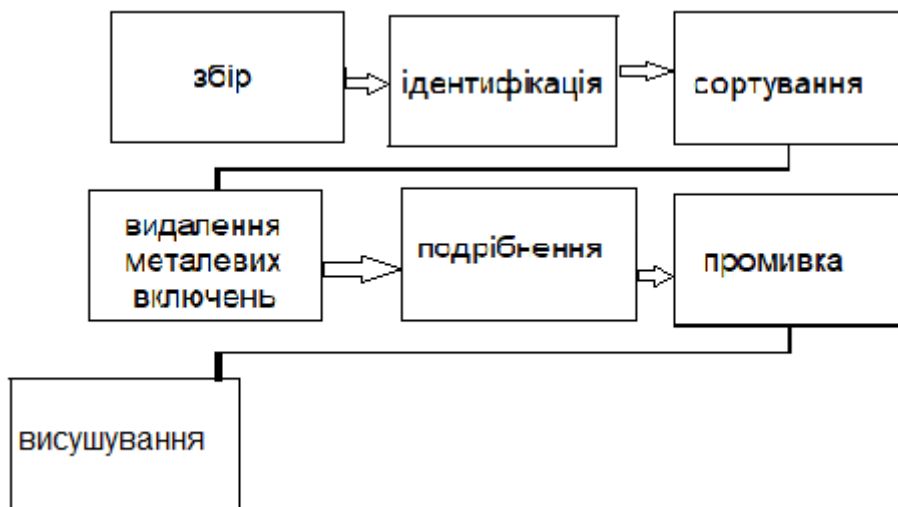


Рис. 2.1 - Схема механічної утилізації ПЕТ відходів

У процесі утилізації виробів із пластмас проводиться викид забруднюючих речовин оксиду вуглецю та дрібного полімерного пилу в атмосферне повітря від дробарок та подрібнювачів. Стічні води у процесі рециклінгу утворюються від миття подрібнених відходів. В процесі рециклінгу виробів із пластмас утворюються відходи на етапі сортування полімерних відходів. Фізичними факторами впливу є шум та тепловий вплив подрібнювачів.

Принцип технології рециклінгу заснований на методі повторного плавлення полімерних відходів для отримання грануляту і виробів шляхом екструзії або лиття під тиском.

Процес лиття під тиском складається з наступних операцій: 1) Подрібнення; 2) Формування нового товару.

При литті під тиском використовується обладнання з подрібнювачем, що постійно обертається, з конструкцією мимовільного захоплення і гомогенізації відходів [40].

Екструзія – метод постійного продавлювання розплавленої сировини через спеціальну формуючу голівку. Для реалізації процесу екструзії використовується екструдер. У ньому вихідна сировина гомогенізується, пластифікується, якщо виникає необхідність, то дегазується. Схема переробки

відходів з прикладу поліетилену низького тиску із застосуванням екструзійного пресування представлена на рис. 2.2.



Рисунок 2.2 – Схема переробки відходів ПНД

У ході утилізації виробів із ПЕТ відходів методом екструзійного пресування відбувається викид забруднюючих речовин (пил полімерний, вуглецю оксид, суміш граничних вуглеводнів) в атмосферне повітря від дробарок, екструдерів, термопластавтоматів. Стічні води в процесі утилізації виробів із пластмас утворюються від промивання та від роботи центрифуг. У ході утилізації виробів із пластмас утворюються відходи (хвости) на етапі сортуння полімерних відходів. Фізичними факторами впливу є шум, вібрація та теплова дія.

Для переробки ПЕТ відходів використовують також гідролізний метод, побудований на розщепленні полімерів водними розчинами кислот при впливі високих температур. Існує безліч модифікацій гідролізу, основна відмінність у кількості етапів гідрування та використання різних каталізаторів [25]. На виході виходить хімічно чистий пластик. Типова схема переробки наведено на рис. 2.3.

Додавання різноманітних каталізаторів на основі гліколей та метанолу дали розвитком напрямків на основі процесу гліколізу та метанолізу. Метаноліз – процес розкладання полімерів за допомогою метанолу.



Рис. 2.3 – Типова схема утилізації під час використання хімічного методу

Технологія здійснюється у спеціальних автоклавах при температурі більше 150 °С, під тиском 1,5 МПа та каталізатори переестерифікації. Готовим продуктом є готова хімічна сполука.

Гліколіз. Процес побудований на гідролізі, де для розщеплення полімерів застосовують гліколі, при температурі від 210 до 250 °С, при атмосферному тиску. Швидкість реакції залежить від трансестерифікаційних каталізаторів. Кінцевий продукт залежатиме від типу гліколю та його вмісту в розчині.

Продукти, одержувані при такому способі переробки пластмас, залежать від типу гліколю, що використовується, і його концентрації в одержуваному розплаві. Це можуть бути суміші олігомерів або біс-(-оксиетил) терефталата (БОЕТ). Подальше застосування вони знаходять в отриманні з використанням поліефірів і полімерів, а також високомолекулярних спиртів [28].

У ході утилізації виробів з пластмас відбувається виділення забруднюючих речовин, таких як пил полімерний, оксид вуглецю, суміш вуглеводнів та ін., в атмосферне повітря практично на всіх стадіях технологічного процесу. Стічні води в процесі утилізації виробів із пластмас утворюються від промивання та фільтрації твердих фракцій. У ході утилізації виробів із пластмас утворюються відходи (хвости) на етапі сортування полімерних відходів. Продукт переробки пластику - пилоповітряна суміш вибухонебезпечна. Піроліз. Є процесом контрольованого термічного руйнування, без доступу кисню до об'єкта, що згоряється. Кінцевий продукт: твердий залишок з вуглецю та піролізні гази, які далі перешкоджають переробці [17]. Піролізні установки поділяються за температурними режимами: 1) низькотемпературні - до  $500^{\circ}\text{C}$ , при цьому процесі утворюється мінімальна кількість газів і максимальна кількість твердого залишку. Технологічна схема представлена рисунку 2.4.

2) середньотемпературні - до  $800^{\circ}\text{C}$ ;

3) високотемпературні – вище  $800^{\circ}\text{C}$ . При цьому утворюється максимальна кількість газів і мінімальна кількість твердого залишку.

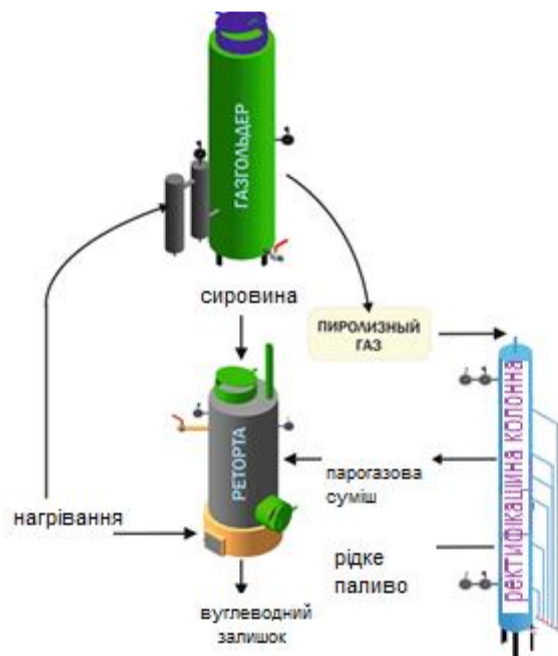


Рис. 2.4 – Технологічна схема низькотемпературного піролізу [12].

Піролізні гази піддаються подальшій переробці, тобто окислюються в камері допалювання при температурі  $1100^{\circ}\text{C}$ .

У ході утилізації виробів із пластмас можливе виділення забруднюючих речовин в атмосферне повітря практично на всіх стадіях технологічного процесу. Стічні води в процесі утилізації виробів із пластмас не утворюються. У процесі експлуатації піролізних установок утворюються вторинні відходи як зольного залишку.

Одним із найпростіших способів ліквідації пластмасових відходів є їх спалювання. В даний час для спалювання пластику використовуються такі типи печей спалювання: подові, ротаційні, форсуночні, з киплячим шаром [11]. Попередньо відбувається фізичне подрібнення, що забезпечує при досить високій температурі практично повне їх перетворення на  $\text{CO}_2$  та  $\text{H}_2\text{O}$  [23].

Спалювання відходів, у тому числі і полімерів, є частково не повністю контрольованим процесом з виділенням (у тому числі неврахованих) побічних продуктів, багато з яких завдають шкоди навколишньому середовищу та здоров'ю людей. Найчастіше внаслідок згоряння відходів утворюється значна група забруднюючих речовин. Для придушення шкідливих викидів необхідно використання досить складних і дорогих систем очищення газів, що відходять.

Будь-яке спалювання є джерелом викидів парникових газів, що регулюються різними міжнародними угодами. Уловлена зола і шлак, що утворюються при згорянні відходів, через свої фізичні та хімічні властивості не можуть бути поховані на полігонах ТПВ або використовуватися у виробництві будівельних матеріалів, а вимагають поховання на спеціальних полігонах або у спеціальних сховищах з контролем та очищенням стоків, що створює певні організаційні та екологічні проблеми. Шлаки сміттєспалювальних заводів зазвичай не розглядаються як небезпечні відходи.

Особливу проблему можуть створювати неорганізовані викиди з установок та обладнання, від місць зберігання відходів, у деяких випадках – запах, шумовий вплив та вібрація, біологічне забруднення нових відходів (див. табл. 2.1).

Таблиця 2.1 – значення цільових показників зі знешкодження, утилізації та розміщення відходів в Україні

| Показник                                                                                                                           | Одиниця вимірювання | 2018 | 2019 | 2020 | 2021 | 2022 | 2023 | 2024 | 2025–2030 |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------|------|------|------|------|------|------|------|-----------|
| Частка утилізованих та знешкоджених відходів виробництва та споживання у загальному обсязі утворених відходів I–V класів небезпеки | %                   | 42   | 45   | 49   | 53   | 57   | 61   | 65   | 86        |
| Частка утилізованих та знешкоджених ТПВ у загальній кількості утворених ТПВ                                                        | %                   | 10   | 11   | 20   | 20   | 20   | 25   | 30   | 35        |
| Частка ТПВ, спрямованих на обробку, у загальному обсязі утворених твердих комунальних відходів                                     | %                   | 12   | 12   | 35   | 55   | 55   | 55   | 100  | 100       |
| Кількість створених виробничо-технічних комплексів з обробки, утилізації та знешкодження відходів                                  | од.                 | 0    | 0    | 0    | 0    | 0    | 0    | 2    | 0         |
| Кількість створених сміттесортувальних комплексів                                                                                  | од                  | 0    | 0    | 6    | 4    | 0    | 2    | 0    | 0         |
| Частка імпорту обладнання для обробки, утилізації та знешкодження відходів                                                         | %                   | 90   | 80   | 60   | 50   | 40   | 30   | 22   | 10        |
| Частка похованих ТПВ загалом кількості утворених ТПВ                                                                               | %                   | 90   | –    | –    | –    | –    | –    | 70   | 65        |

## РОЗДІЛ 3

### МЕТОДИКА ДОСЛІДЖЕНЬ

#### 3.1. Методика проведення досліджень

Суміші на основі поліолефінів, наповнених крохмалю, виступають як один з перспективних напрямів створення біорозкладних полімерів. У роботі велику увагу приділено дослідженню кукурудзяного крохмалю в якості наповнювача у широкому інтервалі (10 - 60% об.) його вмісту в композиціях з флексом ПЕТ відходів [16,17]. Слід зазначити особливу значущість з погляду оптимізації технологічних параметрів, забезпечення більш високих якісних характеристик зразків, одержуваних з композиції поліетилен - крохмаль, видалення з крохмалю вологи при попередній підготовці ще до того, як крохмаль буде введений до складу композиції. Дослідження дозволили виявити, що у міру того, як вміст вологи в крохмалі та температура зростають, відбувається зниження термостабільності композиту [11]. З урахуванням цього пропонується сушити композицію при температурі 105°С підготовкою до виробництва крохмалю наповнених полімерів (КНП). Необхідно здійснювати контроль, визначаючи зміну маси, забезпечуючи точність в одну соту відсотка. Значення граничних умов переробки композиційного матеріалу - від 150 ° С до 170 ° С [7, 10].

Таблиця 3.1 - Основні технологічні характеристики досліджуваного полімеру ПВТ

| № п/п | Назва показника                                   | Значення    |
|-------|---------------------------------------------------|-------------|
| 1     | Щільність, кг/м                                   | 0,917-0,920 |
| 2     | Термічний коефіцієнт лінійного розширення, г/10хв | 2,0-2,2     |
| 3     | Температура плавлення Тпл, °С                     | 105-108     |
| 4     | Модуль пружності на згині, МПа                    | 11 -12      |
| 5     | Відносне подовження при розриві Ер, %             | 600-650     |

В якості об'єкту дослідження було обрано поліетилен високого тиску марки ПВТ 158 (ГОСТ 16337-77) далі ПВТ. У таблиці 3.1. наведено характеристики ПВТ.

На підставі аналізу літературних даних [8-11] було встановлено, що для отримання біорозкладних полімерних композицій (БПК) на основі ПЕТ відходів та природного наповнювача необхідно ввести максимально можливу кількість наповнювача, при якому зберігатиметься необхідний комплекс технологічних та експлуатаційних властивостей композицій. Були встановлені наступні критерії оцінки БПК:

- Термічний коефіцієнт лінійного розширення полімерних композицій (ПК) в інтервалі 0,01 – 9 г/10 хв;
- Модуль пружності на згині ПК – не менше 3 МПа;
- Відносне подовження при розриві ПК – не менше ніж 5%;
- Водопоглинання біорозкладних ПК – не менше 1%;
- Термін розкладання – не більше 5 років (підтвердження шляхом прискорених випробувань).

Нами було встановлено наступні наповнювачі для створення БПК: крохмаль та ПЕТ відходи агропромислового комплексу. З літературних даних випливає, що відходи агропромислового комплексу є багатокомпонентними системами, оскільки містять такі речовини як крохмаль, білки, азотисті речовини, клітковина, геміцелюлоза, пектинові речовини, лігнін [49]. Можна висунути припущення, що наповнювач, що містить у своєму складі велику кількість таких речовин, як крохмаль, білок, пектинові речовини, сприятиме прискоренню процесу молекулярної фрагментації полімерних композицій. Присутність таких речовин, як клітковина і лігнін в наповнювачі може викликати певні технологічні складності при отриманні полімерних композицій і може призвести до обмеження концентрації наповнювача в полімері.

На підставі раніше проведених досліджень [17, 19], обрані наступні типи відходів агропромислового комплексу (АПК) для створення БПК: буряковий та кавовий жом, рисове лущиння. Розмір частинок відходів АПК становив від 100 до 200 мкм із середнім діаметром 120 мкм. В якості модифікатора використовували бентоніт ТОВ «БСВ». Частка відходів АПК у БПК становила від 10 до 40%, бентоніт – 2%.

У таблиці 3.2 представлений склад полімерних композицій (ПК) на основі флексів ПЕ та наповнювача (відходів АПК).

Таблиця 3.2 - Склад полімерних композицій на основі відходів АПК (схема досліду)

| № п/п | Склад ПК, % |                                            |                   | Кількість зразків, кг |
|-------|-------------|--------------------------------------------|-------------------|-----------------------|
|       | Частка ПЕ   | Назва наповнювача АПК/ частка в композиції | Бентонітова глина |                       |
| 1     | 58          | Жом буряків/40                             | 2                 | 2                     |
| 2     | 68          | Жом буряків /30                            | 2                 | 2                     |
| 3     | 78          | Жом буряків /20                            | 2                 | 2                     |
| 4     | ПЕВТ/88     | Жом буряків /10                            | 2                 | 2                     |
| 5     | ПЕВТ /58    | Рисове лушпиння/40                         | 2                 | 2                     |
| 6     | ПЕВТ 68     | Рисове лушпиння /30                        | 2                 | 2                     |
| 7     | ПЕВТ /78    | Рисове лушпиння /20                        | 2                 | 2                     |
| 8     | ПЕВТ /88    | Рисове лушпиння /10                        | 2                 | 2                     |
| 9     | ПЕВТ /58    | Кавовий жом /40                            | 2                 | 2                     |
| 10    | ПЕВТ /68    | Кавовий жом /30                            | 2                 | 2                     |
| 11    | ПЕВТ /78    | Кавовий жом /20                            | 2                 | 2                     |
| 12    | ПЕВТ /88    | Кавовий жом /10                            | 2                 | 2                     |

В подальшому концентрацію наповнювачів ПЕ не збільшували, так як при отриманні ПК із вмістом відходів АПК у кількості 50%, спостерігалось одержання матеріалів з видимими дефектами, нерівномірною поверхнею та урвищами.

Другий тип полімерних композицій вибрали на основі ПЕ та крохмалю кукурудзяного з розміром частинок до 20 мкм з часткою фракцій до 15 мкм не

менше 50%. Крохмаль модифікували пластифікаторами та добавками за схемою, аналогічною до отримання термопластичного крохмалю:

1. Одержання модифікованого крохмалю (МК) проводили у змішувачі роторного типу при температурі  $23 \pm 2^\circ\text{C}$ : крохмаль кукурудзяний завантажували в змішувач, потім додавали водний розчин сорбітолу, перемішували 15 хвилин і додавали гліцерин. Співвідношення компонентів суміші: крохмаль 70%, водний розчин сорбітолу 10%, гліцерину 20%. Отримана суміш була пастою, яку додатково перемішували протягом 45 хвилин.

2. Далі підготовлену суміш поліетилену, термостабілізаторів 1010, 168, у кількості 0,1%, 5911-0,1% і стеарат цинку - 0,4% завантажували в екструдер для отримання полімерних композицій (ПК). Вміст модифікованого крохмалю в ПЕ становило від 0 до 60%. (див. табл. 3.3).

Таблиця 3.3 - Склад ПК на основі ПЕ та крохмалю

| №<br>п/п | Склад ПК, %                              |          | Кількість<br>зразків, кг |
|----------|------------------------------------------|----------|--------------------------|
|          | Частка ПЕ з термостабілізатором 168 (1%) | Крохмаль |                          |
| 1        | 40                                       | 60       | 5                        |
| 2        | 50                                       | 50       | 5                        |
| 3        | 60                                       | 40       | 5                        |
| 4        | 70                                       | 30       | 5                        |
| 5        | 80                                       | 20       | 5                        |
| 6        | 90                                       | 10       | 5                        |
| 7        | 100                                      | 0        | 5                        |

Для модифікації полімерних композицій, що біорозкладаються, на основі ПЕ і МК використовували полікапролактон (ПКЛ) торгової марки CAPA, Solvay. Кількість ПКЛ у поліетиленових композиціях, що містять кукурудзяний крохмаль, становила 5 та 10 %.

У таблиці 3.4. наведено основні характеристики ПКЛ. Склад ПК представлений у таблиці 3.5.

Таблиця 3.4 - Основні технологічні характеристики досліджуваного полімеру ПКЛ

| №<br>п/п | Назва показника                                    | Значення |
|----------|----------------------------------------------------|----------|
| 1        | Термічний коефіцієнт лінійного розширення, г/10хв  | 2,3      |
| 2        | Модуль пружності на згині, МПа                     | 17       |
| 3        | Відносне подовження при розриві Е <sub>р</sub> , % | 740      |
| 4        | Водопоглинання, %                                  | 3        |
| 5        | Термін руйнування, місяць                          | 3        |

Таблиця 3.5 – Склад ПК на основі ПЕ, ПКЛ та крохмалю

| №<br>п/п | Состав ПК, % |          |     | Кількість<br>зразків, кг |
|----------|--------------|----------|-----|--------------------------|
|          | ПЕ           | Крохмаль | ПКЛ |                          |
| 1.       | 75           | 20       | 5   | 2                        |
| 2.       | 65           | 30       | 5   | 2                        |
| 3.       | 55           | 40       | 5   | 2                        |
| 4.       | 45           | 50       | 5   | 2                        |
| 5.       | 70           | 20       | 10  | 2                        |
| 6.       | 60           | 30       | 10  | 2                        |
| 7.       | 50           | 40       | 10  | 2                        |
| 8.       | 40           | 50       | 10  | 2                        |
| 9.       | 80           | 20       | 0   | 2                        |
| 10.      | 70           | 30       | 0   | 2                        |
| 11.      | 60           | 40       | 0   | 2                        |
| 12.      | 50           | 50       | 0   | 2                        |

### 3.2. Методи досліджень

Для оцінки реологічних властивостей полімерних матеріалів використовували метод капілярної віскозиметрії (ГОСТ 33). У зв'язку з тим, що

необхідно було порівнювати зміну реологічних характеристик різних полімерів, експеримент проводився на приладі типу ВПЖ-1.

У роботі використали метод визначення водопоглинання композицій відповідно до EN ISO 62 «Пластмаси. Методи визначення водопоглинання».

Визначення фізико-механічних властивостей полімерів та композицій проводилися відповідно до ГОСТ 14236-81 «Плівки полімерні. Методи випробування розтягування». Випробування проводили на розривній машині РМ-50, що оснащена комп'ютерним інтерфейсом. Межа значення похибки вимірювання навантаження, що допускається, при прямому ході не перевищував  $\pm 1\%$  вимірюваного навантаження. Швидкість деформації зразка – 100 мм/хв.

Визначення терміну біорозкладання було проведено методом компостування із застосуванням методу прогнозування за ISO 17088 «Пластмаси. Визначення ступеня розкладання пластмас в імітованих умовах компостування за лабораторних випробувань» за наступних умов: температура 23°C, вологість 78-80%, експозиція 6 місяців з кроком вимірів у контрольних точках кожні 2 тижні. Як критерій оцінки використовували зміну відносного подовження при розриві зразків ПК до компостування.

В якості критерія біодеструкції полімерного матеріалу використовували показник зміну фізико-механічних властивостей полімерних композицій за AS 5810-2010 до і після компостування. В роботі використовували методи прискореного біорозкладання полімерних композицій та прогнозування прямої екстраполяції та коефіцієнтом біорозкладання. Метод прискореного біорозкладання полімерних композицій полягає у прискореному процесі біорозкладання матеріалів, що знаходяться в біореакторі під дією постійного механічного навантаження в умовах постійної оновлюваної поверхні контакту з агресивним середовищем (біогумус). За час початку біорозкладання приймали проміжок часу, протягом якого розміри зразка під постійним навантаженням в біогумусі відрізнялися від розмірів контрольного зразка більш ніж на 5% або до моменту його руйнування. Методика прогнозування терміну розкладання досліджених матеріалів полягала у наступному: будувалася залежність зміни

відносного подовження зразка при розриві від часу компостування; проводилася апроксимація за лінійною залежністю до значення відносного подовження при розриві, що дорівнює 100%; визначався час розкладання при досягненні цієї величини; отримане значення множилося на коефіцієнт біорозкладання, що дорівнює значенню - 4, який отримували на підставі проведених попередніх досліджень різних типів матеріалів.

При визначенні терміну біорозкладання також використовували метод Штурму за EN 13423-2000 «Методи випробувань хімічної продукції, що становить небезпеку для довкілля. Оцінка біорозкладу органічних сполук методом визначення діоксиду вуглецю в закритій посудині». В основі методу Штурму лежить вимірювання швидкості асиміляції досліджуваного матеріалу у водному розчині у присутності бактеріальної мікрофлори, що реєструється за швидкістю виділення вуглекислого газу в результаті життєдіяльності мікроорганізмів. Час експозиції становив 28 діб. Для оцінки полімерних плівкових матеріалів використовували критерій швидкості біорозкладання, який визначали як першу похідну індексу біорозкладності.

Для визначення структурних змін полімерів та композицій використовували метод електронної мікроскопії з використанням електронного мікроскопа марки JSM U3 зі збільшенням 70000.

Для оцінки розподілу наповнювача в полімері використовували метод оптичної мікроскопії із застосуванням поляризаційного мікроскопа Полам Р-312 зі збільшенням у 250 разів.

Обробку результатів експерименту проводили з використанням програмного забезпечення Microsoft Office, STATISTICA 7. Методи визначення термомеханічних та фізико-механічних властивостей полімерів забезпечені комп'ютерним інтерфейсом та програмами, заснованими на методах статистичного та порівняльного аналізу [38].

## РОЗДІЛ 4

### РЕЗУЛЬТАТИ ДОСЛІДЖЕННЯ

4.1. Дослідження впливу біоактивних наповнювачів та ультразвукової обробки на властивості розплаву та плівки на основі поліетилену.

На рисунку 4.1 представлені гістограми значень показника термічного коефіцієнту лінійного розширення розплаву (ПТР) композицій, отриманих з УЗ обробкою та без неї.

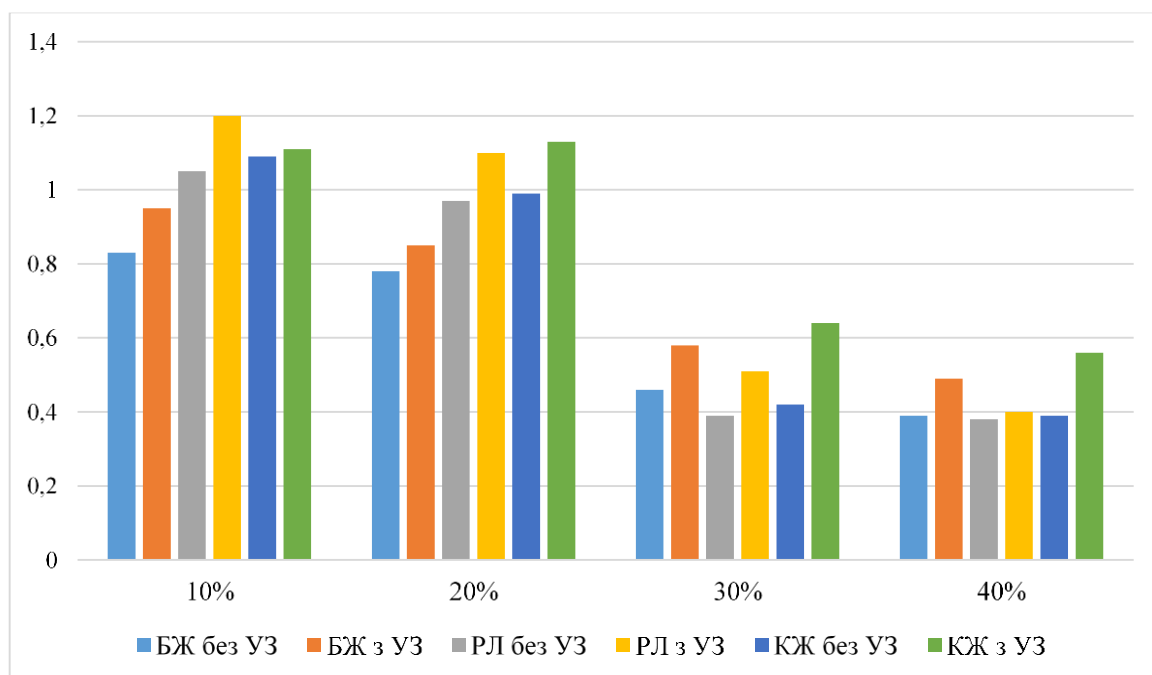


Рис.4.1 - Вплив наповнювачів та ультразвуку на ПТР поліетилену, наступного складу: ПЕ – 58%, наповнювач (відходи АПК) – 40%, бентоніт – 2%

\*Примітка: похибка значень трохи більше 10 %.

Порівнюючи значення ПТР для полімерних композицій, отриманих з УЗ обробкою і без, можна відзначити, що збільшення кількості відходів АПК у поліетилені, незалежно від виду, призводить до зниження ПТР композицій [27]. Вплив УЗ обробки розплавів призводить до збільшення цього показника на 30% порівняно з контрольними зразками (див. рис. 4.1).

На першому етапі роботи проводили дослідження впливу УЗ на реологічні та фізико-хімічні властивості поліетиленових композицій (ПК), що містять відходи АПК.

При дослідженні фізико-механічних властивостей плівок, отриманих з композицій оброблених УЗ, встановлено, що деформаційно-міцнісні характеристики плівок при однаковій кількості приблизно в 1,5-2 рази більше, ніж у контрольних зразків. Це можна пояснити рівномірним розподілом наповнювача полімерної матриці (див. рис. 4.2).

Для перевірки даного припущення застосовували метод електронної скануючої мікроскопії. Результати дослідження представлені рис. 4.2.

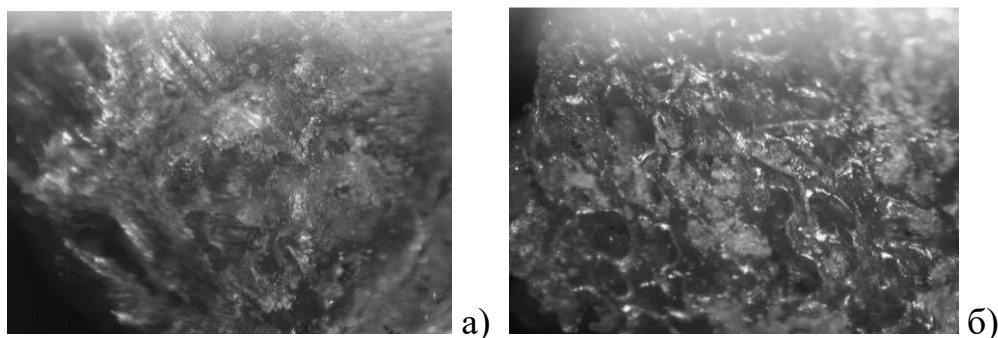


Рис. 4.2 – Фотографії поверхні зрізу плівок на основі ПЕ та рисового лушпиння (Збільшення 250 разів). А – без УЗ на розплав; Б - з УЗ обробкою розплаву. Склад композицій: ПЕ – 68%, рисове лушпиння – 30%, бентоніт – 2%

Порівняння фотографій поверхні зрізу зразків полімерних плівок на основі ПЕ та рисової лушпиння (див. рис. 4.2 б) показало, що у плівок, отриманих з композицій з УЗ обробкою при екструзії, спостерігається рівномірний розподіл наповнювача в полімерній матриці (див. рис. 4.2 а). Це пов'язано з тим, що УЗ обробка, зменшуючи в'язкість розплаву полімеру, сприяє більш рівномірному диспергуванню наповнювача, що суперечить теорії розподілу компонентів полімерних сумішей, описаних В.М. Кульонєвим [21].

Очевидно, що рівномірний розподіл наповнювача ПЕ може вплинути на водопоглинання зразків. Порівняння результатів водопоглинання плівок, отриманих з композицій, оброблених УЗ і без нього, показало, що в першому випадку швидкість водопоглинання в 1,5-2 рази вище, ніж у контрольних зразків без обробки. В даному випадку, можна припустити, що збільшення водопоглинання плівок викликано збільшенням кисневмісних груп поліетилену, в результаті чого відбувається іммобілізація вологи, що зростає зі збільшенням

ступеня диспергування наповнювача в полімері [97].

В таблицях 4.1 та 4.2 представлені значення швидкості водопоглинання ПК.

Таблиця 4.1 – Швидкість водопоглинання за 24 години

| Назва наповнювача | Використання ультразвуку | Швидкість водопоглинання, %/год |
|-------------------|--------------------------|---------------------------------|
| Буряковий жом     | без УЗ                   | 0,0875                          |
| Буряковий жом     | с УЗ                     | 0,1625                          |
| Рисове лушпиння   | без УЗ                   | 0,175                           |
| Рисове лушпиння   | с УЗ                     | 0,16875                         |
| Кавовий жом       | без УЗ                   | 0,09875                         |
| Кавовий жом       | с УЗ                     | 0,15                            |

Метод Штурму заснований на оцінці активності життєдіяльності бактерій щодо виділення CO<sub>2</sub>. Чим більше CO<sub>2</sub>, тим вища швидкість біорозкладання. При проведенні досліджень за порівняльний стандарт приймалася контрольна колба з біогумусом без матеріалу, що виключало вплив живильного середовища самого біогумусу.

Таблиця 4.2 – Швидкість водопоглинання за 180 діб

| Назва наповнювача | Використання ультразвуку | Швидкість водопоглинання, %/год |
|-------------------|--------------------------|---------------------------------|
| Буряковий жом     | без УЗ                   | 0,13±0,05                       |
| Буряковий жом     | с УЗ                     | 0,17±0,05                       |
| Рисове лушпиння   | без УЗ                   | 0,21±0,06                       |
| Рисове лушпиння   | с УЗ                     | 0,33±0,05                       |
| Кавовий жом       | без УЗ                   | 0,3±0,06                        |
| Кавовий жом       | с УЗ                     | 0,35±0,05                       |

За швидкість біорозкладання приймали % збільшення CO<sub>2</sub>, що виділилося

внаслідок життєдіяльності мікроорганізмів у колбі із зразком, порівняно з еталоном.

З урахуванням стандартів методом компостування враховували критерій зміни маси зразків. Встановлено, що за 6 місяців компостування для плівки, що містить 40% відходів АПК, та отриманої з УЗ обробкою полімерної композиції, зниження маси склало 8-9%, порівняно з контрольними зразками – зниження маси не більше 5%.

Виявлено, що в процесі 6-ти місячного компостування відбувається зміна відносного подовження при розриві приблизно на 30-40% більше плівок, отриманих з УЗ обробкою розплаву, ніж у контрольних зразків [27].

На рис 4.3 представлені фотографії поверхні зразків полімерних плівок після компостування (див. рис. 4.3 а б).

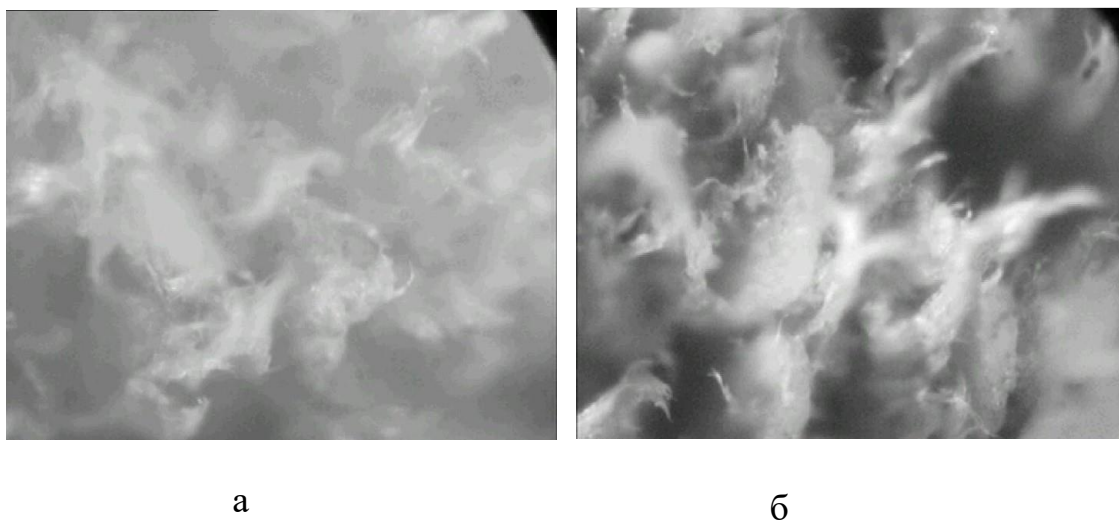


Рис. 4.3 – Фотографії поверхні поліетиленових плівок до та після компостування, наступного складу: ПЕ – 58%, наповнювач (рисове лушпиння) – 40%, бентоніт – 2%. Збільшення 250 разів

Видно, що початкова структура зразків, що містять рисову лузгу, більш однорідна (рисунок 4.3 а), а порожнечі, що утворилися після компостування (темні ділянки на фотографіях, рис. 4.3 б) свідчать про біорозкладання плівки в умовах постійної температури, вологості та дії мікроорганізмів.

Таким чином, УЗ обробка розплавів поліетилену, що містять відходи

АПК, призводить до збільшення деформаційно-міцнісних характеристик зразків, їх водопоглинання, швидкості біорозкладання та зміни відносного подовження при розриві в умовах компостування, що є позитивним фактором для створення композицій, що біодеструктуються. Це можна пояснити сукупністю факторів:

- 1) зменшенням в'язкості полімерного розплаву під впливом ультразвуку;
- 2) збільшенням кисневмісних груп у полімері;
- 3) рівномірним розподілом наповнювача в полімерній матриці;
- 4) покращенням сумісності системи «полімер-відходи АПК» [27].

4.2. Дослідження впливу крохмалю та ультразвукової обробки на властивості розплавів поліетилену, експлуатаційні властивості та здатність до біорозкладання плівок на його основі.

На підставі проведеного аналізу науково-технічної літератури встановлено, що крохмаль вважається одним з найбільш перспективних наповнювачів для створення полімерних композицій, що біорозкладаються, при цьому велика увага приділяється і термопластичному крохмалю. Однак роботи щодо дослідження впливу ультразвукової обробки на розплави полімерних композицій, що містять модифікований крохмаль, раніше не проводилися. У зв'язку з цим було проведено дослідження впливу УЗ обробки розплавів ПК на основі поліетилену та модифікованого крохмалю (МК) на експлуатаційні властивості одержаних зразків та їх здатність до біорозкладання [16].

В нашій роботі досліджено реологічні властивості наповнених крохмалем композицій, а також фізико-механічні властивості плівок на їх основі. На рисунку 4.4 представлені значення ПТР розплавів залежно від їх складу та способу обробки (з УЗ та без УЗ впливу) [26].

При порівнянні значень відносного подовження при розриві плівок, отриманих з УЗ впливом на розплав і без нього (рисунок 4.5), очевидно збільшення цього показника в інтервалі вмісту наповнювача від 10 до 30% за

об'ємом. Це підтверджує вплив УЗ на рівномірність розподілу частинок наповнювача в полімерній матриці при малому та середньому вмісті, та відсутності цього впливу при великому вмісті [26].

Ефект впливу УЗ на рівномірність розподілу частинок наповнювача був підтверджений дослідженням структури отриманих плівок (див. рис. 4.5, фото: а, в, д).

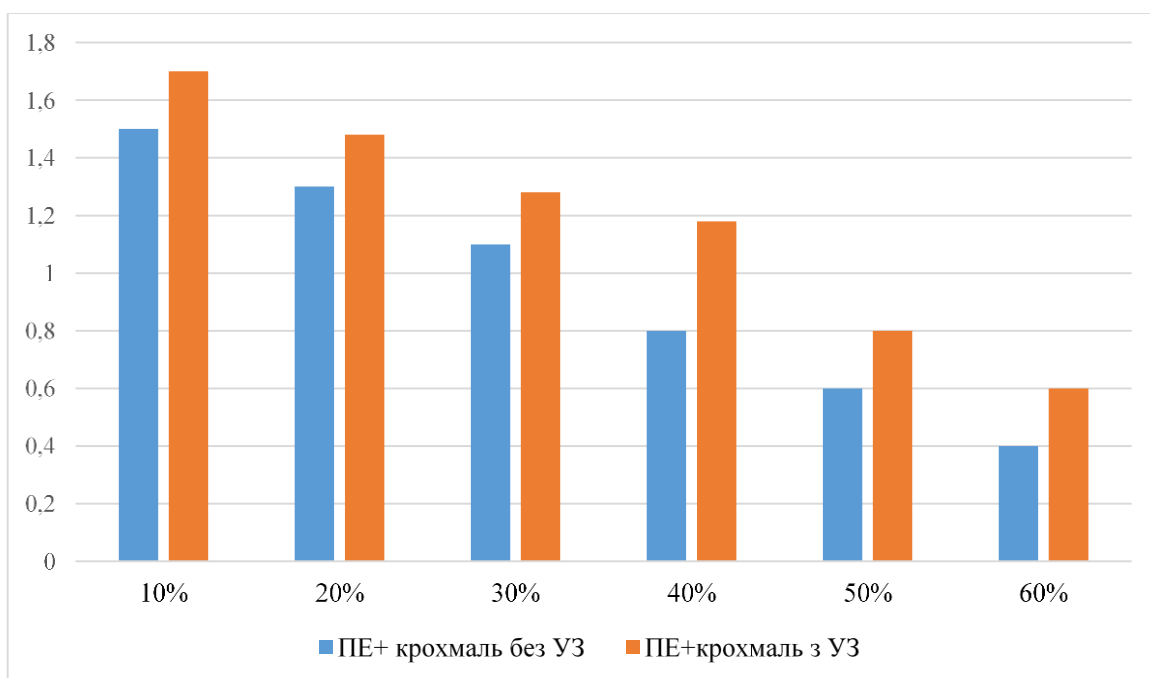


Рис 4.4 – Вплив крохмалю та ультразвуку на ПТР поліетилену

\*Примітка: похибка значень не більше 5 %.

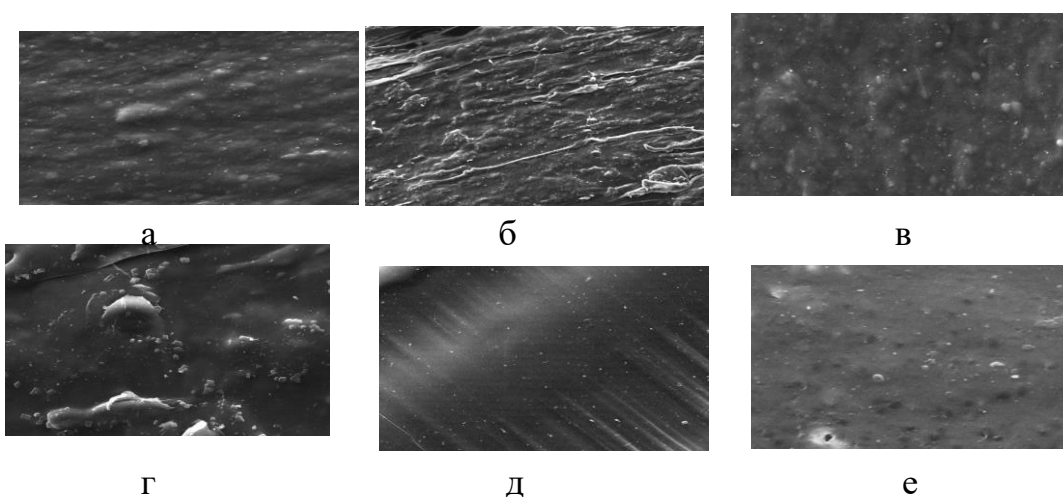


Рис. 4.5 – Фотографії поверхні плівок на основі ПЕ та крохмалю (Збільшення 70000 разів), наступного складу ПК: а) – ПЕ – 40%, МК – 60% з УЗ; б) - ПЕ – 40%, МК – 60% без УЗ; в) - ПЕ - 60%, МК - 40% з УЗ; г) – ПЕ – 60%, МК

– 40% без УЗ; д) - ПЕ - 70%, МК - 30% з УЗ; е) - 70%, МК - 30% без УЗ

У таблиці 4.3 наведено дослідження всіх складів ПК.

Таблиця 4.3 - Результати досліджень ПК методом компостування

| Назва полімеру в ПК, (спосіб отримання ПК з використанням УЗ або без УЗ/кількість крохмалю в ПК, %) | Водопоглинання, % (24 години) | Водопоглинання, % (180 діб) |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------|-----------------------------|
| ПЕ, (без УЗ/10)                                                                                     | 1                             | 14                          |
| ПЕ, (УЗ/10)                                                                                         | 1                             | 16                          |
| ПЕ, (без УЗ/20)                                                                                     | 1                             | 17                          |
| ПЕ, (УЗ/20)                                                                                         | 2                             | 19                          |
| ПЕ, (без УЗ/30)                                                                                     | 2                             | 28                          |
| ПЕ, (УЗ/30)                                                                                         | 3                             | 36                          |
| ПЕ, (без УЗ/40)                                                                                     | 2                             | 34                          |
| ПЕ, (УЗ/40)                                                                                         | 3                             | 47                          |
| ПЕ, (без УЗ/50)                                                                                     | 3                             | 53                          |
| ПЕ, (УЗ/50)                                                                                         | 4                             | 59                          |
| ПЕ, (без УЗ/60)                                                                                     | 3                             | 56                          |
| ПЕ, (УЗ/60)                                                                                         | 4                             | 62                          |
| ПЕ без наповнювача, без УЗ                                                                          | 0 (не змінилася маса)         | 0,1                         |
| ПЕ без наповнювача, без УЗ                                                                          | 0 (не змінилася маса)         | 0,8                         |

При аналізі цих фото видно, що при вмісті крохмалю більше 50% плівці, отриманої з розплаву, обробленого УЗ, спостерігаються розподіл крохмалю в полімерній матриці з формуванням переважно структури сферичного типу. У плівках, одержаних без застосування УЗ, спостерігається нерегулярний розподіл наповнювача з включенням агломерованих частинок наповнювача

Особливо добре помітно збільшення швидкості водопоглинання для ПК, модифікованих ультразвуком, при вмісті крохмалю в ПЕ 40 та 50%.

Таким чином, при дослідженні водопоглинання зразків встановлено, що як і у випадку з відходами АПК, ефект спільного впливу крохмалю та УЗ обробки призводить до збільшення даного показника, що підтверджує появу в полімері кисневмісних груп під впливом ультразвуку [17, 13] і більш рівномірний розподіл частинок наповнювача внаслідок зниження в'язкості розплаву на стадії екструдуювання.

З експериментальних даних, отриманих щодо водопоглинання полімерних композицій, можна визначити і розрахувати за формулою [16] швидкість водопоглинання за 180 діб (див. табл. 4.4):

Таблиця 4.4 – Швидкість водопоглинання за 180 діб

| Вміст крохмалю у ПК, % | Використання ультразвукової технології обробки | Швидкість водопоглинання %/добу |
|------------------------|------------------------------------------------|---------------------------------|
| 10                     | без УЗ                                         | 0,5±0,05                        |
| 10                     | с УЗ                                           | 0,52±0,05                       |
| 20                     | без УЗ                                         | 0,62±0,05                       |
| 20                     | с УЗ                                           | 0,75±0,06                       |
| 30                     | без УЗ                                         | 0,80±0,07                       |
| 30                     | с УЗ                                           | 0,88±0,08                       |
| 40                     | без УЗ                                         | 1,43±0,09                       |
| 40                     | с УЗ                                           | 3,62±0,05                       |
| 50                     | без УЗ                                         | 1,88±0,08                       |
| 50                     | с УЗ                                           | 2,88±0,09                       |
| 60                     | без УЗ                                         | 3,38±0,08                       |
| 60                     | с УЗ                                           | 3,75±0,07                       |

У таблиці 4.5 наведено дослідження всіх складів ПК.

Таблиця 4.5 - Результати досліджень ПК методом Штурму

| Назва полімеру в ПК,<br>(спосіб отримання ПК<br>з використанням УЗ<br>або без УЗ/кількість<br>крохмалю в ПК, %) | Початкова<br>швидкість<br>біорозкладання<br>полімерних<br>плівкових<br>матеріалів,<br>%/добу | Швидкість<br>біорозкладання<br>полімерних<br>плівкових<br>матеріалів за 14<br>днів, %/добу | Швидкість<br>біорозкладання<br>полімерних<br>плівкових<br>матеріалів за<br>28 днів, %/добу |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------|
| ПЕ, (без УЗ/10)                                                                                                 | 5,5                                                                                          | 3,5                                                                                        | 3,8                                                                                        |
| ПЕ, (УЗ/10)                                                                                                     | 4,75                                                                                         | 4,25                                                                                       | 3,8                                                                                        |
| ПЕ, (без УЗ/20)                                                                                                 | 4,8                                                                                          | 3,5                                                                                        | 3,5                                                                                        |
| ПЕ, (УЗ/20)                                                                                                     | 5,5                                                                                          | 3,5                                                                                        | 2,7                                                                                        |
| ПЕ, (без УЗ/30)                                                                                                 | 8,76                                                                                         | 4,71                                                                                       | 5,08                                                                                       |
| ПЕ, (УЗ/30)                                                                                                     | 8,91                                                                                         | 5,01                                                                                       | 5,78                                                                                       |
| ПЕ, (без УЗ/40)                                                                                                 | 11,37                                                                                        | 5,23                                                                                       | 6,11                                                                                       |
| ПЕ, (УЗ/40)                                                                                                     | 12,22                                                                                        | 5,71                                                                                       | 6,28                                                                                       |
| ПЕ, (без УЗ/50)                                                                                                 | 12,51                                                                                        | 6,42                                                                                       | 7,42                                                                                       |
| ПЕ, (УЗ/50)                                                                                                     | 16,25                                                                                        | 6,42                                                                                       | 7,94                                                                                       |
| ПЕ, (без УЗ/60)                                                                                                 | 19,52                                                                                        | 6,78                                                                                       | 8,21                                                                                       |
| ПЕ, (УЗ/60)                                                                                                     | 22,51                                                                                        | 6,78                                                                                       | 8,46                                                                                       |
| ПЕ без наповнювача,<br>без УЗ                                                                                   | 4,50                                                                                         | 2,32                                                                                       | 1,11                                                                                       |
| ПЕ без наповнювача,<br>без УЗ                                                                                   | 4,52                                                                                         | 2,3                                                                                        | 1,14                                                                                       |

Для поліетиленових плівок, що містять 20% крохмалю, зміна маси за 6 місяців компостування становила трохи більше 4-6%. За 6 місяців компостування зміна маси зразків для плівок, що містять 40% і 60% модифікованого крохмалю, та отриманих з УЗ обробкою при екструзії, становила 10-11% та 14-15% відповідно, а для контрольних зразків, що містять таку ж кількість відходів 7 -8% та 11-12%.

У таблиці 4.6 наведено дослідження всіх складів ПК. Аналізуючи показники таблиці 4.6 ми дійшли висновку про те, що плівки, отримані при застосуванні УЗ, показник відносного подовження при розриві в процесі компостування змінюється більшою мірою, ніж плівок, що містять аналогічну кількість наповнювача, але отриманих без впливу на розплави УЗ. При цьому чим вище вміст крохмалю в ПЕ, тим помітніше цей ефект.

Таблиця 4.6 – Зміна відносного подовження при розриві полімерних композицій після компостування.

| Кількість крохмалю в ПК, % /<br>спосіб отримання ПК з<br>використанням УЗ або без УЗ | Зміна відносного подовження під час<br>розриву полімерних композицій<br>після компостування, % |              |
|--------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------|
|                                                                                      | за 3 місяці                                                                                    | за 6 місяців |
| ПЕ, (без УЗ/10)                                                                      | 60±2                                                                                           | 51±4         |
| ПЕ, (УЗ/10)                                                                          | 68±3                                                                                           | 56±5         |
| ПЕ, (без УЗ/20)                                                                      | 62±2                                                                                           | 53±4         |
| ПЕ, (УЗ/20)                                                                          | 70±4                                                                                           | 59±5         |
| ПЕ, (без УЗ/30)                                                                      | 77±2                                                                                           | 69±5         |
| ПЕ, (УЗ/30)                                                                          | 65±3                                                                                           | 56±4         |
| ПЕ, (без УЗ/40)                                                                      | 34±5                                                                                           | 79±7         |
| ПЕ, (УЗ/40)                                                                          | 32±3                                                                                           | 74±4         |
| ПЕ, (без УЗ/50)                                                                      | 92±5                                                                                           | 82±6         |
| ПЕ, (УЗ/50)                                                                          | 89±3                                                                                           | 81±4         |
| ПЕ, (без УЗ/60)                                                                      | 103±5                                                                                          | 89±6         |
| ПЕ, (УЗ/60)                                                                          | 93±3                                                                                           | 82±4         |
| ПЕ без наповнювача, без УЗ                                                           | 11±1                                                                                           | 9±1          |
| ПЕ без наповнювача, без УЗ                                                           | 7±1                                                                                            | 5±1          |

Так, наприклад, при вмісті крохмалю 40% у плівках, отриманих з УЗ обробкою

при екструзії, зміна відносного подовження при розриві за 6 місяців становила 58%, а для плівок такого складу без обробки розплав – 49%. Таким чином, УЗ обробка розплавів крохмалонаповненого поліетилену призводить до збільшення швидкості біорозкладання плівок, що можна пояснити збільшенням водопоглинання зразків за рахунок появи кисневмісних груп в полімері і рівномірного розподілу наповнювача.

З проведених досліджень можна назвати аналогічну закономірність, отриману для ПК з урахуванням відходів АПК.

Поряд із вищевикладеними дослідженнями велике значення сьогодні надається напрямку створення багатокомпонентних полімерних сумішей для отримання матеріалів із прискореним біорозкладом. Враховуючи факти проведених досліджень на основі ПК, що містять відходи АПК та крохмалю, доцільно введення біорозкладних полімерів у композиції на основі ПЕ та крохмалю при впливі УЗ на їх розплави.

4.3. Дослідження впливу ультразвукової обробки розплавів поліетилену, модифікованого полікапролактоном та крохмалем на експлуатаційні властивості та здатність до біорозкладання плівок.

Для збільшення швидкості біорозкладання в роботі проведена додаткова модифікація поліетилену додаванням до нього не тільки крохмалю, але і полімеру, що біорозкладається - полікапролактону (ПКЛ) [13]. З урахуванням термодинамічної несумісності полімерів (ПЕ та ПКЛ) вміст полікапролактону в композиції становив не більше 10%.

В таблицях 4.7-4.10 представлені показники фізико-механічних властивостей плівок, отриманих із сумішевих композицій ПЕ-ПКЛ, отримані з розплавів, оброблених УЗ та без нього.

Використання ультразвукової обробки призводить до збільшення деформаційно-міцності показників плівок у порівнянні з контрольними зразками.

Так, наприклад, руйнівна напруга для зразків, що містять 60% крохмалю і 10% ПКЛ, отриманих з УЗ обробкою їх розплаву, становить 4,4 МПа, а плівки такого ж складу, але без ультразвукового впливу на розплав - 2,9 МПа.

Ймовірно, ПКЛ виступає у ролі пластифікатора, який покращує переробку досліджених композицій. Це добре корелює зі значеннями ПТР, які мають тенденцію до збільшення з підвищенням кількості ПКЛ у полімерній суміші.

Таблиця 4.7 - Середні значення руйнівної напруги в ПК з УЗ обробкою.

| №<br>п/п | Склад ПК, % |          |     | Модуль пружності<br>на згині, МПа |
|----------|-------------|----------|-----|-----------------------------------|
|          | ПЕВТ        | Крохмаль | ПКЛ |                                   |
| 1.       | 75          | 20       | 5   | 6,9                               |
| 2.       | 65          | 30       | 5   | 4,0                               |
| 3.       | 55          | 40       | 5   | 4,6                               |
| 4.       | 45          | 50       | 5   | 4,2                               |
| 5.       | 70          | 20       | 10  | 7,2                               |
| 6.       | 60          | 30       | 10  | 6,4                               |
| 7.       | 50          | 40       | 10  | 5,2                               |
| 8.       | 40          | 50       | 10  | 4,4                               |
| 9.       | 80          | 20       | 0   | 7,1                               |
| 10.      | 70          | 30       | 0   | 3,9                               |
| 11.      | 60          | 40       | 0   | 4,2                               |
| 12.      | 50          | 50       | 0   | 3,8                               |

Для формування асортименту ПК з прискореним терміном біорозкладання (ПК ПСБ) доцільно вибрати перспективні композиції для виробництва дослідно-промислової партії зразків.

На підставі проведених експериментальних робіт проведено оцінку експлуатаційних властивостей ПК ПСБ, отриманих з використанням УЗ обробки.

Проте основним критерієм ПК ПСБ є термін розкладання. За період проведення досліджень методом компостування встановлено, що більшість ПК ПСБ із вмістом природного наповнювача понад 40% зменшили відносне подовження при розриві приблизно на 40-70%, що є позитивним критерієм процесу біорозкладання.

Таблиця 4.8 - Середні значення руйнівної напруги в ПК без УЗ обробки.

| №<br>п/п | Склад ПК, % |          |     | Модуль пружності<br>на згині, МПа |
|----------|-------------|----------|-----|-----------------------------------|
|          | ПЕВТ        | Крохмаль | ПКЛ |                                   |
| 1.       | 75          | 20       | 5   | 5,2                               |
| 2.       | 65          | 30       | 5   | 3,2                               |
| 3.       | 55          | 40       | 5   | 3,2                               |
| 4.       | 45          | 50       | 5   | 3,0                               |
| 5.       | 70          | 20       | 10  | 5,9                               |
| 6.       | 60          | 30       | 10  | 4,7                               |
| 7.       | 50          | 40       | 10  | 3,2                               |
| 8.       | 40          | 50       | 10  | 2,9                               |
| 9.       | 80          | 20       | 0   | 5,6                               |
| 10.      | 70          | 30       | 0   | 3,4                               |
| 11.      | 60          | 40       | 0   | 2,9                               |
| 12.      | 50          | 50       | 0   | 2,3                               |

Аналіз показників таблиці 4.9 та 4.10 свідчить про те, що введення ПКЛ у кількості 10% у ПЕ, наповнений разом з УЗ обробкою, призводить до збільшення руйнівної напруги та відносного подовження при розриві плівок приблизно на 15-20%.

На даному етапі роботи було проведено оцінку термінів розкладання ПК ПСБ з використанням методу прогнозування (метод прямої екстраполяції) з

урахуванням залежності зміни відносного подовження при розриві від терміну компостування.

Визначено, що використання як наповнювача відходів АПК у кількості 40%, дозволяє отримувати полімерні матеріали, що розкладаються, з терміном розкладання 8 років

Таблиця 4.9 – Середні значення відносного подовження при розриві Ер на ПК з УЗ обробкою

| №<br>п/п | Склад ПК, % |          |     | Відносне<br>подовження при<br>розриві, % |
|----------|-------------|----------|-----|------------------------------------------|
|          | ПЕВТ        | Крохмаль | ПКЛ |                                          |
| 1.       | 75          | 20       | 5   | 65                                       |
| 2.       | 65          | 30       | 5   | 28                                       |
| 3.       | 55          | 40       | 5   | 10                                       |
| 4.       | 45          | 50       | 5   | 8                                        |
| 5.       | 70          | 20       | 10  | 60                                       |
| 6.       | 60          | 30       | 10  | 46                                       |
| 7.       | 50          | 40       | 10  | 19                                       |
| 8.       | 40          | 50       | 10  | 12                                       |
| 9.       | 80          | 20       | 0   | 72                                       |
| 10.      | 70          | 30       | 0   | 22                                       |
| 11.      | 60          | 40       | 0   | 13                                       |
| 12.      | 50          | 50       | 0   | 8                                        |

Методом апроксимації спрогнозовано терміни біорозкладання отриманих плівок. Встановлено, що термін розкладання при компостуванні плівок, що містять крохмаль у кількості 40%, та отриманих із застосуванням УЗ обробки розплавів, становить 5 років.

Таблиця 4.10 – Середні значення відносного подовження при розриві Ер на ПК без УЗ обробки

| №<br>п/п | Склад ПК, % |          |     | Відносне<br>подовження при<br>розриві, % |
|----------|-------------|----------|-----|------------------------------------------|
|          | ПЕВТ        | Крохмаль | ПКЛ |                                          |
| 1.       | 75          | 20       | 5   | 45                                       |
| 2.       | 65          | 30       | 5   | 19                                       |
| 3.       | 55          | 40       | 5   | 9                                        |
| 4.       | 45          | 50       | 5   | 8                                        |
| 5.       | 70          | 20       | 10  | 30                                       |
| 6.       | 60          | 30       | 10  | 22                                       |
| 7.       | 50          | 40       | 10  | 9                                        |
| 8.       | 40          | 50       | 10  | 6                                        |
| 9.       | 80          | 20       | 0   | 46                                       |
| 10.      | 70          | 30       | 0   | 16                                       |
| 11.      | 60          | 40       | 0   | 13                                       |
| 12.      | 50          | 50       | 0   | 5                                        |

Додавання до ПЕ полікапролактону в кількості 10% прискорює процес розкладання на 6 місяців. Використання в ПК як наповнювача відходів АПК в кількості 40%, дозволяє отримувати полімерні матеріали, що розкладаються, з терміном розкладання 8 років (див. табл. 4.11).

Таблиця 4.11 – Строки розкладання ПК ПСБ з урахуванням прогнозування

| №<br>п/п | Найменування наповнювача в ПК ПСБ,<br>кількість наповнювача, % | Строк розкладення, рік |
|----------|----------------------------------------------------------------|------------------------|
| 1        | Кавовий жом, 40                                                | 8                      |
| 2        | Крохмаль 60                                                    | 3                      |
| 3        | Крохмаль 50, ПКЛ 10                                            | 3,2                    |
| 4        | Крохмаль 40                                                    | 5                      |
| 5        | Крохмаль 40, ПКЛ 10                                            | 4,5                    |

На підставі проведених досліджень запропоновано технологію отримання біорозкладних полімерних плівок на основі поліетилену та модифікованого крохмалю з вмістом останнього у кількості не менше 40%.

## РОЗДІЛ 5

### ЕКОНОМІЧНА ОЦІНКА ЗАПОБІГАННЯ НАНЕСЕННЯ ШКОДИ ПРИ ЗБЕРІГАНІ ПЕТ ВІДХОДІВ

Екологічна шкода навколишньому природному середовищу означає фактичні екологічні, економічні чи соціальні втрати, що виникли внаслідок порушення природоохоронного законодавства, господарської діяльності, стихійних екологічних лих, катастроф. Збитки проявляються у вигляді втрат природних, трудових, матеріальних, фінансових ресурсів у народному господарстві, а також погіршення соціально-гігієнічних умов проживання для населення.

Рециклінг ПЕТ-пляшок дозволяє суттєво знизити екологічні збитки атмосферному повітрі від викидів забруднюючих речовин.

Запобігання екологічним збиткам атмосферного повітря від викидів токсичних речовин можна розрахувати за методикою «Визначення розмірів шкоди, зумовленої забрудненням і засміченням земельних ресурсів через порушення природоохоронного законодавства», згідно з Наказом Міністерства захисту довкілля та природних ресурсів № 241 від 04.11.2020 [35].

Еколого-економічна оцінка запобігання екологічних збитків здійснюється на основі даних річних звітів територіальних природоохоронних органів за аналізований період, нормативних вартісних показників, аналітичних матеріалів і матеріалів обстеження еколого-ресурсних комплексів територій (акваторій), а оцінка планованої величини запобігає оцінці величин, що використовуються при розрахунку показника запобігання шкоди.

Оцінка величини запобігання збитків від забруднень водного середовища проводиться на основі регіональних показників питомих збитків, що становлять питоми вартісні оцінки збитків на одиницю (1 умовну тонну) наведеної маси забруднюючих речовин. Розрахункові формули мають такий вигляд:

$$Y_{\text{пр}}^B = Y_{\text{удг}}^B \times M_r^B \times K^B, \quad (5.1)$$

де  $Y_{\text{пр}}^B$  - еколого-економічна оцінка величини запобігання шкоди водним ресурсам в r-том регіоні, що розглядається, тис. грн. / рік;

$Y_{удrj}^B$  – показник питомої шкоди (ціни забруднення) водним ресурсам, завданої одиницею (умовна тонна) наведеної маси забруднюючих речовин наприкінці розрахункового періоду для j-го водного приймається за даними додатка 1 «Методики» [35], грн./умов. тонну;

$$M_r^B = M_1^B - M_2^B, \quad (5.2)$$

де  $M_1^B$  та  $M_2^B$  – наведені маси забруднюючих речовин, що знімаються (ліквідованих) в результаті природоохоронної діяльності та здійснення відповідних природоохоронних заходів протягом розрахункового періоду, тис. ум. тонн;

$K^B$  – коефіцієнт екологічної ситуації та екологічної значущості стану водних об'єктів басейнами основних річок, визначається відповідно до території, де знаходиться водний об'єкт (таблиця 1 Додатка 7) [35];

$$M_r^B = \sum M_k^B, \quad (5.3)$$

$$M_k^B = m_i \times k_{\varepsilon i}, \quad (5.4)$$

де  $m_i$  – маса фактичного скидання i-ї забруднюючої речовини або групи речовин з однаковим коефіцієнтом відносної еколого-економічної небезпеки у водні об'єкти регіону, що розглядається, т/рік;

$k_{\varepsilon i}$  – коефіцієнт відносної еколого – економічної небезпеки для i-ї забруднюючої речовини або групи речовин (Додаток 5) [35];

i – номер забруднюючої речовини або групи речовин (Додаток 5) [35].

Під збитком від забруднення земельних ресурсів розуміється погіршення та руйнування ґрунтів та земель під впливом антропогенних

(техногенних) факторів, що виражається у:

- деградації ґрунтів та земель;
- забруднення земель хімічними речовинами;
- захаращення земель несанкціонованими звалищами, іншими видами несанкціонованого та нерегламентованого розміщення відходів.

Оцінка величини запобігання збитків внаслідок природоохоронної діяльності від деградації ґрунтів і земель провадиться за такою формулою, тис. грн./рік:

$$Y_{\text{пр}}^{\text{п}} = H_{\text{с}} \times S \times K_{\text{е}} \times K_{\text{п}} \quad (5.5)$$

де  $H_{\text{с}}$  - норматив вартості земель, тис. грн. / га; визначається за даними Додатка 3;

$S$  – площа ґрунтів і земель, збережена від деградації за звітний період часу в результаті проведених природоохоронних заходів, га;

$K_{\text{е}}$  – коефіцієнт екологічної ситуації та екологічної значимості території, визначається за таблицею 1 та 2 Додатка 7.

Оцінка величини запобігання збитків, внаслідок природоохоронної діяльності від забруднення земель хімічними речовинами проводиться за такою формулою, тис. грн./рік:

$$Y_{\text{пр.х}}^{\text{п}} = \sum (H_{\text{с}} \times S_i \times K_{\text{з}} \times K_{\text{п}}) \times K_{\text{хп}}, \quad (5.6)$$

де  $S_i$  – площа земель, яку вдалося запобігти від забруднення хімічною речовиною  $i$ -го виду у звітному році, га;

Оцінка величини запобігання збитків внаслідок природоохоронної діяльності від захаращення земель несанкціонованими звалищами проводиться за формулою, тис. грн./рік:

$$Y_{\text{пр.с}}^{\text{п}} = \sum (H_{\text{с}} \times S_i \times K_{\text{з}} \times K_{\text{п}}), \quad (5.7)$$

де  $S_i$  – площа земель, на яких вдалося запобігти захаращенню відходами  $i$ -го виду за звітний період, га.

Оцінка величини запобігання збитків внаслідок природоохоронної діяльності від деградації земель при нераціональному землекористуванні здійснюється за формулою, тис. грн./рік:

$$Y_{\text{пр.д}}^{\text{п}} = \sum (H_{\text{с}} \times S_{\text{д}} \times K_{\text{з}} \times K_{\text{п}}), \quad (5.8)$$

де  $S_{\text{д}}$  – площа земель, на яких вдалося запобігти процесам деградації ґрунтів, га.

Загальна величина запобігання збитків, ( $Y_{\text{пр}}^{\text{п}}$ ) від погіршень та руйнувань ґрунтів і земель у районі, що розглядається, за звітний період визначається підсумовуванням усіх видів запобігання збитків, тис. грн./рік:

$$Y_{\text{пр}}^{\text{п}} = Y_{\text{пр.д}}^{\text{п}} + Y_{\text{пр.х}}^{\text{п}} + Y_{\text{пр.с}}^{\text{п}} + Y_{\text{пр.р}}^{\text{п}}, \quad (5.9)$$

де  $Y_{прj}^n$  – будь-який інший  $j$ -тий вид запобігання збитків від погіршення і руйнування ґрунтів у розглянутому регіоні за звітний період часу, тис. грн. / рік.

Тепер проведемо розрахунок запобігання екологічним збиткам, які вдалося уникнути при ліквідації несанкціонованого звалища площею 0,9 га, розташованого на чорноземних ґрунтах на території Кіровоградської області, з урахуванням:

1) фільтрат, утворений на даному звалищі в обсязі 15 м<sup>3</sup>, призвів би до зараження земель площею 2 га та забруднення річки Сугоклея хімічними речовинами, що містяться у фільтраті у таких концентраціях: сульфати – 956 мг/л; хлориди – 1278 мг/л; нафтопродукти – 256 мг/л; фенол – 4,2 мг/л;

2) площа звалища була рекультивована під господарські потреби.

1. Визначаємо дані, необхідні для розрахунку запобігання збитків водним ресурсам (формула 5.1):

Маса забруднюючих речовин:

$$m(\text{сульфати}) = 0,956 \cdot 15000 = 14340 \text{ г} = 0,01434 \text{ т};$$

$$m(\text{хлориди}) = 1,278 \cdot 15000 = 19170 \text{ г} = 0,01917 \text{ т};$$

$$m(\text{нафтопродукти}) = 0,256 \cdot 15000 = 3840 \text{ г} = 0,00384 \text{ т};$$

$$m(\text{фенол}) = 0,0042 \cdot 15000 = 63 \text{ г} = 0,000063 \text{ т}.$$

Коефіцієнт відносної еколого – економічної небезпеки:  $k_{зі}(\text{сульфати}) = 0,05$ ;  $k_{зі}(\text{хлориди}) = 0,05$ ;  $k_{зі}(\text{нафтопродукти}) = 20$ ;  $k_{зі}(\text{фенол}) = 550$ .

Наведена маса забруднюючих речовин, що ліквідовується внаслідок природоохоронної діяльності (формула 5.4):

$$M_{кв}(\text{сульфати}) = 0,01434 \times 0,05 = 0,000717;$$

$$M_{кв}(\text{хлориди}) = 0,01917 \times 0,05 = 0,0009585;$$

$$M_{кв}(\text{нафтопродукти}) = 0,00384 \times 20 = 0,0768;$$

$$M_{кв}(\text{фенол}) = 0,000063 \times 550 = 0,03465;$$

$$M_{гвт} = 0,0009585 + 0,0768 + 0,000717 + 0,03465 = 0,113$$

$$Y_{удг}^B = 6678,1 \text{ (за даними Додатка 7);}$$

$$K_3^B = 1,6 \text{ (за даними таблиці 1 Додатка 7).}$$

2. Розраховуємо величину запобіганих збитків водним ресурсам:

$$Y_{\text{пр}}^{\text{в}} = 0,113 \times 6678,1 \times 1,6 = 1207,4 \text{ тис. грн. / рік}$$

3. Визначаємо дані, необхідні для розрахунку запобігання збитків внаслідок природоохоронної діяльності від забруднення земель хімічними речовинами (формула 5.6):

$$Y_{\text{пр.х}}^{\text{п}} = \sum (H_c \times S_i \times K_3 \times K_n) \times K_{\text{хп}}$$

$$H_c = 250 \text{ тис. грн./га (Додаток 6);}$$

$$S_i = 2 \text{ га;}$$

$$K_3 = 1,6 \text{ (таблиця 1 Додатка 7);}$$

$$K_{\text{хп}} = 1,6 \text{ (формула 5.6);}$$

$$Y_{\text{пр.х}}^{\text{п}} = 250 \times 2 \times 1,6 \times 1,6 \times 1 = 1280 \text{ тис. грн / рік}$$

Визначаємо дані, необхідні для розрахунку запобігання збитків внаслідок природоохоронної діяльності від захаращення земель несанкціонованими звалищами проводиться за формулою 5.7, тис. грн. / рік:

$$Y_{\text{пр.с}}^{\text{п}} = 250 \times 2 \times 1,6 \times 1 = 800 \text{ тис. грн. / рік}$$

$$S_d = 2 \text{ га.}$$

5. Визначаємо дані, необхідні для розрахунку запобігання збитків від деградації ґрунтів та земель (формула 5.8):

$$H_c = 250 \text{ тис. грн. / га (Додаток 6); } S = 0,9 \text{ га;}$$

$$K_3 = 1,6 \text{ (таблиця 1 Додатка 7);}$$

$$Y_{\text{пр.д}}^{\text{п}} = 250 \times 0,9 \times 1,6 \times 1 = 360 \text{ тис. грн./рік}$$

5. Визначаємо загальну величину запобігання збитків (формула 5.9)

$$Y_{\text{пр}}^{\text{п}} = 800 + 1280 + 360 = 2440,0 \text{ тис. грн. / рік.}$$

З проведеної оцінки можна дійти висновку про те, що, переробляючи ПЕТ-відходи досягається позитивний екстернальний ефект, шляхом запобігання потрапляння забруднюючих речовин в ґрунт та ґрунтові води у грошовому еквіваленті 2440,0 тис. грн. / рік, у порівнянні з тим, якби ПЕТ-відходи не перероблялися, а зберігалися на полігоні ТПВ.

## РОЗДІЛ 6.

### ОХОРОНА ПРАЦІ

6.1. Аналіз небезпечних і шкідливих виробничих факторів, які можуть виникнути під час переробки побутових пластикових відходів.

Охорона праці в індустрії переробки пластику є важливою частиною забезпечення безпеки та здоров'я працівників, а також ефективності виробничих процесів. Процес переробки пластикових відходів може включати в себе кілька етапів, таких як збір, сортування, подрібнення, миття, переплавлення та перетворення пластику в нову продукцію. Під час кожного з цих етапів робітники можуть бути піддані різним ризикам, включаючи вплив хімічних речовин, пилу, шуму, механічних ризиків та викликів, які включають наступне. Індустрія переробки пластику часто включає роботу з великими машинами та обладнанням, які можуть бути потенційно небезпечними.

Робітники на заводах з переробки можуть бути піддані впливу токсичних речовин, що містяться в деяких типах пластику.

У процесі переробки пластику можуть використовуватися хімічні речовини, які можуть бути шкідливими при вдиханні або контакті зі шкірою. Під час переробки деяких типів пластику можуть виділятися токсичні речовини, такі як бісфенол А, фталати, діоксини та інші шкідливі хімікати.

Процеси переплавлення або переробки пластику можуть призводити до викидів шкідливих газів, таких як вуглекислий газ, оксиди азоту, а також леткі органічні сполуки (ЛОС).

Хімічні речовини та інші забруднювачі, що виникають в процесі переробки, можуть потрапляти в водні ресурси, забруднюючи їх.

Робота на підприємствах з переробки пластику може пов'язуватися з впливом на здоров'я через контакт з токсичними речовинами, високими температурами, шумом, пилом тощо.

Робота на підприємствах з переробки пластику може включати підняття важких предметів, тривале стояння або повторювані рухи, що може призвести до фізичного перенапруження.

Пластикові матеріали можуть бути легкозаймистими, тому важливо мати ефективні системи пожежогасіння та навчання персоналу діям у разі пожежі.

Переробка пластику також пов'язана з питаннями екологічної безпеки. Правильне управління відходами, запобігання забрудненню та використання екологічно безпечних технологій є частиною охорони праці.

Не слід забувати і про психологічний аспект роботи. Стрес, високе робоче навантаження та монотонність можуть негативно впливати на здоров'я працівників.

Не всі види пластику можна переробляти однаково ефективно. Забруднення пластикових відходів їжею, наліпками, або іншими матеріалами може знизити якість переробленого продукту або зробити його переробку неможливою.

Деякі методи переробки, особливо ті, що включають спалювання пластику для виробництва енергії, можуть випускати шкідливі гази та токсини в атмосферу.

Не всі регіони мають достатньо розвинену інфраструктуру для ефективної переробки пластику, що може призводити до накопичення відходів або їх неправильної утилізації.

Розкладання пластику може призводити до утворення мікропластику і стати джерелом мікропластикового забруднення, який може потрапляти в навколишнє середовище, включаючи водні шляхи, яке шкодить водним екосистемам та здоров'ю людини.

6.2. Розробка заходів по запобіганню дії небезпечних та шкідливих виробничих факторів і покращенню умов праці.

6.2.1. Заходи запропоновані для усунення небезпечних та шкідливих виробничих факторів.

Переробка побутових відходів може супроводжуватися різними небезпечними та шкідливими виробничими факторами. Для їх усунення або мінімізації впливу необхідно вжити нижченаведені заходи.

Організація безпечного робочого місця, для чого необхідне раціональне планування виробничих приміщень для забезпечення безпечного руху персоналу та транспортування відходів. Забезпечення достатнього освітлення і вентиляції на робочих місцях. Контроль повітряного середовища. Використання систем вентиляції для видалення шкідливих випарів та пилу. Регулярний моніторинг якості повітря на наявність токсичних речовин.

Захист від хімічних та біологічних ризиків. Використання спеціального одягу, респіраторів, рукавиць та інших засобів індивідуального захисту. Належне зберігання та утилізація хімічних речовин.

Механізація та автоматизація процесів. Використання спеціалізованого обладнання для зменшення фізичного навантаження на працівників. Автоматизація небезпечних процесів для зниження ризику травматизму. Розробка та дотримання технологічних інструкцій. Забезпечення належного технічного стану обладнання. Регулярний контроль за станом машин та механізмів.

Заходи проти шуму та вібрації. Встановлення шумоізоляційних бар'єрів. Регулярний контроль рівня шуму та вібрації.

Управління фізичними навантаженнями. Навчання працівників правильним методам підняття та переміщення вантажів. Організація роботи з метою уникнення монотонності та перенапруження.

Навчання та інструктажі. Проведення регулярних навчань та інструктажів із безпеки праці. Ознайомлення працівників з потенційними ризиками та методами їх усунення.

Наявність плану дій у випадку аварій та надзвичайних ситуацій. Обладнання робочих місць аптечками першої допомоги, засобами пожежогасіння.

#### 6.2.2. Вибір і обґрунтування засобів індивідуального захисту.

Вибір засобів індивідуального захисту (ЗІЗ) має бути спрямований на мінімізацію наведених вище ризиків.

**Захист дихальних шляхів.** Під час переробки пластику можуть виділятися шкідливі пари, особливо при термічній обробці. Використання респіраторів допомагає захистити дихальні шляхи від цих речовин. Важливо вибрати респіратор, що підходить для конкретних умов роботи.

Необхідно застосовувати респіратори одноразового застосування типу ШБ-1, У-2К, Р-2, ЗМ-Aura, ЗМ9914-25, Bosch МА С3 та ін., а також респіратори багаторазового використання РПГ-67, РУ-60М та ін.

**Захист очей.** При роботі з машинами для переробки пластику можуть виникати ризики потрапляння стружок, крапель хімікатів або інших частинок у очі. Окуляри або щитки для захисту очей є обов'язковими. При виконанні робіт застосовувати відкриті окуляри з різними ступенями затемнення, або закриті окуляри від дії пилу та бризок. також можна використовувати лицеві щитки для захисту від твердих часток, надлишкового тепла чи оптичного випромінювання.

**Захист шкіри.** Робота з хімічними речовинами або гарячим пластиком вимагає використання захисного одягу, такого як костюми з водонепроникного матеріалу, рукавички (гумові або інші, що стійкі до хімікатів). Вони повинні бути міцними, але також забезпечувати достатню чутливість і гнучкість. Важливо носити міцний, не проникний захисний одяг, щоб уникнути прямого контакту шкіри з хімічними речовинами, гарячими матеріалами або гострими предметами. Одяг має бути достатньо зручним, щоб не обмежувати рухи працівника. Захисне взуття із сталевим або композитним носком є необхідним для захисту ніг від випадкового падіння важких предметів або від ризику проколу.

**Захист слуху.** У деяких випадках, особливо в зонах з високим рівнем шуму від машин і обладнання, можуть бути потрібні захисні навушники або затички для вух. У місцях з підвищеним ризиком падіння предметів необхідно використовувати захисні шоломи.

### 6.2.3. Інструкція з охорони праці при переробці побутових відходів.

Працівники, задіяні у переробці побутових відходів, повинні пройти відповідне навчання з охорони праці та мати допуск до роботи. Ознайомитися зі

специфікою обладнання, охороною праці при виконанні робіт, правилами першої медичної допомоги.

Обов'язкове використання спецодягу, захисного взуття, рукавиць, захисних окулярів, респіраторів або масок, та перевірка його справності перед початком роботи.

Підтримання чистоти та порядку на робочому місці. Недопустимість використання пошкодженого або несправного обладнання. Регулярний огляд та технічне обслуговування обладнання.

Дотримання охорони праці при сортуванні, подрібненні, пресуванні та інших операціях з відходами. Використання механізмів для переміщення великих або важких вантажів.

Заборона на роботу з відходами у стані алкогольного, наркотичного чи токсичного сп'яніння.

Для запобігання аварійним ситуаціям ознайомити працівників з планом евакуації та діями у випадку надзвичайних ситуацій.

Наявність інструкцій з використання вогнегасників та інших засобів пожежогасіння. Регулярні тренування з евакуації та дій у екстрених ситуаціях.

Проходження регулярних медичних оглядів. Використання засобів дезінфекції та дотримання правил особистої гігієни. Надання доступу до медичної аптечки та засобів першої допомоги.

Регулярний інструктаж з охорони праці. Оновлення знань з охорони праці у відповідності зі змінами в законодавстві та технологіях. Проведення спеціальних тренінгів для роботи з новим обладнанням або матеріалами.

Негайне повідомлення керівництва про будь-які нештатні ситуації або несправності обладнання. Кожен працівник несе відповідальність за дотримання правил охорони праці.

6.2.4. Небезпечні сполуки та речовини, які трапляються при переробці побутових пластикових відходів.

Небезпечні сполуки та речовини, які трапляються при переробці пластикових відходів та їх вплив на організм працівників (табл. 6.1).

Таблиця 6.1 – Небезпечні сполуки та речовини та їх вплив на організм працівників

| №<br>п/п | Небезпечна<br>речовина | Результат впливу небезпечної речовини на організм<br>працівника                                                                                                           |
|----------|------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 1        | Хлорбензол             | Різде погіршення стану здоров'я працівника. Підвищується частота дихання, спостерігається сильний кашель, біль голови, підвищується пульс, болі серця, слабкість й задуха |
| 2        | Хлористий<br>вуглець   | Підвищується частота дихання, розширюються судини, порушується рН крові, підвищується рівень адреналіну                                                                   |
| 3        | Оксид<br>вуглецю       | Гіпоксія – порушення доставляння кисню до тканин організму. Стан, при якому тканини організму не отримують достатньо кисню для задоволення своїх метаболічних потреб.     |
| 4        | Метан                  | Знижує орієнтацію в просторі: попадає у вологе очне яблуко й перетворюється в соляну кислоту. Викликає спазми дихання, набряки і порушення функції дихання                |
| 5        | Сажа                   | Киснева недостатність організму, обумовлена впливом на дихальні шляхи                                                                                                     |
| 6        | Діоксид<br>азоту       | Легке запаморочення, прилив крові до голови, нудота, блювота, зниження пульсу, втрата свідомості, набряк легенів. Іноді сильне запаморочення і дезорієнтація              |
| 7        | Сірчистий<br>газ       | Викликає кашель, кровотечі з носа, спазм бронхів, порушення обмінних процесів, утворення метгемоглобіну в крові, діє на кровотворні органи                                |

### 6.3. Розробка заходів з пожежної профілактики.

Заходи з пожежної профілактики при переробці побутових відходів важливі, оскільки в процесі зберігання та переробки можуть виникати різноманітні пожежонебезпечні ситуації. Для їх попередження необхідно дотримуватися наступних заходів.

Регулярний моніторинг умов зберігання, транспортування та переробки відходів. Це включає перевірку обладнання та виявлення потенційних джерел загоряння.

**Обмеження доступу до місць зберігання відходів.** Контроль за доступом осіб, які не мають відношення до процесу переробки, для запобігання випадковому або навмисному підпалу.

**Використання негорючих контейнерів та упаковки.** Відходи слід зберігати в контейнерах, які не підтримують горіння.

**Встановлення та обслуговування систем пожежогасіння.** Системи автоматичного пожежогасіння, такі як спринклери, повинні бути в належному стані та готові до використання в будь-який момент.

**Регулярне прибирання та утилізація відходів.** Забезпечення своєчасного вивезення відходів з місць їхнього тимчасового зберігання для уникнення накопичення матеріалів, які можуть сприяти горінню.

**Проведення інструктажів для персоналу.** Навчання співробітників основам пожежної безпеки, а також діям у випадку виникнення пожежі.

**Обмеження куріння та використання відкритого вогню.** Чіткі правила щодо куріння та використання відкритого вогню в зонах, де зберігаються або переробляються відходи.

**Використання обладнання, що відповідає стандартам безпеки.** Переконайтеся, що використовуване обладнання має відповідні сертифікати безпеки та правильно експлуатується.

**Встановлення датчиків диму та тепла.** Це допоможе виявляти пожежу на ранніх стадіях та своєчасно реагувати.

**Розробка та реалізація плану евакуації.** У разі виникнення пожежі, необхідно мати чіткий план евакуації персоналу та відвідувачів.

#### 6.4. Висновки по розділу

У розділі проведений аналіз виникнення ризиків нещасних випадків під час переробки пластикових відходів. На основі аналізу встановлено, що найбільшими ризиками під час сортування, подрібнення та перетворення пластику в нову продукцію є вплив на робітників хімічних речовин, пилу, шуму, механічних факторів. Для виключення їх дії розроблені заходи, які передбачають як використання засобів індивідуального захисту, так і дотримання певних правил при виконанні робіт

## ВИСНОВКИ

На сьогоднішній день тенденція розвитку промисловості та активне використання у повсякденному житті полімерних виробів породжує з кожних разів більше відходів. При цьому, на жаль, більша частина відходів просто накопичуються і зберігається, що веде до відчуження вільних територій, обмежує можливості для будівництва житлових будівель, торгових та складських приміщень тощо.

Виконана випускна кваліфікаційна робота дозволяє зробити такі висновки:

1. Проведено дослідження впливу ультразвукової обробки на розплави полімерних композицій на основі поліетилену та наповнювачів, що мають здатність до біорозкладання: відходів агропромислового комплексу та модифікованого крохмалю. Розроблено технологію отримання біорозкладних полімерних плівок при впливі ультразвуку на їх розплави в процесі екструзії.

2. Встановлено збільшення деформаційно-міцності та водопоглинання модифікованих плівок, як результат більш рівномірного розподілу наповнювача в полімерній матриці при ультразвуковій обробці розплавів полімерних композицій у процесі екструзії.

3. Виявлено, що ультразвукова обробка розплавів поліетиленових композицій, що містять як наповнювач відходи агропромислового комплексу або крохмаль, прискорює процес біодеструкції матеріалу, що пов'язано з іммобілізацією вологи в композиції за рахунок збільшення кисневмісних груп у поліетилені.

4. За допомогою методів Штурму та компостування спрогнозовано терміни біорозкладання наповнених плівок на основі поліетилену, отриманих з композицій, модифікованих ультразвуковою дією в процесі екструзії.

5. Показано, що одночасне введення в поліетилен полікапролактону до 10% (про.) та модифікованого крохмалю, також використання ультразвукової обробки при екструзії, призводить до прискорення процесу біорозкладання на 20-30%.

6. Методом апроксимації спрогнозовано терміни біорозкладання розроблених матеріалів. Визначено, що використання як наповнювача відходів АПК у кількості 40% дозволяє отримувати біорозкладні плівки з терміном розкладання 8 років. Встановлено, що термін розкладання при компостуванні плівок, що містять модифікований крохмаль у кількості 40%, та отриманих із застосуванням УЗ обробки розплавів, становить 5 років. Додавання до ПЕ композицій, що містять модифікований крохмаль, полікапролактону в кількості 10%, прискорює процес розкладання на 6 місяців.

7. Розроблено та запропоновано технологічні режими отримання біорозкладних поліетиленових плівок на плоскощільному екструдері, забезпеченому установкою для ультразвукової обробки: температура по зонах екструдера Т1 – 120 °С, Т2 – 130 °С, Т3 – 150 °С, Т4 – 16 частота ультразвукових коливань 22,4 кГц.

## СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Camp D., Matthews C. F., Neville S. T., Rouns M. Development of a synthetic process towards a hepatitis C polymerase inhibitor. *Organic Process Research & Development*. 2006. Vol. 10. № 4. P. 814–821.
2. Волкова С.А., Плющ С.О., Кравченко М.Г. Використання викидів пластикової упаковки для ремонту доріг. Фальцфейнівські читання. Херсон: Видавництво ХДУ. 2009.
3. Іванов В. Аналіз існуючої ситуації при поводженні з пластиковими відходами в умовах Кіровоградської області. Матеріали XIV Міжнародної науково-практичної конференції «Проблеми конструювання, виробництва та експлуатації сільськогосподарської техніки». (м. Кропивницький, 8-10 листопада 2023 р), Кропивницький: ЦНТУ. 2023. С.370-371
4. Groot, J. A. W. M., Giannopapa, C. G., and Mattheij, R. M. M. “A computer simulation model for the stretch blow moulding process of polymer containers”. In *Proceedings of PVP 2010 : ASME Pressure Vessels and Piping Division Conference*, July 18-22, 2010, Bellevue, Washington, USA.
5. Wang, S., Makinouchi, A., Okamoto, M., Kotaka, T., Maeshima, M., Ibe, N., and Nakagawa, T., 1999. “3d FEM simulation of the stretch blow molding process with a twostage material model”. In *Materials*, Vol. 2 of ANTEC 1999 *Plastics: Bridging the Millennia*, pp. 977–981.
6. Danilchuk, T.N. and Ganina V.I. Prospects of using extremely low doses of physical factors impact in food biotechnology. *Foods and Raw Materials*. 2018. vol. 6. no. 2. pp. 305-313.
7. Feuilloley, P. et al. Degradation of Polyethylene Designed for Agricultural Purposes. *Journal of polymers and Enronment*. 2005. № 13. pp. 349-355.
8. Fritz, H. Der Einsatz von Starke bei der Modifizierung syntetischer Kunststoffe. *Starch/Sterke*. 1993. vol. 45. № 9. pp. 314-322.
9. Beznaeva, O. Surface structure of electret polymeric materials in different process conditions by corona discharge. *Amazonia Investiga*. 2018. Vol. 14. №4. pp. 31-38.

10. Апостолук С.О., Джигирей В.С., Апопостолук А.С. Промислова екологія. К.: Знання, 2005. 474 с.
11. Буравльов Є. Утилізація відходів: безпечність й ефективність. Вісн. Нац. акад. наук України. 2004. №4. С. 38–44.
12. Гуцал О. З. Новий принцип утилізації промислових відходів. Екол. довідник та безпека життєдіяльності. 2004. №1. С. 105–107.
13. Михайленко В. Звалища - виклик сталому розвитку. Віче. 2008. № 15. С. 58-60.
14. Веклич О.О. Сучасний стан і ефективність економічного механізму екологічного регулювання. Економіка України. №10. 2003. С.62-70.
15. Борисенко К. Україна сміттєспалювального періоду. [Електронний ресурс]. Режим доступу: <http://www.tema.in.ua/article/6590.html/> (Дата звернення 12.10.2023).
16. Гулий А.В. Удосконалення управління відходами виробництва та споживання у контексті впровадження в Україні засад сталого розвитку [Електронний ресурс]. Збірник наукових статей "III-го Всеукраїнського з'їзду екологів з міжнародною участю". Вінниця, 2011. Том.2. С.684-687. Режим доступу: <http://eco.com.ua/>. (Дата звернення 22.11.2023).
17. Апостолук С.О., Джигирей В.С., Апопостолук А.С. Промислова екологія. К.: Знання, 2005. 474 с.
18. Братчиков В. Вдосконалення системи управління промисловими відходами на рівні підприємства // Стандартизація, сертифікація, якість. 2000. №2. С. 49-51.
19. Буравльов Є. Утилізація відходів: безпечність й ефективність. Вісн. Нац. акад. наук України. 2004. №4. С. 38-44.
20. Вітчизняний та міжнародний досвід переробки відходів: Міжнар. наук.-практ. конф. (2002; Ялта). К.: «Знання» України, 2002. 125 с.
21. Вітчизняний та міжнародний досвід поводження з відходами виробництва та споживання.: Міжнар. наук.-практ. конф. (8-12 вересня 2003 р., м. Ялта). К.: Т-во «Знання» України, 2003. 105 с.

22. Трищенко Ф. Охорона навколишнього середовища: оновлені стандарти серії ISO14000 // Стандартизація, сертифікація, якість. 2000. №3. с. 15-18.
23. Гуцал О.З. Новий принцип утилізації промисло-вих відходів. Екол. довкілля та безпека життєдіяльності. 2004. №1. С. 105-107.
24. Енергетична стратегія України на період до 2030 року схвалена розпорядженням Кабінету Міністрів України від 15 березня 2006 р. N 145-р зі змінами і доповненнями.
25. Білявський Г.О., Бровдій В.М. Про класифікацію основних напрямів сучасної екології. Рідна природа. 1995. № 2. С. 4-7.
26. Мікульонок, І.О. Обладнання і процеси переробки термопластичних матеріалів з використанням вторинної сировини: монографія. К.: ІВЦ „Видавництво «Політехніка»”, 2009. 265 с.
27. Мальчик М. В. Становлення соціального захисту та суспільного добробуту громадян в Україні. Монографія. НАН України. Ін-т економіки промисловості. Донецьк, 2007. 228 с.
28. Williams, H., Lindström, A., Trischler, J., Wikström, F., Rowe, Z. (2020). Avoiding food becoming waste in households – The role of packaging in consumers’ practices across different food categories. Journal of Cleaner Production, 265, 121775. doi: <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2020.121775>.
29. Alzanki, T. H., Jafar, M. M. (2019). Parameter Prediction of Stretch-Blow Molding Process of PET Using Neural Networks. Journal of Software Engineering and Applications, 12 (07), 278–292. doi: <https://doi.org/10.4236/jsea.2019.127017>.
30. Brandau, O. (2017). Special Applications. Stretch Blow Molding, 135–222. doi: <https://doi.org/10.1016/b978-0-323-46177-1.00009-3>.
31. ISO 9004:2018. Quality management – Quality of an organization – Guidance to achieve sustained success (2018). International Organization for Standardization, P. 59.

32. ISO 22514-1:2014(en). Statistical methods in process management – Capability and performance Part 1: General principles and concepts (2014). International Organization for Standardization, P. 23

33. Сашнєова, М. (2013). Функціональна структура системи збору та надання інформації про якість виготовлення ПЕТ-тари. Всеукраїнська науковопрактична конференція «Проблеми інформатики та комп'ютерної техніки» ПІКТ2013. Чернівці, 101–102. URL: <http://csf.cv.ua/shara/PICT2013%20-%20zbirnyk%20tez.pdf>.

34. Види засобів захисту органів зору. Служба охорони праці «Експертус»: веб-сайт. URL: [//pro-op.com.ua/article/1067-zasobi-zahistu-organv-zoru#anc\\_2](http://pro-op.com.ua/article/1067-zasobi-zahistu-organv-zoru#anc_2) (дата звернення 10.12.2023).

35. Засоби індивідуального захисту органів дихання: веб-сайт. URL: <https://labcenter.kh.ua/?p=10840> (дата звернення 10.12.2023).

36. Геврик Є.О., Пешко Н.П. Гігієна праці на виробництві: Навчальний посібник для студентів вищих навчальних закладів. Київ: Чельга, Ніка- Центр, 2004. 280 с.

37. Савчук О.О., Бойко О.О. Проблеми використання та утилізації пластикових відходів в Україні. Право та інновації. 2019. № 1 (25). С. 71–76. 21. Без сміття: хто у світі навчився жити без відходів. Громадське Телебачення : вебпортал. URL: <https://cutt.ly/PROWhnI> (дата звернення: 25.10.2023).

38. Комп'ютерні технології статистичної обробки даних [Текст] : навч. посібник для студ. вищ. навч. закладів, які навчаються за спец. «Якість, стандартизація та сертифікація» / О. В. Томашевський, В. П. Рисіков; Запорізький національний технічний ун-т. Запоріжжя : [б.в.], 2006. 174 с.

39. Економіка сільського господарства: Навчальний посібник / С. М. Рогач, Н. М. Суліма, Т. А. Гуцул, Л. В. Ярема. Київ: ЦП "Компринт", 2018. 517 с.

40. Основи охорони праці. навчально-методичний посібник для студентів вищих навчальних закладів педагогічного напрямку / [Укладачі: В.І. Кошель, Г.П. Сав'юк, Б.С. Дзундза] Івано-Франківськ: НАІР, 2020. 182 с.

## ДОДАТКИ