

ХМЕЛЬНИЦЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

Факультет технологій і дизайну
Кафедра хімії та хімічної інженерії

КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА

МАГІСТРА

Розробка полімерної композиції на основі відходів для тканин спеціального
призначення

Галузь знань 16– Хімічна та біоінженерія

Спеціальність 161 – Хімічні технологія та інженерія

Освітня програма – Хімічні технологія та інженерія

ДРХТІ.2019086.22.05.00

Виконала:

здобувач 2 курсу група ХТІм-22-1 _____ Тетяна ІЩУК

Керівник канд. техн. наук, доцент _____ Тетяна ІВАНІШЕНА

Нормоконтролер ст.викладач _____ Олександр СТРЕМЕЦЬКИЙ

До захисту допускаю:

Зав.кафедри хімії та хімічної інженерії _____ Ольга ПАРАСКА

_____ 2023 р.

ХМЕЛЬНИЦЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

Факультет технологій і дизайну
Кафедра хімії та хімічної інженерії
Освітній рівень магістр
Галузь знань 16 Хімічна та біоінженерія
Шифр і назва
Спеціальність 161 Хімічні технології та інженерія
Шифр і назва
Освітня програма Хімічні технології та інженерія

ЗАТВЕРДЖУЮ
Завідувач кафедри Ольга ПАРАСКА
“ 15 ” серпня 2023 р.

ЗАВДАННЯ НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ

ІЩУК Тетяна

Прізвище, ім'я

1.Тема кваліфікаційної роботи Розробка полімерної композиції на основі відходів для тканин спеціального призначення

Керівник роботи ІВАНШЕНА Тетяна
Прізвище, ім'я

Затверджено наказом ректора університету від “ 15 ” 08 2023 р. № 30

3.Вихідні дані до кваліфікаційної роботи пластикові відходи, їх якісний та кількісний склад, характеристика технологій переробки полімерів.

4.Зміст пояснювальної записки (перелік питань, які потрібно розробити) аналіз пластикових відходів в Україні; встановлення хімічного складу пластикового сміття; аналіз тканин спеціального призначення, підбір методів визначення якості полімерної композиції з пластикових відходів; дослідження технології утворення полімерного покриття з відходів; аналіз методів дослідження тканин спеціального призначення; розробка та реалізація даної роботи у вигляді старта проекту.

5.Перелік графічного матеріалу (із зазначенням обов'язкових креслень) схема утворення відходів пластику, технологічна схема отримання полімерної композиції з полімерних відходів, планування експерименту та обробка даних експерименту, схема реалізації у вигляді стартапу.

6. Консультанти розділів кваліфікаційної роботи

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		Завдання видав	Завдання прийняв
Огляд джерел науково-технічної інформації	ІВАНІШЕНА Тетяна, декан ФТіД, доцент		
Вибір об'єктів та методик дослідження	ІВАНІШЕНА Тетяна, декан ФТіД, доцент		
Експериментальний розділ	ІВАНІШЕНА Тетяна, декан ФТіД, доцент		

7. Дата видачі завдання 15 серпня 2023 р.

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

Назва етапів (розділів) кваліфікаційної роботи	Строк виконання етапів роботи	Примітка
Вступ	до 10.09.2023	виконано
1 Аналіз джерел науково-технічної інформації	до 01.10.2023	виконано
1.1 Хімічний склад пластикових відходів.	до 01.10.2023	виконано
1.2 Аналіз тканин спеціального призначення	до 01.10.2023	виконано
1.3 Методи переробки пластику	до 01.10.2023	виконано
2 Об'єкти та методи досліджень	до 01.10.2023	виконано
2.1 Об'єкти досліджень	до 01.11.2023	виконано
2.2 Спосіб отримання полімерної композиції	до 01.11.2023	виконано
2.3 Методи дослідження тканин спеціального призначення	до 01.11.2023	виконано
3 Експериментальний розділ	до 01.12.2023	виконано
3.1 Дослідження властивостей полімерних композицій	до 01.12.2023	виконано
3.2 Оптимізація складу полімерної композиції	до 01.12.2023	виконано
4 Реалізація проекту у вигляді стартапу	до 01.12.2023	виконано
Висновки	до 10.12.2023	виконано

Студент

Підпис

Тетяна ЩУК

Ім'я, прізвище

Керівник проекту

Підпис

Тетяна ІВАНІШЕНА

Ім'я, прізвище

Реферат

Розробка полімерної композиції на основі відходів для тканин спеціального призначення

Автор роботи – студентка групи ХТІм – 22 – 1 Тетяна ІЩУК

Керівник роботи – канд. техн. наук, доцент Тетяна ІВАНІШЕНА

Обсяг пояснювальної записки 90 сторінок, рисунків 22, таблиць 14, джерел посилання 48, додатки 1.

Графічної частини 18 слайдів презентації.

Ключові слова: ПОЛІМЕРНА КОМПОЗИЦІЯ, РЕЦИКЛІНГ ПОЛІМЕРНИХ ВІДХОДІВ, ТКАНИНИ СПЕЦІАЛЬНОГО ПРИЗНАЧЕННЯ.

У роботі проведено комплексний аналіз літературних джерел, щодо використання пластику для виготовлення полімерної композиції з відходів. Проаналізовано та вибрано об'єкти дослідження, які являють собою полімерну композицію з відходів та/або переробку у покриття для нанесення на тканини. Досліджено вплив полімерної композиції на фізико-хімічні властивості. Розроблено та проаналізовано склад даного покриття, а також проведено дослідження його характеристик.

Студентка групи ХТІм – 22 – 1

Тетяна ІЩУК

Дата подання роботи до захисту 18.12.23

ЗМІСТ

С.

Вступ.....	6
1 Аналіз джерел науково-технічної інформації.....	9
1.1 Хімічний склад пластикових відходів.....	9
1.2 Аналіз тканин спеціального призначення.....	16
1.3 Методи переробки пластику.....	21
2. Об'єкти та методи досліджень.....	32
2.1 Об'єкти досліджень.....	32
2.2 Спосіб отримання полімерної композиції.....	38
2.3 Методи дослідження тканин спеціального призначення	46
3 Експериментальний розділ.....	53
3.1 Дослідження властивостей полімерних композицій.....	53
3.2 Оптимізація складу полімерної композиції.....	56
4. Реалізація проєкту у вигляді стартапу.....	70
Висновки.....	79
Перелік джерел посилання.....	82
Додатки.....	90

ВСТУП

В умовах зростаючої свідомості щодо екологічних проблем та нестачі природних ресурсів, увага суспільства все більше зосереджується на пошуку сталого розвитку і більш екологічно чистих технологій. Однією з найбільш актуальних проблем сучасності є управління відходами та їх переробка для повторного використання. Відходи промисловості, становлять значну частку загального відходів і можуть призвести до негативного впливу на навколишнє середовище.

Актуальність даної теми полягає в необхідності вирішення проблем екологічного забруднення та відновлення ресурсів., що стає невід'ємною частиною сталого розвитку. В даному контексті важливо наголосити на важливості розробки спеціальних тканин, спрямованих на зниження екологічного впливу та підтримку сталого збереження навколишнього середовища. Це відкриває шлях до новаторських підходів у текстильній промисловості, спрямованих на забезпечення ефективного використання ресурсів та мінімізацію негативного впливу на природу.

Велика кількість відходів полімерних матеріалів, що утворюється під час виробництва та використання, можуть призвести до забруднення довкілля, займати великий об'єм на сміттєзвалищах та негативно впливати на біологічну різноманітність. Використання цих відходів для створення нових матеріалів і продуктів стає дедалі більш важливою метою для досягнення сталого розвитку.

Метою даної роботи є розробка полімерної композиції на основі пластикових відходів для створення покриття для тканин спеціального призначення. Для досягнення мети були визначені основні завдання:

1. Мінімізувати негативний вплив на навколишнє середовище шляхом переробки та використання відходів пластику.
2. Зменшити залежність виробництва тканин спеціального призначення від використання первинних сировинних матеріалів.

3. Знизити вартість виробництва тканин спеціального призначення шляхом використання відходів, які раніше вважалися безвартісними.

4. Детальне дослідження та розробка полімерної композиції з пластикових відходів.

5. Підбір методик дослідження властивостей тканин спеціального призначення.

Полімерні композиції (ПК) є перспективним напрямком розвитку, оскільки вони поєднують в собі властивості полімерів і додаткових компонентів, що дозволяє отримати матеріал з необхідними характеристиками для виробництва спеціальних тканин. Використання пластикових відходів в полімерних композиціях має кілька переваг.

По-перше, це зменшення використання первинних сировинних матеріалів, що сприяє збереженню природних ресурсів та зменшенню енергозатрат на їх видобуток і переробку. По-друге, використання відходів допомагає знизити вартість виробництва, оскільки відходи зазвичай доступні за низькою ціною або навіть безкоштовно. По-третє, це сприяє управлінню відходами та зменшенню їх негативного впливу на довкілля.

Об'єктом дослідження є полімерна композиція на основі відходів. Предметом дослідження - процес розробки та використання полімерної композиції для тканин спеціального призначення.

Методи дослідження, такі як визначення УФ-захисту полімерної композиції, водовідштовхуваності та зносостійкості, обрані для об'єктивного вивчення властивостей новоствореної композиції; методи обробки та аналізу результатів дослідження; метод планування експерименту. Наукове та практичне значення результатів дослідження полягає в можливості створення полімерної композиції, що відкриє нові перспективи у розробці екологічно чистих технологій та принесе конкретні практичні переваги у виробництві тканин та захисті від несприятливих зовнішніх впливів.

Результати наведені у роботі успішно апробована у дослідженні цієї проблеми в рамках держбюджетної теми № 1Б-2022 "Розробка технологій

комплексної переробки полімермістких відходів у виробі легкої промисловості". Результати цієї роботи не лише підтвердили актуальність теми, а й знайшли відображення у наукових виданнях. Оpubлікована стаття у фаховому виданні "Вісник ХНУ № 5 - 2022" з назвою "Сучасний стан поводження з полімерними відходами" стала своєрідним відзначенням досягнутого прогресу.

Дану роботу також апробовано на конференціях різного рівня. Перша з них, "Львівські хімічні читання – 2023", присвячена розробці полімерної композиції для захисних покриттів на матеріалах військового призначення. Друга теза, представлена на Міжнародній науково-практичній конференції "Ресурсозберігаючі технології легкої, текстильної і харчової промисловості-2023", висвітлює інноваційні рішення у створенні покриттів на основі пластикових відходів для тканин спеціального призначення.

Кваліфікаційна робота ставить за мету детальне дослідження та подальший розвиток вказаних напрямків, що зробить вагомим наукову та практичну новизну у сфері екологічної сталості та використання вторинної сировини у текстильній промисловості. Розробка полімерної композиції на основі відходів пластику для тканин спеціального призначення має великий потенціал для сталого розвитку та забезпечення екологічно чистих технологій у текстильній промисловості. Полімерні відходи для виконання експериментальних досліджень було надано ТОВ «Сіріус Екструджен». Ця робота спрямована на вивчення властивостей відходів, розробку оптимального складу полімерної композиції та виробництво тканин спеціального призначення з використанням цих композицій.

Кваліфікаційна робота магістра складається із вступу, чотирьох розділів, висновків, списку використаних джерел. Повний обсяг кваліфікаційної роботи викладено на 87 сторінках комп'ютерного тексту, в тому числі основна частина роботи на 69 сторінках. Робота містить 14 таблиць, 22 рисунків. Список використаних джерел містить 42 найменування.

1 АНАЛІЗ ДЖЕРЕЛ НАУКОВО-ТЕХНІЧНОЇ ІНФОРМАЦІЇ

1.1 Хімічний склад пластикових відходів

Утворення відходів стало глобальною проблемою в наш час і стало важливим питанням державної політики для всієї міжнародної спільноти. Зростаюча кількість відходів та збільшуюся небезпека, пов'язана з їх утилізацією, значно впливають на екологію планети, регіональне довкілля, стан природних ресурсів, здоров'я населення, місцеву економіку та життєві умови. Це ставить під загрозу досягнення цілей сталого розвитку.

Відходи характеризуються різноманітним складом та представляють собою складні змішані матеріали, які містять значні кількості антропогенних забруднень, що походять як з хімічних, так і біологічних джерел. Це створює потенційну небезпеку для здоров'я населення та природного середовища[1].

За даними [2], в Україні щорічно накопичується приблизно 11 млн тонн твердих побутових відходів (ТПВ). З них 25% становлять харчові відходи, 5-10% - папір, 15-20% припадає на метал, текстиль, гуму і скло, а 50% - полімери.

Усі полімерні відходи можна класифікувати на наступні типи:

1. Відходи виробництва полімерів.
2. Відходи переробки полімерів.
3. Відходи виробництва, в яких використовуються полімери (напівфабрикати).
4. Відходи виробництва, в яких використовуються полімери (напівфабрикати і готові вироби).
5. Пластикова упаковка.
6. Пластикові вироби, що використовуються в індивідуальному споживанні.

Перші чотири типи є відходами виробництва, а останні два - відходами від споживання. Сучасні екологічні проблеми, такі як викиди парникових газів та обмежене місце для утилізації відходів, спричинені нагромадженням відходів та неналежним управлінням ними. Це привело до посиленого

зацікавлення громадськості та прийняття політичного законодавства, спрямованого на мінімізацію кількості відходів, що потрапляють у навколишнє середовище. Ці зусилля спрямовані на забезпечення сталого управління відходами, включаючи переробку ТПВ та ефективне перетворення відходів на енергію та інші цінні хімічні речовини.

Загалом, пластикові відходи можуть бути промисловими або комунальними, залежно від їхнього походження. Рисунок 1 показує загальний склад відходів у Сполучених Штатах Америки (США), Китаї, Великобританії та Європейському Союзу (ЄС).

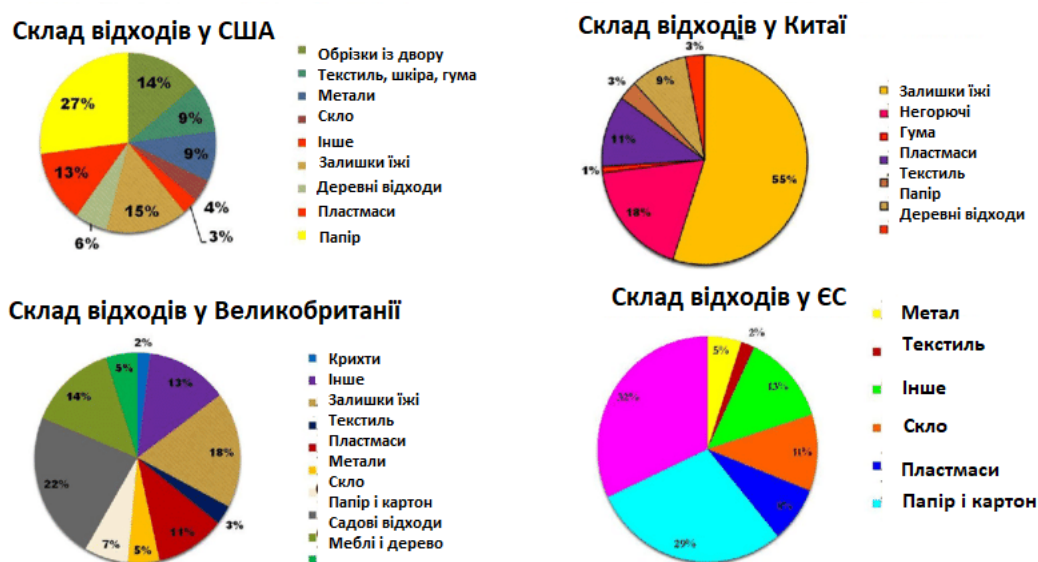


Рисунок 1 - Склад відходів у різних країнах

Пластикове сміття складає основну частину побутових відходів. Крім того, значна кількість пластикових відходів утворюється як побічні продукти або пошкоджені товари, які викидаються як промислові або сільськогосподарські відходи. Полімерні відходи проникають в різні сфери життя, включаючи мішки, кришки, електропроводку, покриття, теплиці, пакувальні плівки, кришки та контейнери. Це призводить до великого накопичення побутових пластикових відходів у кінцевому потоці відходів.

Муніципальні тверді відходи зазвичай відносяться до категорії побутових відходів через спосіб їх утилізації та збирання. Серед

найпоширеніших джерел пластикових побутових відходів є контейнери для упаковки харчових продуктів, одноразові стакани, тарілки та столові прибори, футляри для дисків і касет, вкладиші для холодильників, пластикові кубки, футляри для електронної техніки, дренажні труби, пляшки для газованих напоїв, сантехнічні вироби, труби та жолоби, підлогові покриття. Також значна кількість пластикових відходів походить з сільськогосподарської галузі, включаючи плівки для мульчування, кормові мішки, добрива, покриття для сіна, силосу, дроти та кабелі, автомобільні уламки тощо. Рисунок 2 підсумовує структуру твердих відходів.

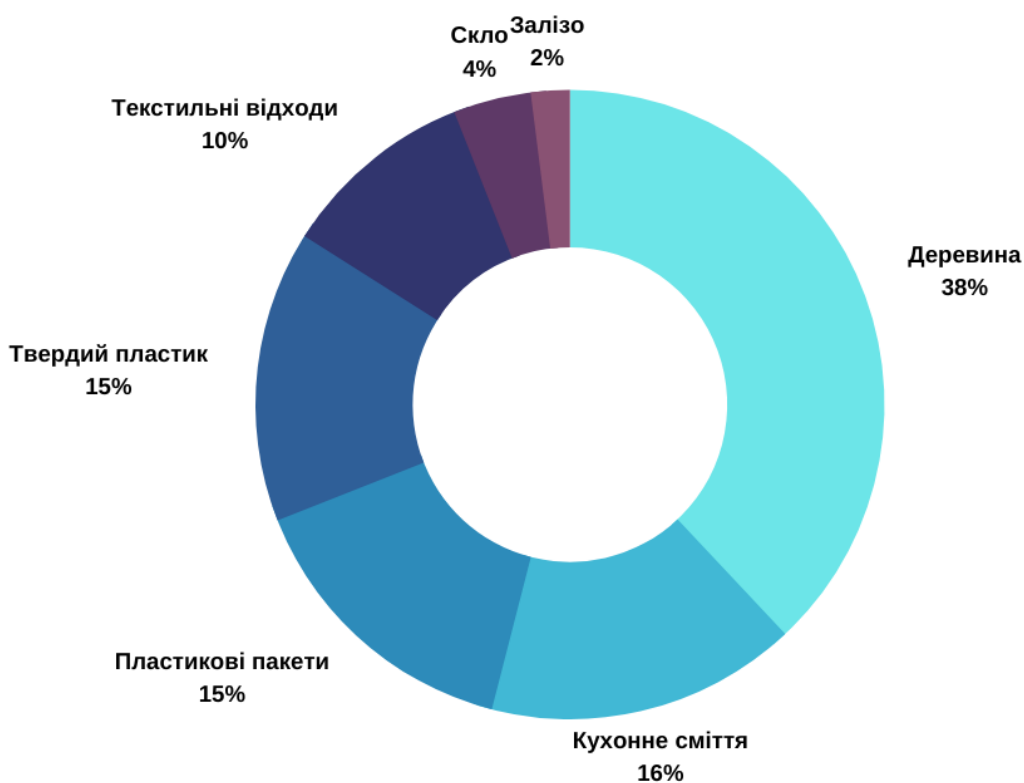


Рисунок 2 - Склад побутових відходів

Існує значна присутність пластмас у всіх класифікаціях ТПВ через їх використання в упаковці, такій як пакети, мішки, обгортки, контейнери для молока, безалкогольних напоїв і води, які представляють найбільший тоннаж. В даний час пластмаси також використовуються в меблях, техніці, корпусах свинцево-кислотних акумуляторів та інших продуктах. Пластик відіграє ключову роль у нашому повсякденному житті. Однак через такі його

властивості, як універсальність, легкість, низька вартість виробництва та економічний розвиток, пошук і залежність від цих матеріалів зросли. Це призвело до їх накопичення на звалищах, створюючи таким чином високий ризик для здоров'я людей і тварин, а також створили інші проблеми впливу на навколишнє середовище, такі як забруднення підземних вод, санітарні проблеми тощо. Таким чином, стійке та ефективне поводження з пластиковими відходами має життєво важливе значення для пом'якшення та усунення цих проблем.

Більшість полімермістких виробів не правильно утилізуються спричиняючи нові екологічні проблеми та негативно впливаючи на довкілля. Оскільки галузі і об'єми застосування полімерних матеріалів все більше розширюються, все більш актуальним стає питання пошуку ефективних методів утилізації і переробки полімерних відходів, зокрема у виробі легкої промисловості.

На даний час, лише 9% переробляється, 11% спалюється (при чому утворюється не лише енергія, але й шкідливі речовини), біля 80% залишаються фактично на полігонах (чим забруднюють навколишнє середовище). Статистика утворення полімерних відходів наведено на рисунку 3 (ПС-полістирол, ПЕ- поліетилен, ПУ -поліуретан, ПВХ – полівінілхлорид, ПП- поліпропілен).

Різні полімерні відходи мають свої унікальні хімічні властивості, що впливають на їхню переробку та використання. Наприклад, поліетилен відзначається низькою біологічною розкладністю, що може спричиняти проблеми зі стійкістю відходів у навколишньому середовищі. Найбільше утворюється відходів поліетилену, що вказує на необхідність використання цього полімеру при створенні полімерної композиції.

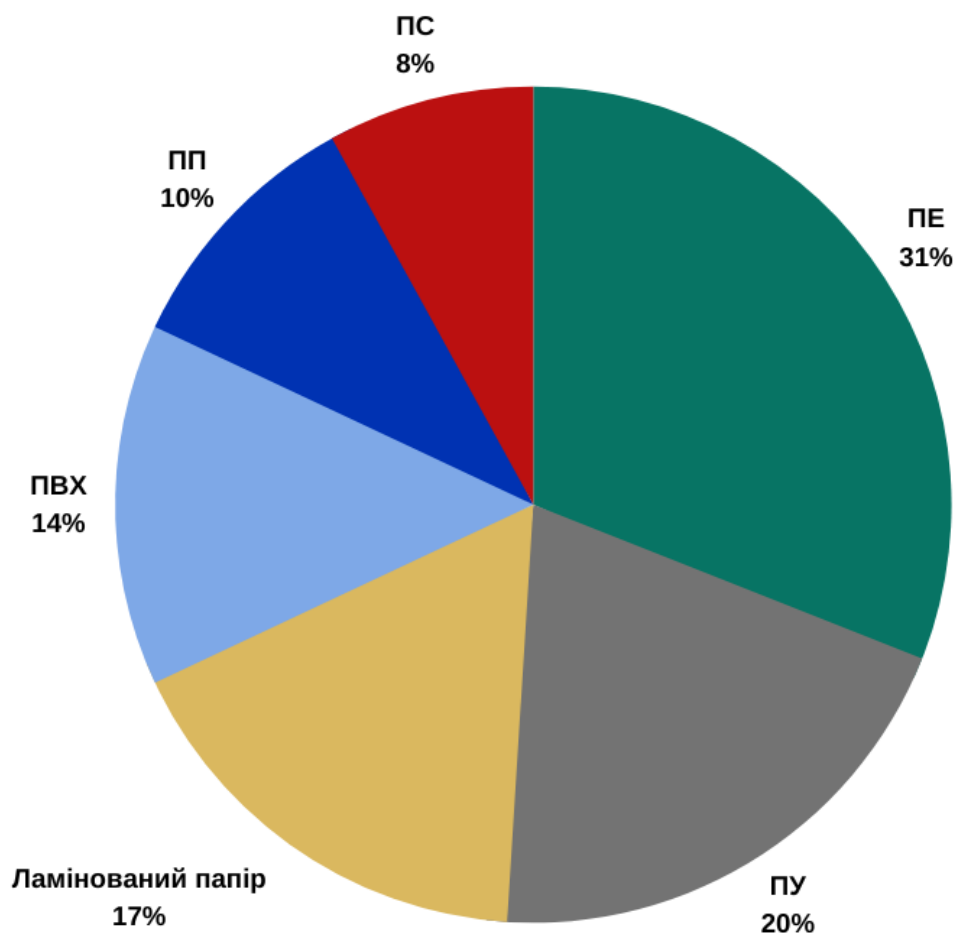


Рисунок 3 – Структура полімерних відходів в Україні

Поліуретан, хоча має високу міцність та хімічну стійкість, вимагає особливих умов переробки через його неоднорідну хімічну формулу, що може ускладнити процес вторинного використання. У виробництві поліуретану можуть використовуватися різні домішки та добавки, що додаються для досягнення конкретних властивостей. Ці компоненти можуть ускладнювати процес вторинного використання та вимагати додаткових заходів щодо їх видалення або обробки.

Ламінований папір, з одного боку, має можливість роздільної переробки паперової та пластикової частини, що сприяє зменшенню впливу на навколишнє середовище, але, з іншого боку, процес переробки може бути витратним і складним через комбінацію матеріалів(табл.1).

Таблиця 1 – Характеристика полімерних відходів

Назва полімерного відходу	Хімічна формула	Хімічні властивості	Метод переробки	Особливості
1	2	3	4	5
Поліетилен(ПЕ)	$(\text{CH}_2-\text{CH}_2)_n$	Гнучкий, низька щільність, хімічна стійкість	хімічний, фізичний, механічний, біологічний, енергетичний	Висока стійкість до хімічних речовин, низька біологічна розкладність
Поліуретан(ПУ)	$[-\text{NH}-\text{C}(\text{O})-\text{O}-\text{R}-\text{O}-\text{C}(\text{O})-\text{NH}-]_n$	Висока міцність, хімічна стійкість		Використовується у виробництвах
Ламінований папір	-	Міцність, водостійкість		Можливість роздільної переробки паперової та пластикової частини.
Полівінілхлорид (ПВХ)	$(\text{C}_2\text{H}_3\text{Cl})_n$	Термостійкість; висока стійкість до хімічних речовин; гнучкість		Можливо використовувати для виготовлення нових виробів, наприклад, пластикових труб із ПВХ.

Закінчення таблиці 1

1	2	3	4	5
Поліпропілен (ПП)	$(C_3H_6)_n$	Висока теплостійкість; висока міцність та жорсткість; хімічна стійкість	хімічний, фізичний, механічний, біологічний,	Підходить для переробки методами лиття, екструзії та формування у вироби різних форм і розмірів.
Полістирол (ПС)	$(C_8H_8)_n$	Низька теплостійкість; Жорсткість та прозорість; Добра електрична ізоляція	енергетичний	Часто використовується для виготовлення упаковки, посуду, ізоляційних матеріалів тощо.
Поліетилен- терафталат (ПЕТ)	$(C_{10}H_8O_4)_n$	Аморфна, кристалічна структура. ПЕТ є термостійким полімером, що витримує високі температури.		ПЕТ має високі механічні властивості, що робить його ефективним для виробництва міцних та легких виробків.

1.2 Аналіз тканин спеціального призначення

У сучасній текстильній промисловості широко використовуються спеціальні тканини, які володіють рядом унікальних властивостей, забезпечуючи їх використання в різних галузях. Особливі хімічні обробки і застосування спеціалізованих матеріалів дозволяють надавати тканинам спеціальні властивості, такі як водовідштовхувальна, водозахисна, захист від ультрафіолету, вогнезахисна, антибактеріальна та антиалергенна, а також стійкість до запаху тканини, тканини з електростатичним властивостями(рис.4)[3].



Рисунок 4 – Види тканин спеціального призначення

Один із видів спеціальних тканин - це водовідштовхувальні матеріали, що характеризуються здатністю відштовхувати вологу завдяки застосуванню гідрофобних речовин або покриттів на поверхні волокон. Такі тканини здатні утримувати воду на поверхні у вигляді крапель, не допускаючи проникнення

вологи всередину, що робить їх особливо цінними для захисту від дощу та інших вологих умов. Донедавна для цієї мети використовували полімери з довгими перфторалкільними ланцюгами через сильну гідрофобність перфторалканів; крім того, хороша олеофобність цих сполук також призводить до властивостей проти забруднення чи проти утворення плям. Проте водовідштовхувальна здатність тканини залежить не лише від хімічного складу її зовнішньої поверхні, а й від її текстури, яка контролює її шорсткість і кількість повітря, що утримується в тканині під час контакту з водою[4].

Водозахисна тканина – це спеціальний текстильний матеріал, призначений для відштовхування води, гарантуючи, що він залишається непроникним для вологи. Цю тканину часто виготовляють із комбінації синтетичних волокон і покриттів. Волокна можуть включати поліестер, нейлон або поліпропілен, тоді як водонепроникні покриття зазвичай отримують з поліуретану або політетрафторетилену. Ці покриття створюють бар'єр, який перешкоджає проникненню води всередину тканини. Водонепроникні тканини демонструють чудову водостійкість завдяки своїй щільній тканині або структурі з покриттям. Зазвичай вони мають високу міцність на розрив, що робить їх довговічними та здатними протистояти різноманітним умовам навколишнього середовища. Крім того, ці тканини легкі та дихаючі, дозволяючи волозі та парам поту виходити, водночас не пропускаючи воду. Основною функціональною властивістю водонепроникної тканини є її здатність відштовхувати воду та запобігати поглинанню вологи. Крім того, деякі водонепроникні тканини мають додаткові властивості, такі як стійкість до ультрафіолету та повітропроникність.

Водозахисні тканини знаходять широке застосування в різних галузях промисловості. Вони зазвичай використовуються в одязі на відкритому повітрі, наприклад, у плащах, куртках і туристичному спорядженні, щоб забезпечити сухість і комфорт у вологу погоду. Крім того, вони використовуються у виробництві наметів, рюкзаків і спортивного обладнання для захисту від стихії. Ці тканини, як правило, виявляють добру стійкість до

різних речовин, включаючи масла, хімікати та бруд. Водовідштовхувальні покриття також запобігають вбиранню рідини, полегшуючи чищення та догляд за тканиною[5].

УФ-захисні тканини – це тканини, які часто виготовляють із синтетичних волокон, таких як поліестер, поліамід або поліпропілен. Ці волокна можна обробити або покрити спеціальними хімічними речовинами, які мають властивості поглинання або блокування УФ-випромінювання. Однією з поширених хімікатів, які використовуються для захисту від ультрафіолету, є діоксид титану (TiO_2), який відомий своєю здатністю поглинати та розсіювати ультрафіолетове випромінювання.

Тканини, що захищають від ультрафіолетового випромінювання, як правило, мають такі ж фізичні властивості, як і аналоги, які не є ультрафіолетовими. Вони можуть бути легкими, дихаючими та міцними, забезпечуючи комфортне носіння в різних умовах. Основна функція тканин із захистом від УФ-випромінювання – зменшити проникнення шкідливого УФ-випромінювання через тканину. Хімічні речовини, нанесені на волокна, поглинають або відбивають УФ-промені, захищаючи шкіру користувача від потенційного пошкодження. Захист від УФ-випромінювання зазвичай оцінюється значенням UPF (фактор захисту від ультрафіолетового випромінювання), причому більший UPF вказує на кращий захист[6].

Вогнестійкі тканини — це спеціальна категорія текстильних матеріалів, створених для захисту від займання, зменшення поширення полум'я та забезпечення посиленого захисту від пожежі. Дані тканини зазвичай виготовляються з різних натуральних або синтетичних волокон, таких як бавовна, вовна, поліестер або нейлон. Для додання вогнестійкості в тканину під час виготовлення вводять хімічні добавки. Ці добавки можуть включати сполуки галогенів (наприклад, бром, хлор), сполуки на основі фосфору, сполуки на основі азоту або неорганічні сполуки, такі як триоксид сурми. Вогнестійкі тканини значною мірою зберігають фізичні властивості своїх основних волокон. Вони можуть зберігати такі якості, як м'якість,

довговічність і гнучкість, що робить їх придатними для різних застосувань, водночас пропонуючи вогнестійкі властивості. Основною функціональною властивістю вогнезахисних тканин є їх здатність пригнічувати або затримувати горіння під час впливу відкритого вогню або джерела тепла. Вони досягають цього, вивільняючи газу, що перешкоджають полум'ю, або утворюючи захисний шар під час дії вогню, таким чином обмежуючи поширення полум'я[7].

Антибактеріальні та антиалергенні тканини часто виготовляються шляхом включення або покриття текстильних волокон хімічними сполуками, відомими своїми антимікробними та гіпоалергенними властивостями. Деякі поширені речовини, які використовуються в цих тканинах, включають наночастинки Ag, ZnO, іони Cu та різні органічні сполуки з антимікробною функціональністю.

Ці тканини зазвичай зберігають фізичні характеристики своїх основних матеріалів, таких як бавовна, поліестер або інші натуральні або синтетичні волокна. Додаткова хімічна обробка може незначно вплинути на такі фактори, як міцність на розрив, гнучкість і текстуру, але загалом вони зберігають бажані властивості для комфорту та довговічності. Основними функціональними властивостями цих тканин є їхня здатність пригнічувати ріст бактерій, грибків та інших мікроорганізмів, таким чином знижуючи ризик бактеріального зараження та запобігаючи розвитку алергенів, які можуть викликати алергічні реакції у деяких людей. Антибактеріальні та антиалергенні властивості цих тканин можуть по-різному взаємодіяти із зовнішніми речовинами. Хоча вони можуть протистояти росту шкідливих мікроорганізмів, вони не можуть бути повністю захищені від усіх хімічних агентів[8].

Стійкі до запаху тканини – це тканини, які обробляють різними хімічними сполуками, такими як наночастинки срібла, солі четвертинного амонію (наприклад, триклозан) або природні антимікробні агенти, такі як олія чайного дерева. Ці хімічні агенти вбудовані або нанесені на волокна тканини, забезпечуючи бажані властивості контролю запаху. Також ці тканини

зберігають свою м'якість, повітропроникність і загальне відчуття, незважаючи на обробку антимікробними засобами. Хімічна обробка суттєво не змінює зовнішній вигляд або текстуру тканини. Основною функціональною властивістю цих тканин є їх здатність пригнічувати ріст і розмноження мікроорганізмів, що викликають запах. Обмежуючи ріст мікробів, ці тканини зменшують утворення неприємних запахів, що робить їх ідеальними для одягу чи текстильних виробів, які схильні до утримання поту або вологи. Хімічні речовини, що використовуються в тканинах із стійкими запахами, як правило, стабільні та не взаємодіють несприятливо з іншими речовинами під час звичайного використання[9].

Тканини з електростатичними властивостями виготовляються із синтетичних волокон, що містять велику кількість полімерів, таких як поліестер, нейлон, або певних сумішей з електропровідними волокнами, такими як волокна з вуглецевим покриттям або металеві волокна. Ці електропровідні добавки забезпечують тканинам здатність утримувати або розсіювати електричні заряди. Тканини з електростатичними властивостями мають хорошу механічну міцність, гнучкість і пружність, подібні до звичайних синтетичних тканин. Включення провідних добавок дозволяє тканинам взаємодіяти з електричними полями, що призводить до накопичення або розсіювання статичних зарядів.

Основною функціональною властивістю цих тканин є їх здатність генерувати, накопичувати або розсіювати статичну електрику. Тканини з електростатичними властивостями можуть взаємодіяти з певними речовинами інакше, ніж непровідні матеріали. Завдяки електростатичним силам вони можуть притягувати або відштовхувати дрібні частинки, такі як пил або ворсинки. Крім того, їхня провідна природа може впливати на те, як вони взаємодіють з електронними пристроями, що робить їх придатними для спеціалізованих застосувань, таких як захисна упаковка для чутливої електроніки[10].

1.3 Методи переробки пластику

Переробка пластикових відходів для тканин спеціального призначення включає спеціальні методи, щоб гарантувати, що перероблена полімерна композиція відповідає необхідним властивостям для нанесення на тканини.

Існує два основних підходи до переробки: «переробка у замкнутому циклі» та «переробка у відкритому циклі»[11]. У випадку «переробки із замкнутим циклом» властивості переробленого пластику суттєво не змінюються, і рециклат можна використовувати в тому ж застосуванні, що й первинний матеріал, наприклад переробка від пляшки до пляшки . Як альтернатива, «переробка у відкритому циклі» означає, що властиві властивості переробленого пластику змінюються, і рециклат не може бути використаний для того самого застосування знову. У той же час його можна використовувати для виробництва пластикових виробів для інших застосувань, наприклад, для переробки пляшки до волокна . Доцільність кожного підходу розглядається окремо, оскільки це залежить від різних властивостей, таких як ступінь забруднення певних пластикових відходів, властивості полімеру, а також вимоги до схвалення для конкретного застосування.

Основні технології переробки для відновлення пластикового матеріалу, хімічної сировини, біомаси та газів або енергії з пластикових відходів можна підсумувати таким чином (рис.5):

1. Механічна переробка - переробка пластикових відходів у вторинну сировину без істотної зміни хімічної структури даного полімеру.
2. Хімічна переробка або переробка сировини - деполімеризація даного полімеру та переробка отриманих хімічних компонентів.
3. Фізична переробка - переробка на основі розчинників, що дозволяє відновлювати пластиковий матеріал без зміни хімічної структури певного полімеру.

4. Біологічна або органічна переробка - аеробна або анаеробна обробка біологічно розкладаних пластикових відходів у контрольованих умовах з використанням мікроорганізмів, що призводить до утворення стабілізованих органічних залишків і різних газів.

5. Відновлення енергії - виробництво корисної енергії за допомогою прямого та контрольованого спалювання пластикових відходів[12].



Рисунок 5 – Методи переробки пластикових відходів

Протягом життєвого циклу полімерні матеріали піддавалися впливу різноманітних факторів, зокрема тепла, вологи, УФ-випромінювання, механічного впливу, хімічних речовин, кисню та впливу мікроорганізмів. Ці фактори призводять до деградації полімерних виробів(рис.6). Після завершення експлуатації полімери можуть бути направлені на подальшу обробку з метою відновлення їхньої сировини або використання енергії. Методи переробки включають хімічну або механічну обробку, причому остання може зумовити серйознішу деградацію матеріалів, якщо вони піддаються механічній переробці[13].

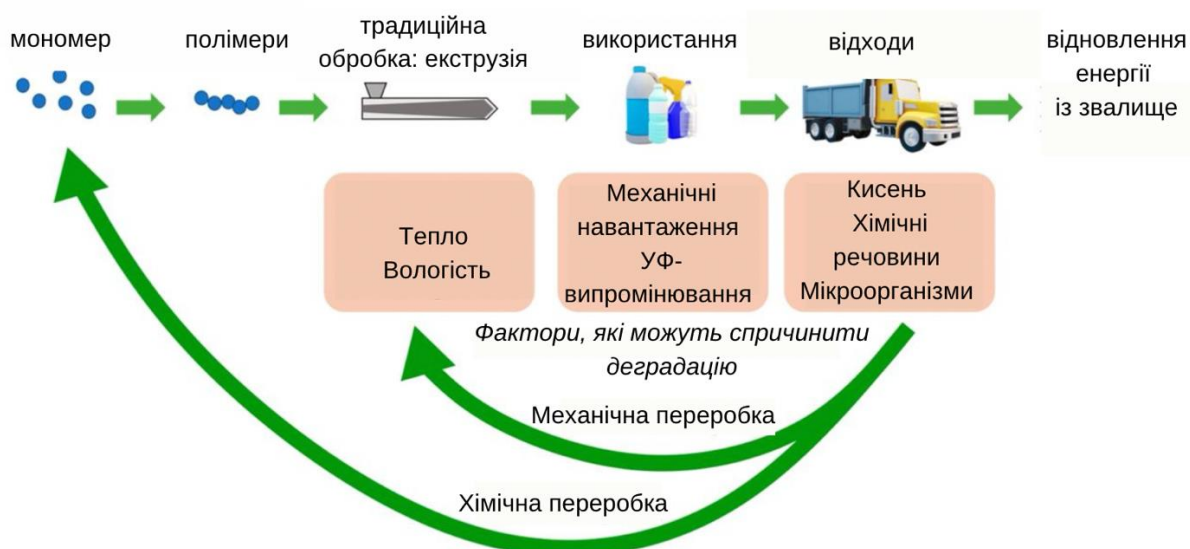


Рисунок 6 - Фактори деградації полімерів у життєвому циклі виробів на їх основі

Механічна переробка являє собою частково змінну комбінацію основних етапів обробки, таких як збір, ідентифікація, сортування, подрібнення, промивання, агломерація та компаундування (рис. 7). Основна перевага механічної переробки полягає в тому, що цей підхід підходить для децентралізованої реалізації. Заводи механічної переробки прості та недорогі, мають відносно низьку потребу в енергії та ресурсах порівняно з установками, необхідними для хімічної або фізичної переробки. Наразі оптимізація вищезазначених етапів обробки дозволяє частково покращити властивості вихідного матеріалу (пластикового рециклату), такі як запах, чистота, колір тощо. Однак, загалом, якість пластикового рециклату сильно залежить від якості та чистоти вхідного потоку (пластикові відходи) [12].

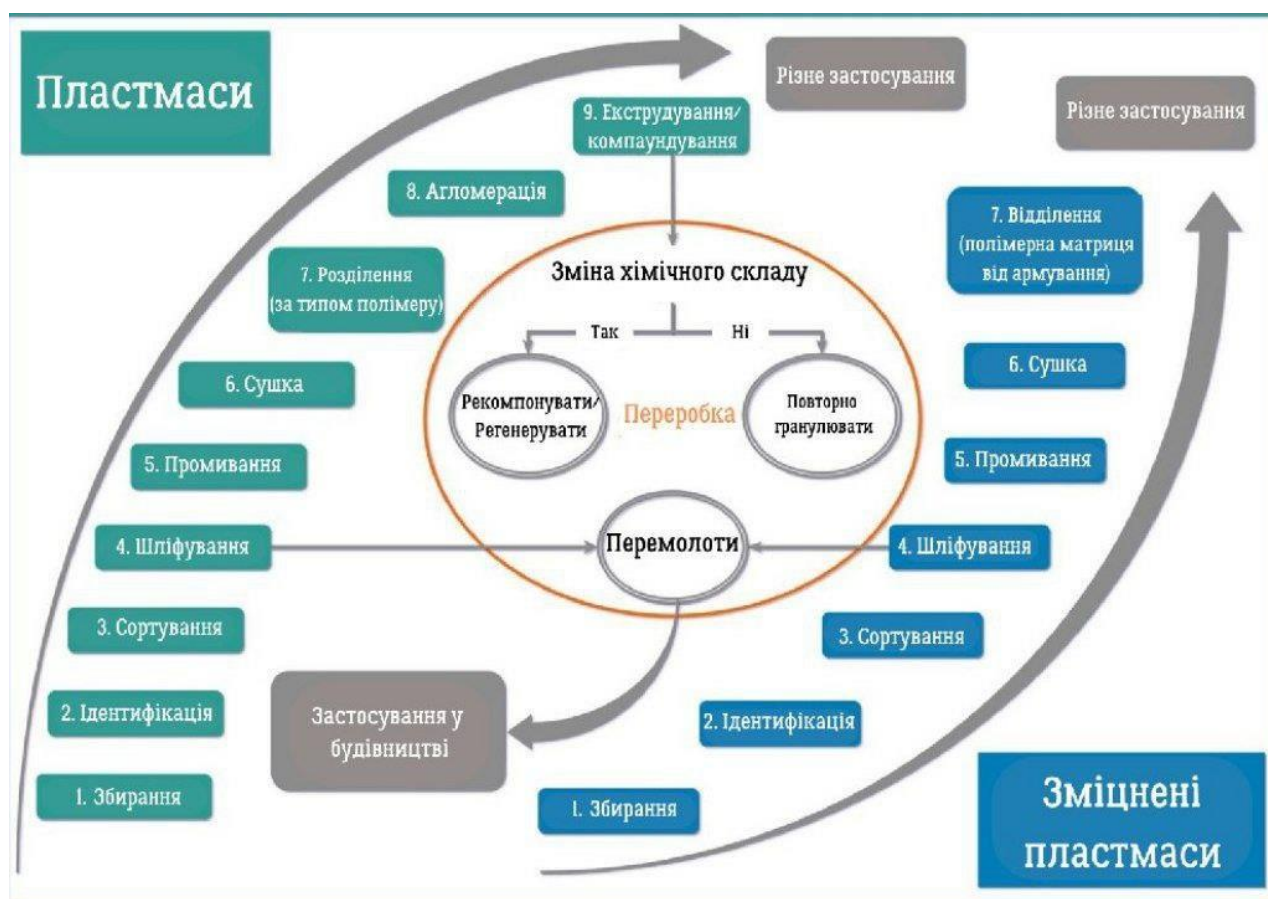


Рисунок 7 - Основні етапи механічної переробки

Механічна переробка може призвести до зниження молекулярної маси та механічних властивостей переробленої полімерної композиції, що може вплинути на міцність та довговічність тканин. Однак за допомогою правильного оброблення і змішування можна досягти задовільних властивостей для певних тканин спеціального призначення[14].

Іншим способом переробки відходів з пластику є хімічна переробка, під час якої полімери деполімеризуються в контрольованих умовах, а відновлені хімічні компоненти використовуються як вихідна сировина для виробництва нових матеріалів [15]. На відміну від механічної переробки, якість вторинної сировини, досягнутої в кінці хімічної переробки, можна порівняти з якістю первинних пластикових матеріалів. Як наслідок, такий підхід дозволяє використовувати перероблені матеріали в сферах застосування з високими вимогами до схвалення, наприклад, у медицині. Хімічна переробка в

основному використовується для переробки ПЕТ, ПЕ та ПП після споживання [12].

Хімічна переробка є загальним терміном для кількох процесів, які класифікуються на дві основні групи: термоліз і сольволіз [15]. Термоліз включає різні реакції розкладання, викликані різними методами термічної обробки. У результаті цих процесів утворюються вуглеводневі суміші різного складу. Після фракціонування компоненти цих сумішей можна використовувати, наприклад, як сировину в хімічній промисловості [16].

Сольволіз включає хімічно викликані реакції деполімеризації, що відбуваються в розчиннику. Продукти деполімеризації, мономери, потім можна полімеризувати разом із первинними сировинними компонентами та далі переробляти на пластмаси. Основними недоліками хімічної переробки є високі витрати енергії, складні переробні установки та використання спеціальних розчинників. Через складність технології процеси хімічної переробки встановлюються централізовано та здійснюються хімічною промисловістю, що виробляє первинний пластик [16].

Підсумовуючи, механічна та хімічна переробка є найбільш часто використовуваними та обговорюваними підходами до переробки. Основні переваги та недоліки обох підходів узагальнено в таблиці 2. Доцільність використання будь-якого з методів або їх комбінації слід визначати залежно від сфери застосування отриманого відновленого матеріалу.

Незважаючи на динамічний розвиток обох підходів, існує дефіцит даних, особливо щодо багаторазової переробки та екологічної оцінки обох підходів. Хімічна переробка може створити високоякісні мономери, придатні для створення нових полімерів з властивостями, схожими на матеріали першої якості.

Цей процес дозволяє отримати перероблені полімерні композиції з більш однорідними властивостями, що краще підходять для тканин спеціального призначення.

Таблиця 2 – Властивості механічної і хімічної переробки

Властивості	Механічна переробка	Хімічна переробка
Технічні вимоги до інфраструктури / процесів	Низькі	Високі
Можливість децентралізованої обробки	Можлива	Зараз технічно викликає труднощі та нерентабельна
Вимога до якості вхідного потоку	Висока	Низька - Середня
Якість вихідного матеріалу	Залежить від якості вхідного матеріалу	Дуже висока
Можливість множинної переробки	Обмежена	Можлива
Використання у промисловості	Висока	Середня
Вартість	Низька	Висока

Фізична переробка у порівнянні з вищезазначеними підходами відновлення полімерів за допомогою розчинників без зміни їх хімічної структури є відносно новою технологією. Під час цього процесу попередньо механічно оброблені пластикові відходи розчиняються у відповідному розчиннику та піддаються ряду етапів очищення. У результаті необхідні полімери відокремлюються від добавок і небажаних речовин і відновлюються без зміни молекулярної структури. Вихідний матеріал являє собою осаджений полімер, який можна повторно використовувати в переробці пластмас.

В даний час фізична переробка використовується для переробки ПП, ПЕ або ПС і різних бромованих вогнестійких пластмас з різного роду відходів або багатошарових плівок, що складаються з ПЕ і ПА або ПЕ, ПЕТ і етиленвінілового спирту, що слугує як кисневий бар'єр. Ефективність процесів на основі розчинників сильно залежить від розчинності даного полімеру в

певному розчиннику та взаємодії між розчинником і полімером. Фізична переробка вимагає складного технічного обладнання[17]. Переробка на основі розчинників може призвести до зниження молекулярної маси полімерної композиції, що вплине на механічні властивості тканин. Однак, з врахуванням контролю процесу, можна досягти задовільних властивостей для спеціальних тканин.

Іншим способом переробки пластику є біологічна переробка(рис.8). Згідно з міжнародним стандартом ISO 15270, аеробна або анаеробна обробка біорозкладаних пластикових відходів за допомогою мікроорганізмів, таких як бактерії або гриби, називається біологічною або органічною переробкою [18]. У той же час біологічна переробка не виробляє пластиковий матеріал, який можна безпосередньо переробити. Під час цього процесу пластикові відходи розкладаються на стабілізовані органічні залишки, вуглекислий газ і воду в присутності кисню. За відсутності стабілізованих киснем органічних залишків утворюються метан, вуглекислий газ і вода [19,20]. Ферментативна обробка є однією з підкатегорій біологічної переробки і також називається біопереробкою. У цьому випадку цілеспрямована деградація пластикового компонента здійснюється за допомогою мікроорганізмів. Зараз цей підхід в основному використовується для переробки ПЕТ [21], або змішаного текстилю [22]. Біорозкладання може знизити молекулярну масу полімеру, впливаючи на міцність та довговічність тканин. Однак цей підхід пропонує більш екологічну обробку відходів та може підходити для певних застосувань, де біорозкладання є пріоритетом.

Альтернативним варіантом утилізації полімерних відходів є процес відновлення енергії. Рекуперація енергії означає виробництво тепла, пари або електроенергії з використанням пластикових відходів замість первинних ресурсів викопного палива.

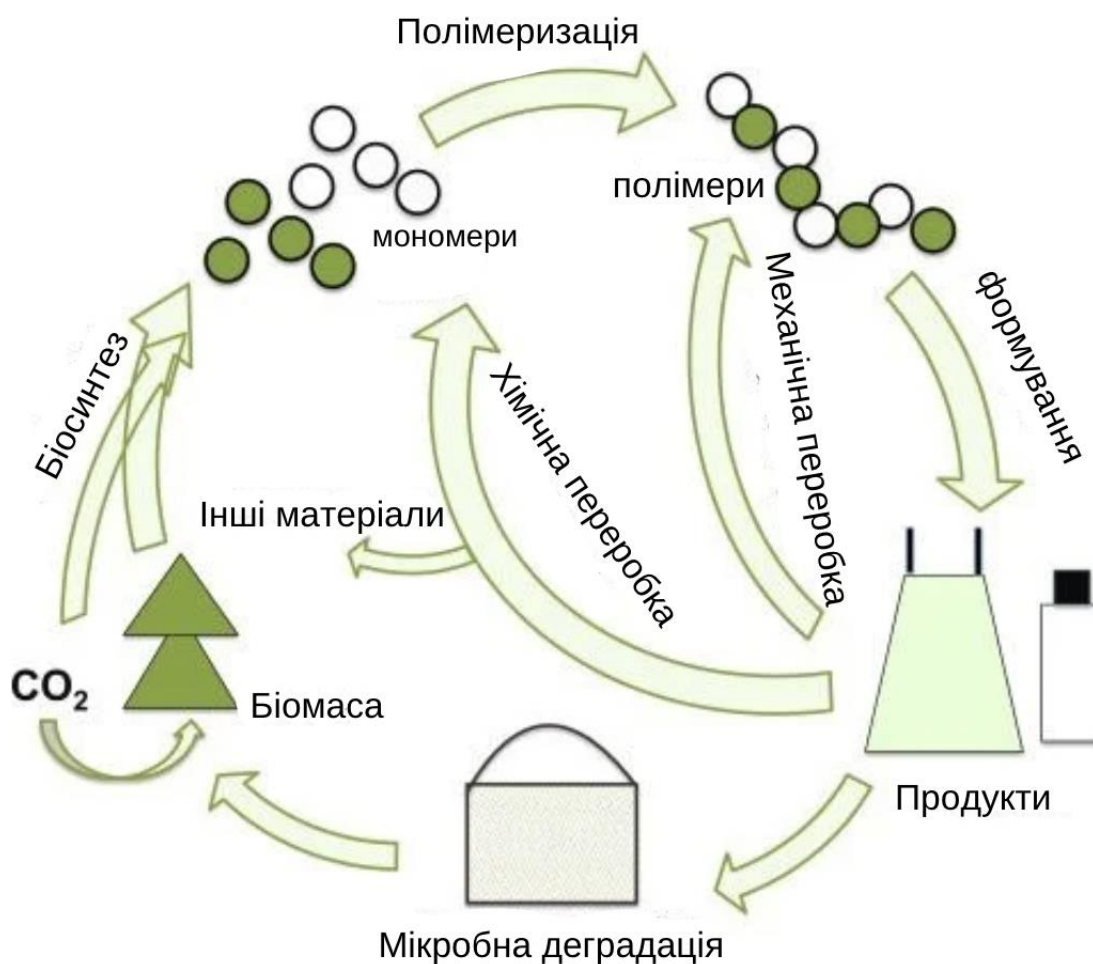


Рисунок 8 - Схематичне зображення біологічної переробки

Пряме спалювання або спільне спалювання пластикових відходів у муніципальних сміттєспалювальних заводах, які працюють відповідно до нормативних вимог щодо викидів і золи, використовуються для відновлення енергії. Подібним чином, як і у випадку біодеградації, відновлення енергії з пластикових відходів не виробляє жодного пластику чи полімеру, який можна безпосередньо переробити як рециклат.

Однак відновлену енергію можна використовувати для виробництва пластмас. Найважливішим параметром вхідного потоку є теплотворна здатність. Оскільки більшість пластикових відходів є вуглеводневими за своєю природою, вони мають високу теплотворну здатність.

Рекуперация енергії відіграє значущу роль у відновленні ресурсів та зниженні негативного впливу пластикових відходів на навколишнє середовище. Цей процес передбачає перетворення пластикових відходів у тепло, пару або електроенергію, використовуючи їхню теплотворну здатність. Головним параметром є вміст теплотворної енергії у вихідному потоці. Оскільки пластик в основному складається з вуглеводнів, його теплотворна здатність є високою.

Процес рекуперації енергії забезпечує використання пластикових відходів як альтернативного джерела енергії для виробництва пластмас. Однак важливо враховувати, що цей метод не сприяє виробництву повторно переробного пластику, який можна використовувати як рециклат. Необхідно зосередити увагу на розробці специфічних методів переробки для полімерних композицій, для створення більш ефективного та сталого підходу до управління пластиковими відходами.

Якщо підсумувати основні питання цього розділу, то підходи до механічної, хімічної та фізичної переробки представляють різні процеси відновлення матеріалів. Навпаки, біологічна переробка та відновлення енергії стосується біодеградації пластикових відходів і виробництва енергії без прямого відновлення матеріалу.

Таблиця 3 підсумовано підходи до переробки та відповідних вихідних матеріалів. Окрім фізичної переробки, усі вищезазначені підходи стандартизовані на міжнародному рівні в ISO 15270 [17].

Найпоширеніші методи переробки полімерів є хімічні та механічні методи. Механічна переробка є кращою, якщо відомий склад полімерних відходів [23]. З іншого боку, хімічна переробка полімерів утворює рециклат, який можна повторно використовувати в процесі полімеризації.

Таблиця 3 – Узагальнена характеристика методів переробки [12].

Підхід до переробки	Процес	Вихід
1	2	3
Біологічний (органічний)	- Аеробна (компостування) або анаеробна (переварювання) обробка біорозкладаних пластикових відходів у контрольованих умовах з використанням мікроорганізмів (бактерій і грибків); - Специфічне розкладання полімеру за допомогою ферментів.	- у присутності O_2 : стабілізовані органічні залишки, CO_2 та H_2O - за відсутності O_2 : стабілізовані органічні залишки, CH_4 , CO_2 та H_2O ; - хімічна сировина.
Енергетичний	Виробництво корисної енергії шляхом прямого та контрольованого спалювання	Гаряча вода, пара та/або електрика
Фізичний	Селективне розчинення пластмас у розчиннику без зміни структури полімеру	Відновлені полімери вибраного типу без зміни молекулярної структури
Механічний	Механічна переробка пластикових відходів у вторинну сировину або продукти без істотної зміни хімічної структури пластику	Перероблений пластик: - повторно подрібнити; - повторно гранулювати та повторно регенерувати.

Закінчення таблиці 3

1	2	3
Хімічний	<ul style="list-style-type: none"> - Піроліз; - Газифікація; - Рідкогазове гідрування; - Гідроліз; - Амоноліз: дія аміаку на ПЕТ в середовищі етиленгліколю; - Метаноліз: розкладання ПЕТ метанолом при високих температурах і високому тиску; - Гліколіз: молекулярна деградація ПЕТ полімеру гліколями в присутності каталізаторів переестерифікації. 	<ul style="list-style-type: none"> - Карбонізоване вугілля, синтез-газ і рідкі вуглеводневі масла (піролізна нафта); - Синтетичний газ з високою теплотворною здатністю (CO, H₂) і вугілля (можна спалювати безпосередньо або використовувати для синтезу таких продуктів, як метанол або аміак); - Високонасичені паливні продукти; - гідроліз постспоживчої ПЕТ терефталевої кислоти і етиленгліколю (ЕГ); - зазвичай реакція ПЕТ з водними розчинами первинних амінів; - Діаміди; - Терефталамід; - Диметилтерефталат і етиленгліколь.

Проаналізувавши дані способи переробки можна стверджувати що найкращими методами є поєднання хімічного та механічного способів, адже це максимально доцільно для отримання полімерної композиції з пластикових відходів і подальшого використання у тканинах спеціального призначення.

2 ОБ'ЄКТИ ТА МЕТОДИ ДОСЛІДЖЕНЬ

2.1 Об'єкти досліджень

Об'єктом дослідження є полімерна композиція на основі відходів. Предметом дослідження - процес розробки та використання полімерної композиції для тканин спеціального призначення.

Для розробки покриття для нанесення на тканини спеціального призначення було використано пластикові відходи, а саме, для використання їх у якості основної полімерної складової. Дана наукова розробка була створена і впроваджена на базі кафедри хімії та хімічної інженерії.

Існує чимало варіацій пластикових відходів для отримання полімерної композиції (поліетилен, поліпропілен, полістирол, полівінілхлорид, поліетилентерефталат).

Поліетилен $[CH_2-CH_2]_n$ – полімер який, складається з ланцюгового полімеру етилену та виробляється у вигляді поліетилену високої щільності (HDPE), поліетилену низької щільності (LDPE) і поліетилену лінійної низької щільності (LLDPE). (рис. 9).

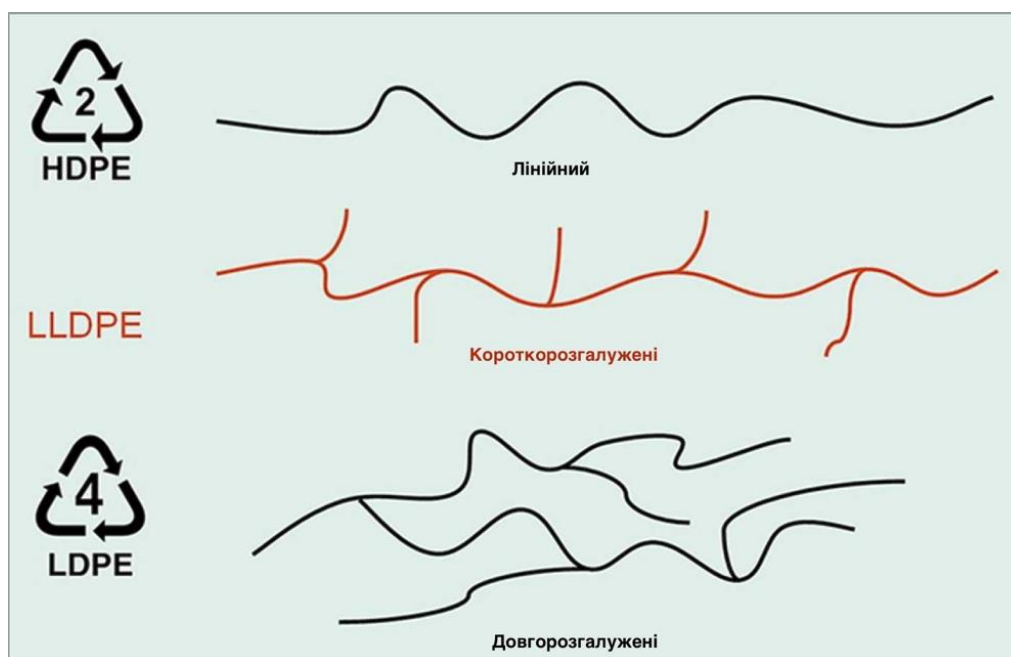
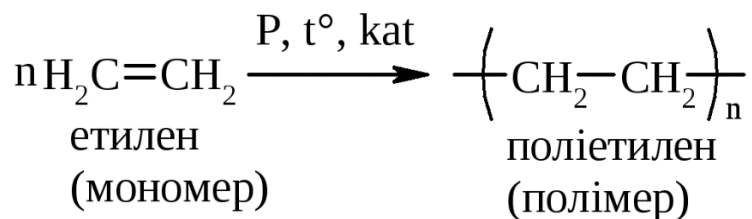


Рисунок 9 – Види розгалуження поліетилену

Поліетилен хімічно синтезується полімеризацією етилену і сильно відрізняється залежно від його бічних ланцюгів, які можна додавати відповідно до виробничого процесу.



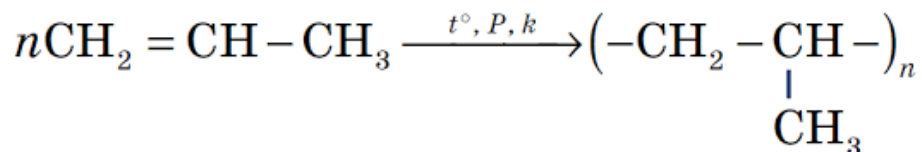
Основа поліетилену повністю складається з одинарних зв'язків С-С, які не є гідролізованими. Таким чином, поліетилен є найбільш інертним серед поліолефінів. Механічні властивості поліетилену невисокі, опір повзучості низький, міцність на розрив низька, ударостійкість хороша. Ударна міцність зростає наступним чином: HDPE < LLDPE < LDPE.

Із збільшенням кристалічності та відносної молекулярної маси зростають і механічні властивості. Стійкість до розтріскування під напругою в навколишньому середовищі, як правило, низька, але вона зростає зі збільшенням відносної молекулярної маси [24,25]. Поліетилен, як інертний алкановий полімер, має хорошу хімічну стабільність. При кімнатній температурі поліетилен може протистояти звичайним розчинам кислоти, лугу або солі, але не може протистояти корозії сильних окислювачів (таких як олеум, концентрована азотна кислота, хромово кислота тощо). Коли температура нижче 60 °С, поліетилен нерозчинний у звичайних розчинниках, але тривалий контакт із галогенованими вуглеводнями, ароматичними вуглеводнями чи аліфатичними вуглеводнями призведе до погіршення його характеристик. Коли температура перевищує 60 °С, поліетилен можна розчинити в невеликій кількості в органічних розчинниках, таких як трихлоретилен, толуол, парафін або мінеральне масло [26].

Поліпропілен є одним із найбільш використовуваних термопластів, оскільки він пропонує вигідне поєднання таких властивостей, як міцність, стійкість до напруги, розриву та згинання, а також стійкість до хімічних речовин, тепла та вологи. Поліпропілен є полімером, що має спрощену

хімічну формулу $(C_3H_6)_n$, де "n" представляє кількість повторюваних одиниць мономеру, пропілену (C_3H_6) .

Реакція утворення поліпропілену виглядає наступним чином:



При полімеризації ПП може утворювати три основні ланцюгові структури. Вони залежать від положення метильних груп (рис.10):

- Атактичний (аПП) – Нерегулярне розташування метильних груп (CH_3) ;
- Ізотактичний (іПП) – Метильні групи (CH_3) , розташовані з одного боку вуглецевого ланцюга;
- Синдіотактичний (sПП) – чергування метильних груп (CH_3) .

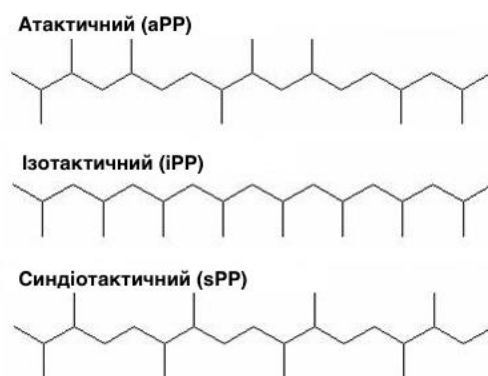


Рисунок 10 - Основні ланцюгові структури ПП [26].

Поліпропілен можна обробити за допомогою найбільш відповідних методів, напр. лиття під тиском, екструзія плівок і волокон, термоформування та роздувне формування[27]. Точка плавлення ПП залежить від типу, зазвичай, гомополімер має температуру плавлення в діапазоні 160-165°C, тоді як статистичний сополімер - 135-159°C.

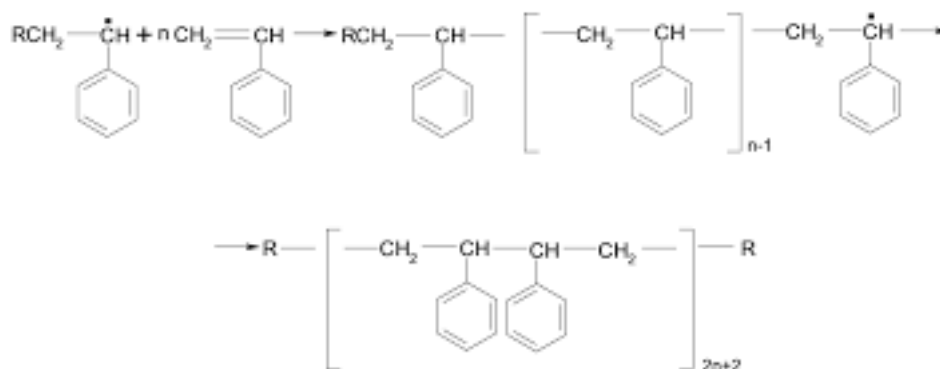
Одною з головних переваг поліпропілену є його низька щільність, яка становить 0,904 - 0,908 г/см³ для гомополімеру та статистичного сополімеру, а для ударного сополімеру - 0,898 - 0,900 г/см³. Ця легкість робить його відмінним вибором для легких та збережених програм. Крім того, важливою

властивістю поліпропілену є його хімічна стійкість до розведених і концентрованих кислот, спиртів і лугів. Поліпропілен також стійкий до дії альдегідів, складних ефірів, алифатичних вуглеводнів та кетонів. Однак, варто зауважити, що його стійкість обмежена у взаємодії з ароматичними і галогеновуглеводними сполуками та окислювачами.

ПП є водовідштовхувальним пластиком, зберігаючи свої механічні та електричні властивості під підвищеними температурами, вологою і навіть під час занурення у воду. Воно також володіє високою стійкістю до розтріскування під дією зовнішнього середовища. Таким чином, ПП знаходить своє застосування в різних галузях промисловості.

Полістирол(ПС) - це легкий та широко використовуваний термопластичний полімер. Його отримують шляхом полімеризації стиролу. Реакція утворення полістиролу відбувається через радикальну полімеризацію мономерів стиролу за участю каталізаторів, зазвичай пероксидів або азодіамінів, при підвищенні температури та тиску.

Реакція утворення полістиролу виглядає наступним чином:



Полістирол легко переробляється, що робить його популярним для формування різноманітних виробів методом вприскування або лиття під тиском. Також можливі інші методи обробки, включаючи витягування, термоформування та екструзію.

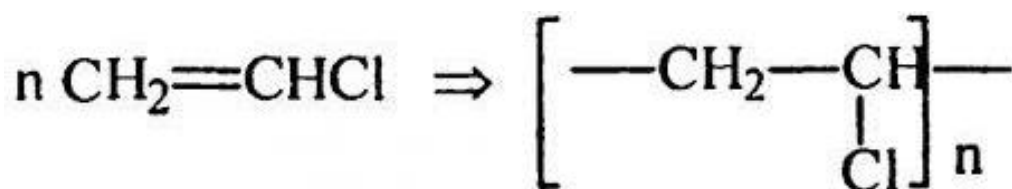
Температура плавлення полістиролу зазвичай становить близько 240-260°C, що робить його відносно легким для обробки при високих температурах.

Полістирол має низьку щільність, приблизно 1,04 г/см³, що робить його одним із легких пластичних матеріалів.

Фізико-хімічні властивості полістиролу включають добру механічну міцність, стійкість до багатьох хімічних речовин та води. Він є ізолюваним від електричного струму та добре термоізолюваним, що дозволяє використовувати його для утеплення та електричних ізоляційних матеріалів.

У зв'язку з цими властивостями, полістирол застосовується для виготовлення упаковки, контейнерів, посуду, будівельних матеріалів, іграшок, ізоляційних матеріалів та інших широкого спектра виробів [28].

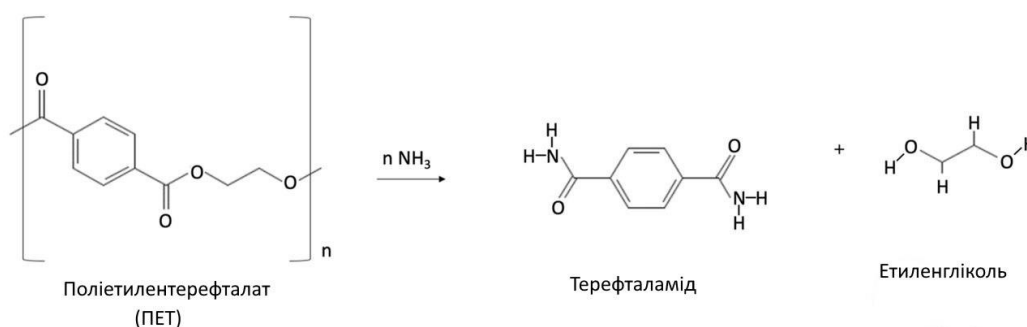
Полівінілхлорид (ПВХ) - пластик із дуже широким застосуванням, включаючи упаковку, контейнери, іграшки, медичні та будівельні матеріали. ПВХ зазвичай можна знайти як у жорсткій, так і в гнучкій формі. Жорсткий ПВХ використовується, серед іншого, як листи, труби та віконні профілі, тоді як гнучка форма ПВХ включає іграшки, канцелярське приладдя та різноманітні медичні деталі, такі як трубки, пакети для крові та арматура. Більшість комерційного ПВХ виробляється за допомогою процесу суспензійної полімеризації або емульсійна полімеризація ПВХ. Утворення полівінілхлориду (ПВХ) відбувається за допомогою хімічної реакції полімеризації вінілхлориду (мономеру).



ПВХ має високу температуру склування (T_c), що обмежує його застосування в регіонах з холодним кліматом. T_c — це температурний діапазон, при якому структура полімеру змінюється з жорсткого скляного матеріалу на м'який (але не розплавлений). Більшість звичайних ПВХ мають T_c в діапазоні від 60°C до 80°C. Це означає, що коли температура застосування

нижча за T_c , особливо взимку, коли температура падає нижче нуля, ПВХ є дуже крихким і, як правило, легко ламається, навіть якщо піддається невеликим навантаженням. Для використання ПВХ при низьких температурах або для перетворення жорсткого ПВХ на гнучкий ПВХ додавання пластифікатора має вирішальне значення для змащування руху ланцюгів ПВХ, щоб ланцюги могли ковзати між собою під час деформації [29].

Поліетилентерефталат - це універсальний термопластичний полімер із високою міцністю та стійкістю. Він належить до сімейства поліестерів і має властивості, які роблять його популярним у різних сферах. ПЕТ виготовляється шляхом реакції між терефталевою кислотою та етиленгліколем.



Реакція виробляє масу ПЕТ, яку можна формувати в різні продукти. Цей полімер схожий на полібутилентерефталат. Основні властивості ПЕТ включають гнучкість, стійкість до ударів, вологи та розчинників. Він має високу міцність, низьку вагу та добрі бар'єрні властивості до газів та вологи. Недоліки ПЕТ включають меншу міцність при ударі та обмежену литтєздатність через повільну кристалізацію. Аморфний ПЕТ чутливий до киплячої води та впливу високих температур. Усупереч обмеженням, ПЕТ застосовується у багатьох галузях, включаючи упаковку, текстиль та автомобільну промисловість. Його властивості можуть бути покращені за допомогою добавок, таких як скловолокно або наповнювачі для покращення міцності та інших характеристик. ПЕТ є перероблюваним та безпечним для контакту з харчовими продуктами. Його використання розглядається в порівнянні з іншими полімерами, такими як ПВХ, ПЕ, залежно від конкретних вимог та застосувань [30].

2.2 Спосіб отримання полімерної композиції

Відходи пластику в полімерній композиції представлені різними видами пластику, такими як поліетилен, полівінілхлорид та поліетилентерефталат. Це стратегічне використання різноманітних матеріалів дозволяє досягти балансу між різними характеристиками (табл.4) і підвищити загальні властивості композиції, такі як міцність, еластичність та стійкість.

Таблиця 4 – Характеристика компонентів полімерної композиції

Назва речовини	Роль	Властивості	Захист
1	2	3	4
Поліетилен (ПЕ)	Компонент, надає структурну міцність та еластичність	Добре розтягується, висока міцність, хімічна стійкість	Міцність та стійкість композиції
Поліетилен-терафталат (ПЕТ)	Надає високу прозорість та міцність	Висока міцність, стійкість до ультрафіолетового випромінювання	Забезпечує прозорість та стійкість матеріалу
Полівінілхлорид (ПВХ)	Надає високу хімічну стійкість	Гнучкий, стійкий до впливу різних хімічних сполук	Покращує стійкість до хімічних факторів та погоди
Бензотриазол	Антиоксидант та стабілізатор кольору, захищає від окислення та УФ-випромінювання	Антиоксидантні та стабілізуючі властивості	Захищає від окислення та ультрафіолетового випромінювання

Закінчення таблиці 4

1	2	3	4
Діоктилфталат	Пластифікатор, надає гнучкість та еластичність композиції	Добре розтягується, гнучкий, стійкий до зношування	Забезпечує гнучкість та оброблюваність композиції
Бутілхінон	Стабілізатор, захищає від окислення та руйнування полімерних ланцюгів	Стабілізація від окислення	Попереджає окислення та руйнування полімерних ланцюгів
Тальк	Наповнювач, підвищує міцність та твердість композиції	Підвищує міцність та твердість	Покращує механічні та структурні властивості

Пластифікатор, у вигляді діоктилфталату, використовується для поліпшення еластичності та гнучкості полімеру. Це дозволяє композиції легше адаптуватися до різних умов і зберігати свої властивості протягом тривалого часу [31]. Антиоксидант відіграє ключову роль у захисті від окислення та процесів старіння. Це допомагає зберігати якість та естетичний вигляд матеріалу протягом тривалого періоду експлуатації [32]. Наповнювач тальку використовується для покращення міцності та механічних властивостей композиції. Це важливо для забезпечення стійкості матеріалу до руйнування під впливом зовнішніх факторів [33].

Емульгатор використовується для стабілізації емульсії та полегшення взаємодії між водою та полімером. Це може бути важливим для деяких застосувань, де вода може впливати на властивості матеріалу [23]. Стеаринова кислота використовується для стабілізації полімерів. Її присутність допомагає

зберігати структурні та хімічні властивості полімеру під час виробництва та експлуатації. Також стеаринова кислота може впливати на в'язкість пластику, що корисно при обробці матеріалу. УФ-стабілізатор (бензотриазол) застосовується для захисту композиції від ультрафіолетового випромінювання, що може впливати на кольорові та структурні характеристики[34]. Введення додатково гідрофобного агента, такого як діоксид кремнію, використовується для поліпшення гідрофобних властивостей матеріалу, що робить його водовідштовхувальним[35]. Цей комплексний підхід до вибору компонентів дозволяє створювати матеріали з бажаними властивостями, відповідаючи вимогам конкретних застосувань.

Віск використовується як змащувальний агент для полімерів. Його присутність полегшує виробництво та подальше оброблення полімерної композиції. Крім того, віск може покращити деякі властивості пластику, такі як стійкість до води або тепла.

Стеарат натрію використовується для полегшення диспергування наповнювачів та інших компонентів у полімерній матриці. Його додавання може зменшити тертя між молекулами полімеру, поліпшуючи оброблюваність та властивості кінцевого пластику. Поліетилентерефталат використовується у вигляді плівки, яка має високу прозорість, міцність та стійкість до ультрафіолетового випромінювання. Використання ПЕТ може бути доречним для створення покриття та захисту тканини, такої як військовий намет. Введення відходів ПЕТ до полімерної композиції для нанесення на тканину має чимало переваг. ПЕТ відомий своєю здатністю захищати від ультрафіолетового випромінювання, що може бути корисним для військових наметів, що потребують стійкості до погодних умов. ПЕТ має високу міцність та стійкість, що може покращити стійкість тканини до руйнування та зношування. Дивлячись на склад даної полімерної композиції, можна зробити висновок, що деякі з компонентів можуть сприяти УФ-захисту, або чинити водовідштовхувальну дію. Основні компоненти, такі як поліетилен,

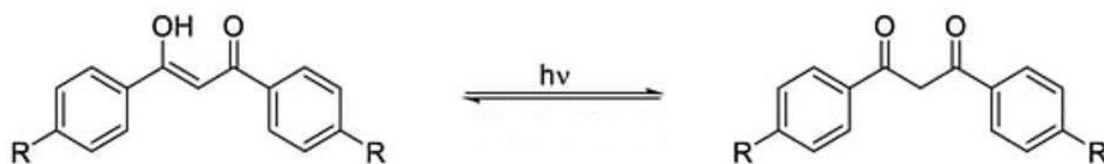
полістирол, полівінілхлорид, мають високу хімічну стійкість гідрофобність до води, що робить їх ефективними у відштовхуванні води.

УФ-стабілізатори відіграють важливу роль у поглинанні шкідливого випромінювання від світла та розсіюванні його у вигляді нешкідливої теплової енергії. Крім того, вони блокують утворення вільних радикалів, які утворюються на ранніх стадіях розпаду. Найпоширенішими промисловими поглиначами ультрафіолетового випромінювання є оксид титану, сажа, бензофенони та триазоли (рис.11) (наприклад, гідроксилбензофенон і гідроксифенілбензотріазол), тоді як найпоширеніші добавки, що нещодавно використовуються для досліджень, включають основи Шиффа та металоорганічні комплекси [37,38].



Рисунок 11 - Структури деяких поширених поглиначів ультрафіолетового випромінювання

Ці добавки мають унікальні характеристики поглинання УФ-променів. Наприклад, добавки, що містять бензофенон, сильно поглинають ультрафіолетове випромінювання в короткохвильовій області через перенесення протону або таутомерну структурну рівновагу. УФ-поглиначі на основі бензофенону мають такі унікальні властивості, як низька вартість, низька токсичність і хороша стійкість до води та кислот [39].



Триазоли мають високі молярні коефіцієнти екстинкції ($5 \times 10^6 \text{ cm}^{-1}\text{M}^{-1}$) і поглинають найбільш руйнівну довжину хвилі світла (280–370 нм), яка бере

участь у деградації полімеру. Збудження бензотриазолів відбувається після поглинання ультрафіолетового світла; потім бензотриазоли розсіюють енергію або через виділення тепла, що включає перенесення водню, або через флуоресцентне випромінювання [38]. Крім того, УФ-поглиначі діють як гасники (Q) триплетного збудженого стану полімерної хромофорної групи (P*), з подальшим виділенням енергії у вигляді нешкідливого тепла [40]. Подібним чином, комплекси металів діють як ефективні гасники УФ-променів завдяки своїм низьким коефіцієнтам збудження та гасять триплетний стан карбонільних груп у поліолефінах [41].



Ці добавки при низькій концентрації 0,5% за масою призвели до значного поліпшення фотостабільності полімерів. Ефект стабілізації, який УФ-поглиначі викликали в полімерах, досліджували за допомогою інфрачервоної спектроскопії, визначення ваги та молекулярної маси та огляду поверхні полімерів [42].

Однією з груп речовин, які можуть мати водовідштовхувальну дію при додаванні до полімерних композицій, є поверхнево-активні речовини або ПАР. Ці речовини можуть покращити вологостійкість полімерів та забезпечити властивості відштовхування води (рис.12).

Деякі типові поверхнево-активні речовини, які можуть бути використані для цієї мети, включають:

1. Перфторовуглеводні, які мають високий ступінь гідрофобності.
2. Силіконові компоненти можуть надавати водовідштовхувальні властивості.
3. Полімери, що містять гідрофобні залишки, можуть покращувати водовідштовхувальні властивості.

4. Наночастинки оксиду кремнію чи титану можуть використовуватися для покращення водовідштовхувальних властивостей.

У дослідженні [42] для методу обробки тканин застосовує екологічно чисті полімерні нанокомпозити, включаючи перфторований акриловий сополімер та наночастинки кремнезему, для забезпечення водовідштовхувальності. Така обробка не лише забезпечує відштовхування води при низьких кутах скошування, але і дозволяє тканинам утримувати гідростатичний тиск до 2,56 кПа, забезпечуючи стійкість до проникнення води. Простота техніки та використання доступних матеріалів роблять цей метод ефективним для великосерійного виробництва гідрофобних тканин, підходячих для різноманітних застосувань, включаючи військові намети.

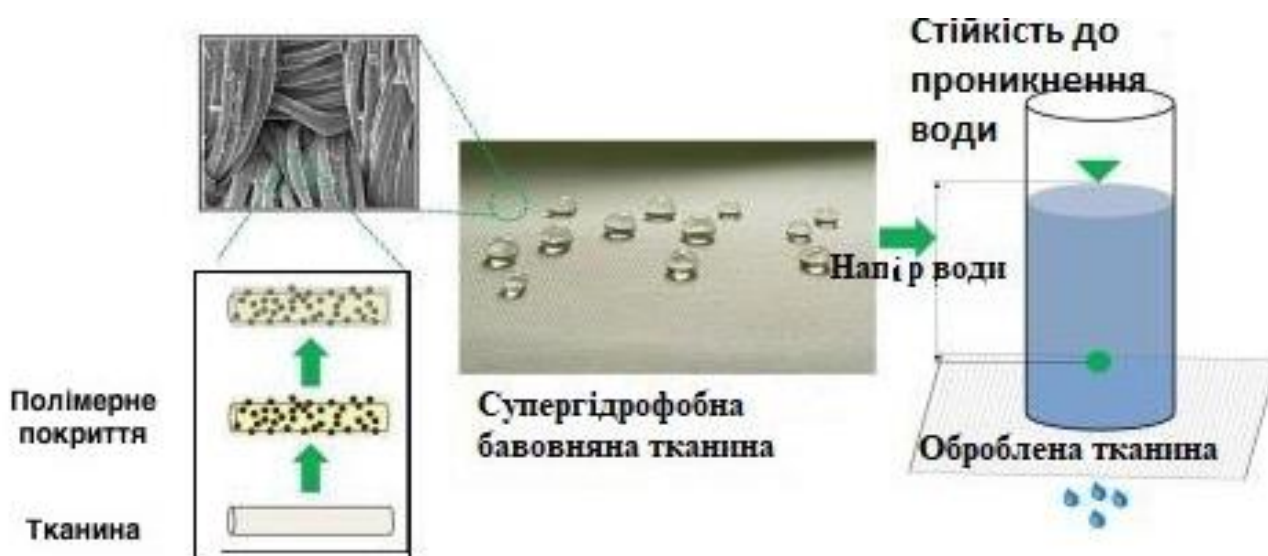


Рисунок 12 - Водовідштовхувальна дія тканини з полімерним покриттям

Розробка технології отримання полімерної композиції (ПК) з пластикових відходів для нанесення на тканини спеціального призначення включає п'ять ключових етапів (рис.13). Кожен з цих етапів вимагає підготовки, точного відбору компонентів та строгого дотримання технологічних процесів.



Рисунок 13– Етапи створення полімерної композиції

Технологічний процес виробництва полімерної композиції з пластикових відходів (рис. 14) представляє інноваційний підхід до використання вторинних ресурсів для створення матеріалів з високими експлуатаційними властивостями. Розглядається важливість вибору відходів пластику, таких як поліетилентерефталат, полівінілхлорид та поліетилен, а також використання допоміжних матеріалів для поліпшення характеристик отриманої композиції.

Етапи технологічного процесу включають додавання і змішування компонентів, нанесення на тканину та сушіння, щоб забезпечити стійкість та високу якість кінцевого продукту.

Результатом є універсальний матеріал, який може знайти застосування в різних областях, включаючи виробництво водонепроникних та зносостійких матеріалів для військового одягу і наметів.

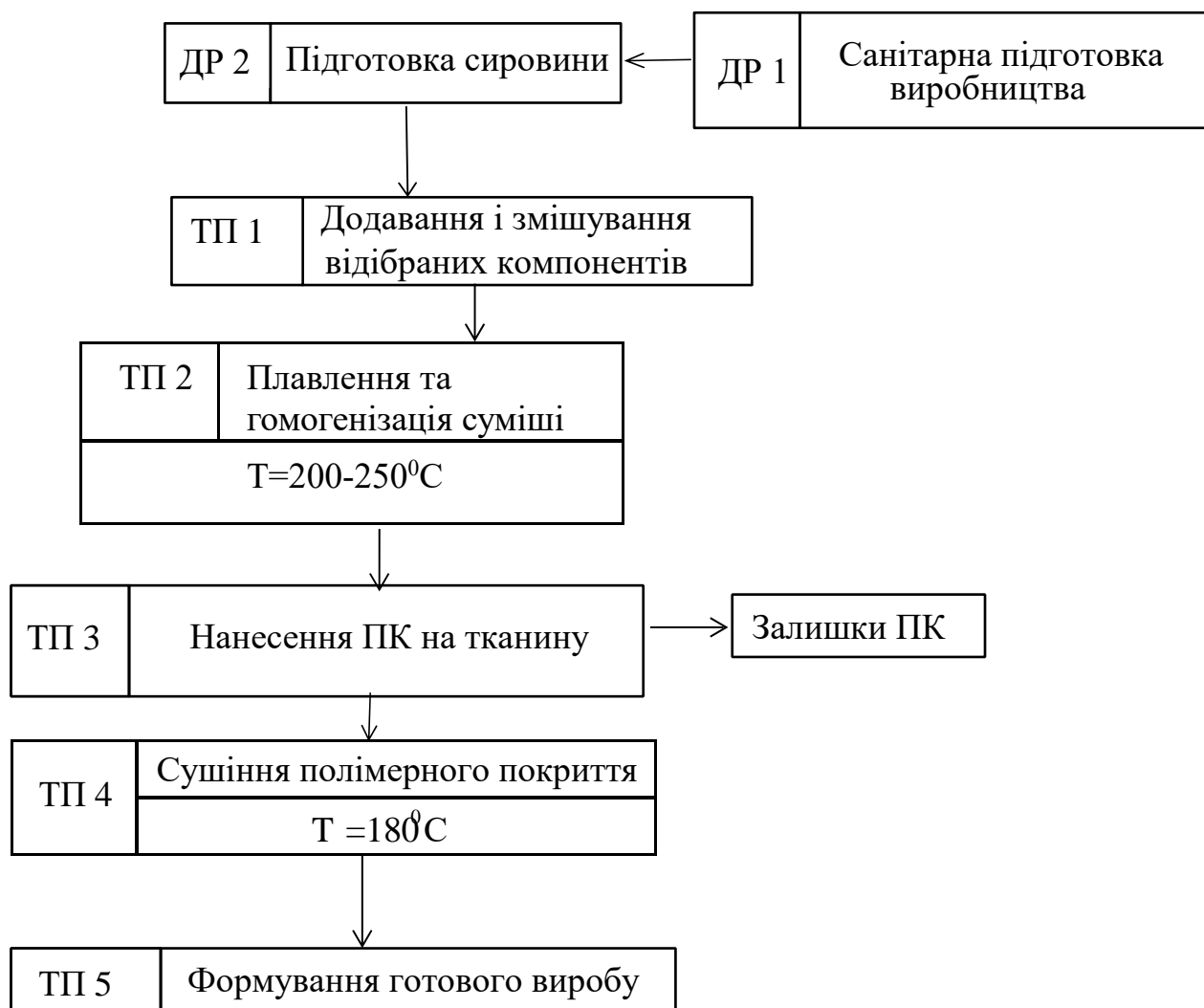


Рисунок 14 – Технологічна схема виробництва полімерної композиції з пластикових відходів

На першому етапі важливо відібрати відходи з високоякісного пластику, що включає ПЕТ, ПВХ та ПЕ. Полімерна композиція, крім основної складової містить ще й ряд допоміжних речовин, які здатні надавати специфічні властивості всій композиції. Для отримання однорідної полімерної композиції наступним етапом є змішування відібраних компонентів.

Цей процес включає нагрівання пластикових відходів при постійному перемішуванні. Температурні режими визначаються для кожного етапу. Плавлення компонентів може відбуватися при температурі 200-250°C, а процес перемішування - при 150°C.

Третім етапом є нанесення отриманої полімерної композиції на тканину, яке відбувається методом імпрегнування. Цей процес включає використання спеціального методу нанесення, що враховує структуру тканини та полімеру. Основна мета - забезпечити максимальну адгезію та утримання полімерної композиції на поверхні тканини. Витрата композиції залежить від її густини та властивостей тканини. Приблизний розхід може становити, наприклад, 100-200 г/м².

Четвертий етап включає процес сушіння, де тканина з нанесеним покриттям утримується в сушильній шафі при температурі 180 °С протягом 15 хвилин. Це забезпечує надійну фіксацію полімерної композиції на тканині та видалення залишкової вологості.

Залежно від вимог застосування, композицію можна наносити на конкретні ділянки тканини, такі як коліна, підлокотники, або на окремі частини військового одягу чи намету. Враховуючи ці етапи, можна забезпечити ефективно отримання та використання полімерної композиції для різних цілей.

2.3 Методи дослідження тканин спеціального призначення

Для об'єктивної та науково обґрунтованої оцінки властивостей цих тканин були використані стандартизовані методи дослідження, відображені у таблицях 7-9. Кожен стандарт передбачає конкретну методологію, визначене обладнання та тривалість експериментів, спрямовані на вивчення водовідштовхування, ультрафіолетового захисту, зносостійкості, міцності на згин, адгезію.

Стандарти для визначення водовідштовхування (табл. 5) включають ASTM D4966 дослідженні [43], ГОСТ 21513-76 і ISO 4920[44]. Ці тести надають можливість визначити ступінь водовідштовхування тканин та їхню здатність захищати від вологи.

Таблиця 5 - Стандарти для дослідження водовідштовхування

Стандарт	Методологія	Обладнання	Тривалість	Показники
ASTM D4966	Визначення водовідштовхуваності тканин	Камера для змінювання вологості, градууючий пристрій	24 години	Вага до та після впливу вологи, градієнт проникнення вологи
ГОСТ 21513-76	Визначення водостійкості захисних покриттів	скляний стакан з дистильованою водою	1-2 години	Оцінка за балами від 1 до 5
ISO 4920	Визначення водовідштовхувальності тканин методом "Test A"	Прилад для розпилення води, стандартні зразки	5 хвилин	Клас водовідштовхувальності

Визначення водостійкості захисних покриттів проводилося згідно ГОСТ 21513-76. Водостійкість – здатність захисних матеріалів не змінювати свій зовнішній вигляд під дією води. Зразки готують відповідно стандартам на продукт. Після нанесення матеріалу на поверхню та після його висушування, пластину з покриттям занурюють на $\frac{2}{3}$ висоти у скляний стакан з дистильованою водою. Після витримування у воді при $20 \pm 2^\circ\text{C}$ на протязі встановленого часу, пластини достають з води та витримують на повітрі протягом 1-2 годин та оглядають зовнішній вигляд та колір плівки. Не допускається поява білих матової плям, відслоєння, бульбашок та інших пошкоджень плівки. Оцінюється ступінь розбризкування за шкалою від 0 до 5.

Дослідження ультрафіолетового захисту (табл.6) проводилося відповідно до ГОСТ 21903-76, ISO 105-B02[45] та ASTM G155[46]. Ці методи дозволяють визначити стійкість тканин до ультрафіолетового випромінювання та зміни в їхній колірній стабільності.

Таблиця 6 - Стандарти для дослідження УФ-захисту

Стандарт	Методологія	Обладнання	Тривалість	Показники
ГОСТ 21903-76	Визначення умовної світлостійкості	апаратах штучної погоди типу ІПК-3, ксенонові лампи	27 годин	Оцінка за балами від 1 до 5
ISO 105-B02	Визначення стійкості кольорів під впливом штучного світла	Світлостійка камера, колірна шкала	72 години	Зміни в колірному спектрі
ASTM G155	Експозиція тканин до ультрафіолетового випромінювання в умовах високої температури та вологості	Камера з ультрафіолетовими лампами, система температурного контролю	Мінімум 200 годин	Зміни у фізичних та хімічних властивостях тканини

Метод (ГОСТ 21903-76) заснований на опроміненні покриттів джерелами штучного освітлення протягом встановленого часу з наступним виявленням зміни кольору, зовнішнього вигляду та блиску. Підготовленні зразки покриттів піддають опроміненню в апаратах штучної погоди типу ІПК-3, під ксеноновими або ртутно-кварцевими лампами або за допомогою інших джерел штучного опромінення. Випробовування проводять з нанесеним та висушеним покриттям, закриваючи його на $\frac{1}{2}$ світлонепроникаючим чорним папером, та поміщають у прилад на певний час. Свої зразки витримували протягом 27 год., що прирівнюється 9-ти місяцям природнього опромінення. Після зняття паперу порівнюють візуально ділянку плівки, яка була закрита. Порівняння ми вели відносно блиску та білизни, які вимірювали до опромінення та після. Покриття вважається стійким до світла, якщо не

відбулось істотних змін кольору і не помічено дефектів поверхні плівки. Допускається незначне пожовтіння плівки.

Стандарти для визначення зносостійкості (табл.7) включають ASTM D4966[47], ISO 12947-2[48]. Ці тести дозволяють визначити ступінь зносу тканин та їхню стійкість до фізичного впливу.

Таблиця 7- Стандарти для дослідження зносостійкості

Стандарт	Методологія	Обладнання	Тривалість	Показники
ASTM D4966	Визначення зносостійкості тканин	Абразивний тестер	До досягнення певного ступеню зносу	Вага втрат, видимі зміни в структурі тканини
ISO 12947-2	Визначення зносостійкості та довговічності тканин	Дробовик, зразки тканин	500 циклів	Визначення зносостійкості за методом Н-18

Дослідження зносостійкості виконувалися за ASTM D4966, ISO 12947-2. Зразки тканин (рис.15) були піддані абразивному впливу на пристрої(рис. 16), вимірювалася вага втрат та визначалася ступінь зносу.



Рисунок 15– Підготовлені зразки ПК для визначення зносостійкості



Рисунок 16- Прилад електровимірювальний ДИТ М (для визначення зносостійкості)

У проведенні дослідження зносостійкості полімерної композиції використовувався спеціальний прилад електровимірювальний, який дозволяв об'єктивно оцінити стійкість матеріалу до зносу. Процедура вимірювань передбачала вирізання кружечків полімерної композиції діаметром 6 см та їх закріплення у спеціальну форму для подальшого оцінювання зносостійкості. Зразки піддавались циклічним впливам, які симулювали знос. Кожен цикл включав в себе вплив агресивних факторів, і вимірювалась кількість циклів, за яку відбувався відмітний знос матеріалу. Найбільше зносостійкою виявилася полімерна композиція, яка утворена сумішшю полімерів. Під впливом циклічних навантажень матеріал розпадався на менші фрагменти, що свідчило про його високу зносостійкість.

Визначення адгезії проводилося згідно ГОСТ 15140-78. Адгезія – здатність захисних лакофарбових матеріалів до прилипання або міцного зчеплення з зафарбованою поверхнею. Від величини адгезії залежать механічні та захисні властивості покриттів. Перед визначенням адгезії покриття, підготовлене у відповідності зі стандартом на випробовуваний лакофарбовий матеріал, повино бути витримано після холодної сушки на протязі 48 год. Крім того, розходження в товщині плівки не повино перевищувати 5 мкм при замірюванні товщини не менше, ніж на двох ділянках поверхні вип-робовуваного зразка.

Для визначення адгезії існує три стандартних методи:

- метод решітчатих надрізів;
- метод паралельних надрізів з використанням липкої стрічки;
- кількісний метод відслоювання.

У роботі використано метод решітчатих надрізів. Зразки готуються згідно стандарту. Після нанесення надрізів для усунення відслоївшихся шматочків використовуємо м'яжку кість. Оцінюють адгезію за чотирьохбальною шкалою.

Один бал ставиться, якщо краї надрізів повністю гладкі, відсутні ознаки відслоювання ні в одному квадраті решітки.

Два бали, коли є незначні відслоювання покриття у вигляді дрібних лусочок у ділянках перетинання ліній решітки. Пошкодження спостерігається не більше, ніж на 5% поверхні решітки.

Три бали – часткове або повне відслоювання покриття вздовж ліній надрізів решітки або у ділянках їх перетинання. Пошкодження спостерігається не менш, ніж на 5% та не більше, ніж на 35% поверхні решітки.

Чотири бали – якщо спостерігається повне відслоювання покриття або часткове, яке перевищує 35% поверхні решітки.

За результат приймають значення адгезії у балах, яке відповідає більшості співпадаючих значень, що визначаються на поверхні двох зразків; при цьому розходження не повино перевищувати 1 бал.

Випробування покриттів на згин (згідно з ГОСТ 6806-73) є методом для оцінки гнучкості матеріалу, де гнучкість розглядається як властивість, протилежна хрупкості. Основна ідея полягає у визначенні мінімального діаметру стержня, при згинанні на якому покриття не руйнується.

Для проведення цього випробування використовують стержні різних діаметрів, починаючи від 1 мм і закінчуючи 20 мм, з можливістю використання і стержнів більшого розміру (25, 30, 35, 40, 45 та 55 мм). Випробовуваний матеріал наноситься на пластівки з фольги товщиною 0,25-0,31 мм, шириною 20-50 мм та довжиною 100-150 мм. Після підготовки та висушення пластівки піддають згинанню на стержнях певного діаметру. Результатом випробування вважається значення мінімального діаметру стержня (в мм), на якому покриття залишається непошкодженим.

3 ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНИЙ РОЗДІЛ

3.1 Дослідження властивостей полімерних композицій

Як було зазначено в розділі 2.2 полімерна композиція містить як основний компонент, який являє собою полімерну складову, так і ряд допоміжних. На попередньому етапі було важливо встановити вплив складових на показники (захист від ультрафіолетового випромінювання, зносостійкість та водовідштовхувальні властивості, адгезія та міцність на згин), тому було обрано відповідні склади композиції(табл.8).

Таблиця 8 - Склади полімерних композицій

ПК	Склад	Пластифікатор	УФ-Стабілізатор (концентрація)	Діоксид Титану (%)	Інші Компоненти
1	Полівінілхлорид, поліетилен	1:1	0,5%	10	Віск стеарату натрію, Стеаринова кислота
2	Полівінілхлорид, поліетилен, поліетилентерефталат	1:1,5	1%	20	
3	Полівінілхлорид, поліетилентерефталат, поліетилен	1:1,3	1%	15	

Проведено вимірювання ультрафіолетового захисту (від 1 до 5 балів), водостійкості (від 0 до 100 балів), зносостійкості (цикли Мартіндейла), адгезії (0-4 бали) та міцності на згин (мм).

Дані дослідження проводилися згідно методик описаних у розділі 2.3. Отримані результати (рис.17-21) дозволяють оцінити та порівняти властивості цих полімерних композицій для подальшого використання у текстильній промисловості чи інших галузях.

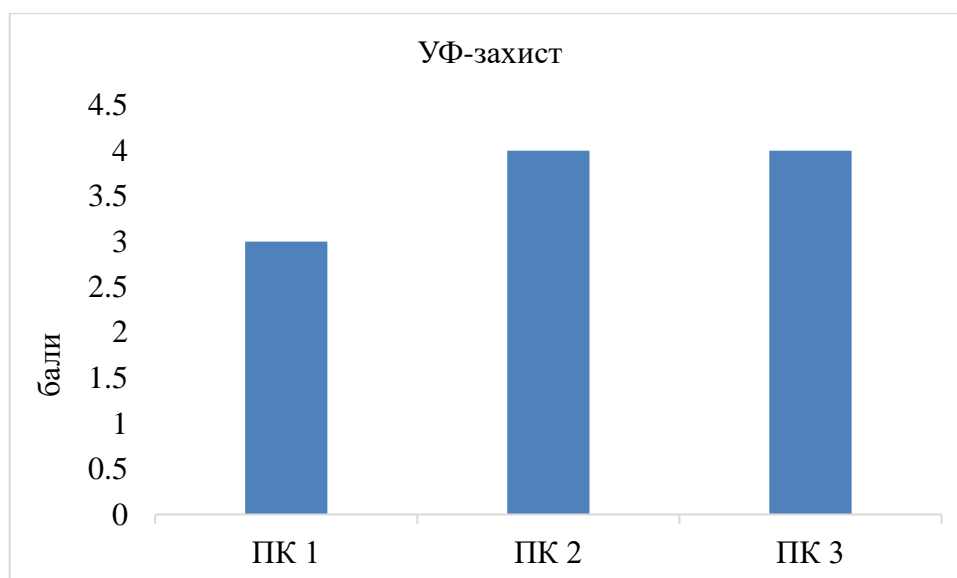


Рисунок 17- Дослідження УФ-захисту для ПК

Згідно з рисунком 17 на ультрафіолетовий захист для отриманої полімерної композиції впливає вид пластикових відходів, а також співвідношення полімеру до пластифікатора. Стійкість до ультрафіолетового випромінювання у полімерної композиції зменшується при меншій кількості полімерів, а також при зменшенні кількості пластифікатора у покритті. При введенні у ПК більшої кількості УФ- стабілізатора захист до ультрафіолету випромінювання підвищується.

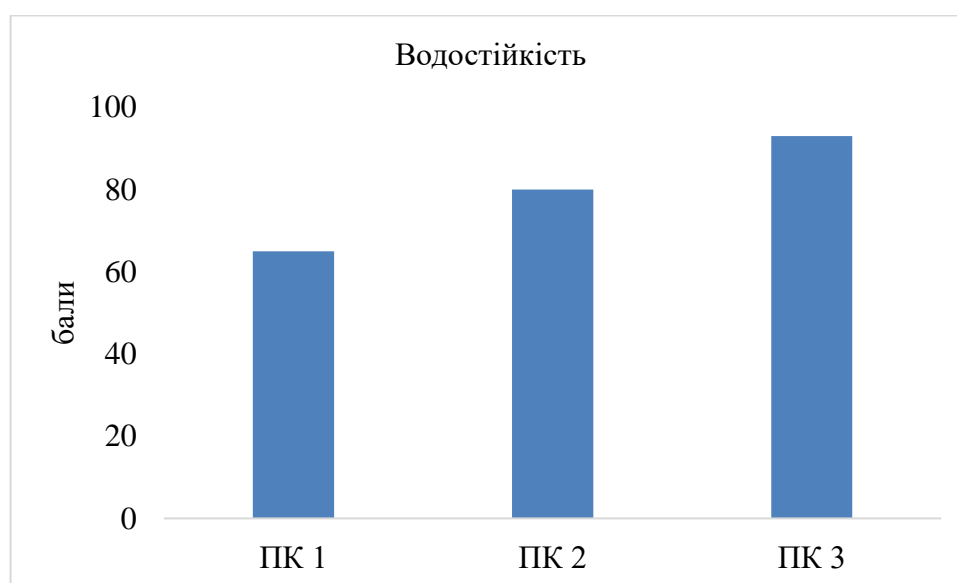


Рисунок 18 - Дослідження водостійкості для ПК

На водостійкість полімерної композиції істотно впливає вміст наповнювача. Чим більше співвідношення полімеру до пластифікатора, тим краще проявляється водозахисна дія. Найкращу водостійкість виявляє ПК 2 та ПК 3, про що свідчить, що суміш полімерних відходів дає кращі показники відштовхуваної дії.

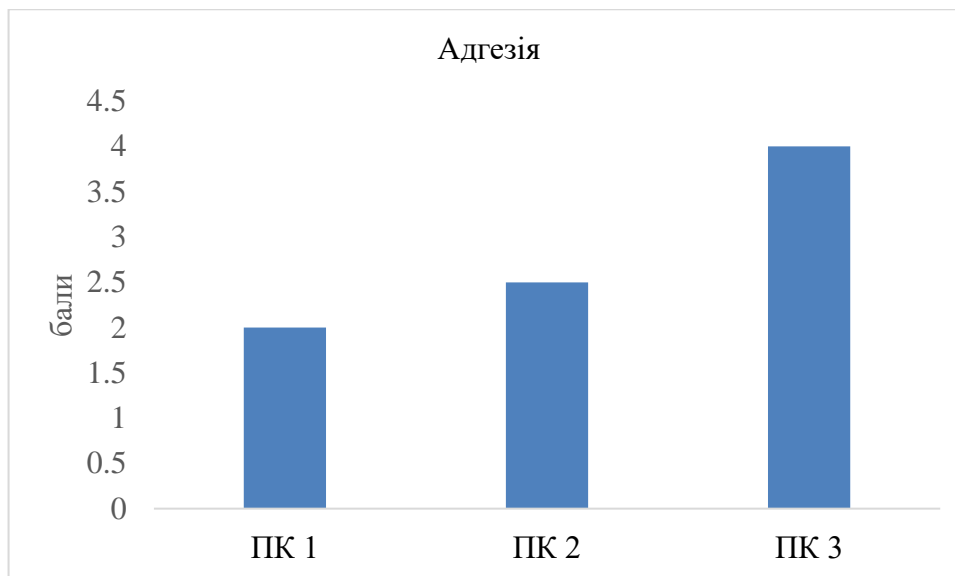


Рисунок 19 - Дослідження адгезії для ПК

Згідно рисунку 19 найкращі адгезійні властивості проявляє ПК 3. Звідси слідує, що вміст наповнювача та кількість пластифікатори істотно впливає на адгезійні властивості.

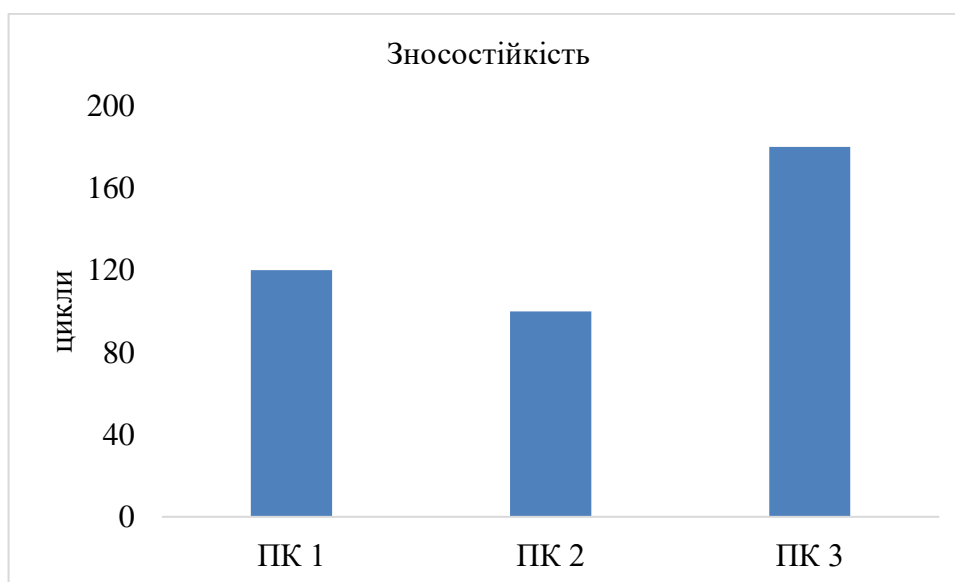


Рисунок 20 - Дослідження зносостійкості для ПК

Проаналізувавши дані з рисунку 20, можна дійти висновку: чим менший вміст наповнювача, тим краще зносостійкість композиції. Чим більше вміст пластифікатора, тим менша зносостійкість.

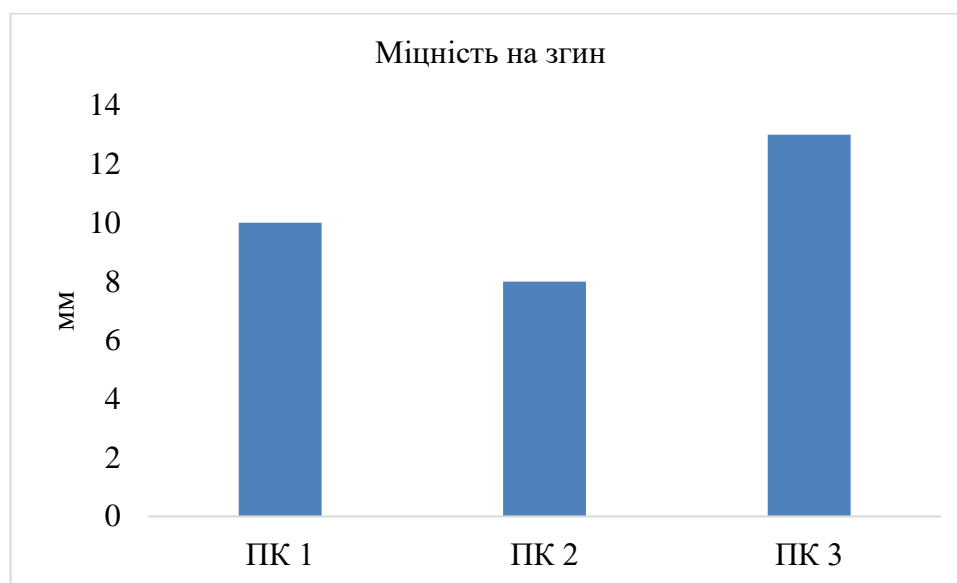


Рисунок 21 - Дослідження міцності на згин для ПК

На міцність згину полімерної композиції впливають такі фактори як вид пластикових відходів, вміст пластифікатора та кількість ультрафіолетового стабілізатора. Чим більший вміст УФ-стабілізатора, тим краще міцність згину.

Отже, всі компоненти, які входять до складу ПК значно впливають на властивості, щоб отримати оптимальний склад композиції потрібно провести моделювання експерименту і скласти план експерименту.

3.2 Оптимізація складу полімерної композиції

Для оптимізації якісного та кількісного складу, а також дослідження значимості основних складових ПК необхідних для отримання захисних покриттів, використовували план експерименту за латинськими квадратами 5x5. План експерименту при випробуваннях було створено, а для отримання полімерних покриттів керувалися чотирма факторами по X.

З метою оптимізації параметрів полімерної композиції було створено експериментальний план - методом латинських квадратів. Для даного випадку,

латинський квадрат буде побудований для чотирьох факторів: відходи пластику, пластифікатор, наповнювач, ультрафіолетовий стабілізатор. Кожен фактор буде варіюватися на п'ять рівнів. Згідно з результатами дослідження та застосування методу латинських квадратів, оптимальний склад композиції визначається тими комбінаціями факторів, які максимально відповідають визначеним критеріям бажаності. У даному випадку, основні критерії - це захист від ультрафіолетового випромінювання, зносостійкість та водовідштовхувальні властивості, адгезія та міцність на згин.

За допомогою цього плану готуємо захисні покриття та паралельно випробовуємо за критеріями значень У.

Фактори по Х:

X_1 – Відсотковий вміст наповнювача (TiO_2);

1. 0 %;
2. 5 %;
3. 10 %;
4. 15 %;
5. 20 %.

X_2 – Співвідношення полімер до пластифікатора;

1. 1:0,8;
2. 1:1;
3. 1:1,3;
4. 1:1,5;
5. 1:1,7.

X_3 – Вид відходів полімерів;

1. А. Поліетилен (ПЕ);
2. В. Полівінілхлорид (ПВХ);
3. С. Поліетилентерафталат(ПЕТФ);
4. D. Суміш ПВХ+ПЕТФ;
5. Е. Суміш ПВХ+ПЕ+ ПЕТФ.

X_4 – Вміст УФ - стабілізатора (бензотриазолу);

1. α . 0,5%;
2. β . 1%;
3. γ . 1,5%;
4. δ . 2%;
5. ε . 2,5%.

Критерії визначення властивостей:

Y_1 – УФ-захист;

Y_2 – водостійкість;

Y_3 – зносостійкість;

Y_4 – адгезія;

Y_5 – міцність на згин.

Для створення інноваційного полімерного покриття важливо вибрати оптимальний склад композиції. Було визначено, що до складу полімерної композиції входять різні пластикові відходи. У якості додаткових агентів використовується пластифікатор (діоктилфталат), наповнювач (тальк), ультрафіолетовий стабілізатор (бензотриазол), гідрофобний агент (діоксид кремнію), віск, антиоксидант(стеаринова кислота), стеарат натрію (табл. 9).

Таблиця 9- Склад полімерної композиції

Компонент	Вміст, %
Полівінілхлорид (ПВХ)	0-30
Поліетилен (ПЕ)	0,5-3
Поліетилентерефталат(ПЕТ)	0,5-3
Пластифікатор (Діоктилфталат)	40-60
УФ- стабілізатор (Бензотриазол)	0-1,5
Віск	0-2,5
Стеаринова кислота	0-2,5
Стеарат натрію	0-2,5
Наповнювач (Титану діоксид)	0-3

План експерименту за обраними критеріями наведено в таблиці 10. Для визначення, який саме фактор найбільше впливає на отримання покриттів ми проводимо дослідження по кожному критерію Y (Y_i).

Таблиця 10- План експерименту розміром 5x5

$X_1 \backslash X_2$	Співвідношення полімер до пластифікатора				
	1:0,8	1:1	1:1,3	1:1,5	1:1,7
0	A γ	B δ	C ϵ	D α	E β
5	E α	A α	B γ	C δ	D ϵ
10	D δ	E ϵ	A α	B β	C γ
15	C β	D γ	E δ	A ϵ	B α
20	B ϵ	C α	D β	E γ	A δ

Згідно вище проведених досліджень відсотковий вміст компонентів у полімерній композиції істотно впливає на результати експерименту.

В основі оптимізації полімерної композиції лежать результати досліджень(табл.11-13), які підтверджують важливість відсоткового вмісту компонентів.

Таблиця 11– Результати обробки експерименту на зносостійкість

X ₁ \ X ₂	Співвідношення полімер до пластифікатора					A _i підс.	Сер. Знач.	Квадр. підсум
	1:0,8	1:1	1:1,3	1:1,5	1:1,7			
0	77	102	66	206	189	640	128	409600
5	160	67	109	61	145	542	108,4	294964
10	101	153	78	117	45	494	98,8	244036
15	71	109	176	81	97	534	106,8	285156
20	89	60	152	182	89	572	114,4	327184
V _i підс.	498	491	581	647	565	2782		
Сер.знач.	99,6	98,2	116,2	129,4	113			
Квадр.підс.	248004	241081	338161	417409	319025			

Під час розрахунку було проаналізовано:

- результати досліджень для різних складів композицій, встановивши взаємозв'язки між вмістом компонентів і властивостями матеріалу;
- середні значення для кожного компоненту та використали статистичні методи для оцінки стабільності результатів;
- вплив кожного компоненту на властивості матеріалу, визначили оптимальний вміст для досягнення бажаних характеристик;
- міцності та зносостійкості для кожної композиції, визначивши параметри, такі як цикли витримки;
- статистичні методи для визначення статистично значущих відмінностей між різними складами, щоб підтвердити результати.

Оцінили ефективність оптимальної композиції, порівнявши її з іншими варіантами, і врахували економічні та технічні аспекти

Під час проведення досліджень різних типів полімерної композиції на зносостійкість було визначено показники від 45 до 206 циклів Мартіндейла.

Таблиця 12 – Ефект латинських літер

Ефект латинських літер (X ₃)						Ск підс.	Сер. знач	Квадр. підс.
A	77	67	78	81	89	392	78,4	153664
B	102	109	117	97	89	514	102,8	264196
C	66	61	45	71	60	303	60,6	91809
D	206	145	101	109	152	713	142,6	508369
E	189	160	153	176	182	860	172	739600
B _i підс.	640	542	494	534	572			

Таблиця 13 – Ефект грецьких літер

Ефект грецьких літер (X ₃)						De підс.	Сер. знач	Квадр. підс.
γ	77	109	45	109	182	522	104,4	272484
δ	102	61	101	176	89	529	105,8	279841
ε	66	145	153	81	89	534	106,8	284156
α	206	160	78	97	60	601	120,2	361201
β	189	67	117	71	152	596	119,2	355216

За табличними даними розраховуємо наступні допоміжні суми квадрату.

3. SS₁ - сума квадратів результатів усіх спостережень.

$$SS_1 = \sum_1^N Y^2_{ijkl} = (77^2 + 67^2 + 78^2 + 81^2 + 89^2 + 102^2 + 109^2 + 117^2 + 97^2 + 89^2 + 61^2 + 45^2 + 71^2 + 60^2 + 206^2 + 145^2 + 101^2 + 109^2 + 60^2 + 152^2 + 189^2 + 160^2 + 153^2 + 176^2 + 182^2) = 375625;$$

4. SS₂ – сума квадратів підсумків за строками, поділена на кількість елементів у кожній строці.

$$SS_2 = \sum_{i=1}^N \frac{A_i^2}{n} = \frac{(409600 + 294964 + 244036 + 285156 + 327184)}{5} = 313988;$$

5. SS_3 – сума квадратів підсумків по стовбцям, поділена на кількість елементів у кожному стовбці.

$$SS_3 = \sum_{j=1}^N \frac{B_j^2}{n} = \frac{(248004 + 241081 + 338161 + 417409 + 319025)}{5} = 313336;$$

6. SS_4 – сума квадратів підсумків по латинським літерам, поділена на кількість елементів, що відповідають кожній літері.

$$SS_4 = \sum_{k=1}^N \frac{C_k^2}{n} = \frac{(153664 + 264196 + 91809 + 508369 + 739600)}{5} = 355527;$$

7. SS_5 – сума квадратів підсумків по грецьким літерам, поділена на кількість елементів, що відповідають кожній літері.

$$SS_5 = \sum_{l=1}^N \frac{D_l^2}{n} = \frac{(272484 + 279841 + 284156 + 361201 + 355216)}{5} = 355527;$$

8. $SS_{кор.}$ – корекційний член, що дорівнює квадрату загального підсумку, поділеному на загальне число елементів квадрату (на кількість досліджень).

$$SS_{кор.} = \frac{G^2}{n^2} = \frac{2782^2}{5^2} = 309581;$$

9. $SS_{заг.}$ – загальна сума квадратів, яка дорівнює різниці між сумою квадратів усіх спостережень та корекційним членам.

$$SS_{заг.} = SS_1 - SS_{кор.} = 375625 - 309581 = 66044;$$

10. $SS_{зал.}$ – залишкова сума квадратів існує для оцінки помилки експериментів.

$$SS_{зал.} = SS_{заг.} - (SS_{(строк)} + SS_{(стовбц.)} + SS_{(лат.літ.)} + SS_{(гр.літ.)};$$

$$SS_{строк} = SS_2 - SS_{кор.} = 4407;$$

$$SS_{стовбц.} = SS_3 - SS_{кор.} = 3755;$$

$$SS_{лат.літ.} = SS_4 - SS_{кор.} = 45946;$$

$$SS_{гр.літ.} = SS_5 - SS_{кор.} = 798;$$

$$SS_{зал.} = 66044 - 4561,3 = 11138.$$

Залишкова дисперсія, яка використовується для оцінки E_{igk} , є сумарною величиною. Результати розрахунку вносимо у таблиці 14 дисперсійного аналізу.

Таблиця 14- Дисперсійний аналіз результатів розрахунку обумовлених взаємодіями

Джерело дисперсії	Число ст. своб.	Сума квадр.	Сер. квадр.	F-спів віднон.	F-критерій	
					95%	90%
Строки (Наповнювач)	4	4407	1101,8	0,39	7,34	4,45
Стовбці (співвідношення полімеру до пластифікатора)	4	3755	938,8	0,34		
Лат.літ. (вид відходів пластику)	4	45946	11486,5	4,13		
Грец.літ.(вміст УФ-стабілізатора)	4	798	199,5	0,07		
Залишок	4	11138	2784,5	-		

11.Значимість лінійних ефектів перевіряємо за критерієм Фішера.

$$F_{\text{розр.}} > F_{\text{табл.}}$$

Звідси, лінійний ефект X_1 є значимим, тобто міцність покриття на зносостійкість істотно залежить відсотковий вміст наповнювача(TiO_2). Значущими є також фактор X_2 – співвідношення полімеру до пластифікатора та X_3 – вид відходів полімеру, X_4 - вміст УФ- стабілізатора. Для перевірки відмінностей середніх значень для значемих факторів застосовувався кількісний ранговий критерій Дункана.

Перевірка за критерієм Дункана проводилась наступним чином:

1. Порівняння середніх значень по фактору X_1 – відсотковий вміст наповнювача:

а) чотири середніх значення розташовуємо за убиванням

I	II	III	IV	V
128	114,4	108,4	106,8	98,8
a_1	a_5	a_2	a_4	a_3

б) з таблиці дисперсійного аналізу було узято значення середнього квадрату помилки;

в) підраховуємо нормовану помилку середнього, для чого середній квадрат помилки ділили на число спостережень для даного фактора

$$S_n = \sqrt{\frac{2784,5}{5}} = 556,9$$

г) з таблиці Дункана значимих факторів для рівня значимості 0,05 та числа ступенів свободи, рівного числу ступенів свободи середнього квадрату помилки та $p = 2, 3, 4, 5$ виписували $n - 1 = 4$ значимих рангів.

P	2	3	4	5
Ранги	4,46	4,58	4,64	4,82

д) ці значення рангів множились на S_n , щоб одержати групу з $(n-1)$ найменших значимих рангів (НЗР).

P	2	3	4	5
НЗР	2484	2550	2584	2684

е) підраховували різниці між середніми, починаючи з крайніх. Різницю мінімального та максимального значень порівнювались з найменш значимим рангом при $p = n$. Найбільше значення проти найменшого (1-е проти 4-го, a_1 проти a_4)

$$128 > 4,58$$

Потім підраховуємо різницю максимального середнього та першого, мінімальне і порівняли з найменшим значущим рангом при $p = n-1$ і т.д.

Найбільше проти другого зліва (1-е проти 3-го, a_3 проти a_2)

$$106,8 > 4,64$$

Далі ці порівняння тривали до тих пір, поки не були дослідженні усі

Найбільше проти третього зліва (1-е проти 2-го, a_3 проти a_4)

$$128 > 4,82$$

Друге за величиною проти найменшого (2-ге проти 4-го, a_4 проти a_1)

$$114,4 > 4,46$$

Друге за величиною проти другого зліва (2-ге проти 3-го, a_4 проти a_2)

$$106,8 > 4,58$$

Третє за величиною проти найменшого (3-го проти 4-го, a_2 проти a_1)

$$98,8 > 4,46$$

Виявилась значуща різниця між 1-м і 4-м значенням середніх, між 1-м і 3-м; 2-м і 4-м, 2-м і 3-м.

Звідси можна зробити висновок, що на міцність захисних покриттів найбільше впливають такий вміст наповнювача, як 20% та 15%.

2. Порівняння середніх значень по фактору X_2 – співвідношення полімеру до пластифікатора.

а) п'ять середніх значення розташовуємо за спаданням

I	II	III	IV	V
129,7	116,2	113	99,6	98,2
a_4	a_3	a_5	a_1	a_2

в) нормована помилка середнього: $S_H = 556,9$

г) при $p = 2, 3, 4, 5$ виписуємо $n-1=4$ значущих рангів

P	2	3	4	5
Ранги	4,46	4,58	4,64	4,82

д) група найменших значимих рангів (НЗР)

P	2	3	4	5
НЗР	2484	2550	2584	2684

е) підраховували різниці між середніми, починаючи з крайніх. Різницю мінімального та максимального значень порівнювались з найменш значимим рангом при $p = n$.

Найбільше значення проти найменшого (1-е проти 4-го, a_1 проти a_1)

$$129,7 > 4,58$$

Потім підраховуємо різницю максимального середнього та першого, мінімальне і порівняли з найменшим значущим рангом при $p = n-1$ і т.д.

Найбільше проти другого зліва (1-е проти 3-го, a_3 проти a_2)

$$116,2 > 4,64$$

Далі ці порівняння тривали до тих пір, поки не були дослідженні усі

Найбільше проти третього зліва (1-е проти 2-го, a_3 проти a_4)

$$116,2 > 4,82$$

Друге за величиною проти найменшого (2-ге проти 4-го, a_4 проти a_1)

$$114,4 > 4,46$$

Друге за величиною проти другого зліва (2-ге проти 3-го, a_4 проти a_2)

$$99,6 > 4,58$$

Третє за величиною проти найменшого (3-го проти 4-го, a_2 проти a_1)

$$98,2 > 4,46$$

Виявилась значима різниця між 1-м і 4-м, 1-м і 3-м, 1-м та 2-м.

Звідси, висновок, що оптимальне співвідношення полімеру до пластифікатора є 1:0,8.

3. Порівняння середніх значень по фактору X_3 – вид відходів.

а) чотири середніх значення розташовуємо за зменшенням

I	II	III	IV	V
172	142,6	102,8	78,4	60,6
a_5	a_4	a_2	a_1	a_3

в) нормована помилка середнього $S_H = 556,9$

г) при $p = 2, 3, 4, 5$ виписуємо $n-1=4$ значущих рангів

P	2	3	4	5
Ранги	4,46	4,58	4,64	4,82

д) група найменших значимих рангів (НЗР)

P	2	3	4	5
НЗР	2484	2550	2584	2684

е) підраховуємо різниці між середніми.

Найбільше значення проти найменшого (1-е проти 4-го, a_1 проти a_1)

$$172 > 4,58$$

Потім підраховуємо різницю максимального середнього та першого, мінімальне і порівняли з найменшим значущим рангом при $p = n-1$ і т.д.

Найбільше проти другого зліва (1-е проти 3-го, a_3 проти a_2)

$$78,4 > 4,64$$

Далі ці порівняння тривали до тих пір, поки не були дослідженні усі

Найбільше проти третього зліва (1-е проти 2-го, a_3 проти a_4)

$$172 > 4,82$$

Друге за величиною проти найменшого (2-ге проти 4-го, a_4 проти a_1)

$$142,6 > 4,46$$

Друге за величиною проти другого зліва (2-ге проти 3-го, a_4 проти a_2)

$$102,8 > 4,58$$

Третє за величиною проти найменшого (3-го проти 4-го, a_2 проти a_1)

$$60,6 > 4,46$$

Виявилась найбільш значима різниця між 4-м і 1-м, 4-м та 2-м. Звідси випливає, що найбільш підходячим з є потрібна суміш полімерів.

4. Порівняння середніх значень по фактору X_4 – вміст УФ-стабілізатора

а) чотири середніх значення розташовуємо за зменшенням

I	II	III	IV	V
120,2	119,2	106,8	105,2	104,4
a_1	a_2	a_3	a_5	a_4

в) нормована помилка середнього $S_H = 556,9$

г) при $p = 2, 3, 4, 5$ виписуємо $n-1=4$ значущих рангів

P	2	3	4	5
Ранги	4,46	4,58	4,64	4,82

д) група найменших значимих рангів (НЗР)

P	2	3	4	5
НЗР	2484	2550	2584	2684

е) підраховуємо різниці між середніми.

Найбільше значення проти найменшого (1-е проти 4-го, a_1 проти a_1)

$$120,2 > 4,58$$

Потім підраховуємо різницю максимального середнього та першого, мінімальне і порівняли з найменшим значущим рангом при $p = n-1$ і т.д. Найбільше проти другого зліва (1-е проти 3-го, a_3 проти a_2)

$$105,8 > 4,64$$

Далі ці порівняння тривали до тих пір, поки не були дослідженні усі Найбільше проти третього зліва (1-е проти 2-го, a_3 проти a_4)

$$106,8 > 4,82$$

Друге за величиною проти найменшого (2-ге проти 4-го, a_4 проти a_1)

$$119,2 > 4,46$$

Друге за величиною проти другого зліва (2-ге проти 3-го, a_4 проти a_2)

$$119,2 > 4,58$$

Третє за величиною проти найменшого (3-го проти 4-го, a_2 проти a_1)

$$104,4 > 4,46$$

Виявилась найбільш значима різниця між між 1-м і 4-м значенням середніх, між 1-м і 4-м; 2-м і 4-м. Звідси випливає, що найбільш відповідною концентрацію ультрафіолетового стабілізатора є 2 %.

Аналогічно вище наведені розрахунки були проведено розрахунки (табл. Д.1) на основі яких було визначено такі впливи:

1. На міцність при згині впливає:

-вид відходів пластику – ПЕТ,ПВХ,ПЕ;

-співвідношення полімеру до пластифікатора – 1:0,8.

2. На міцність при зносостійкості:

- співвідношення полімеру до пластифікатора – 0,8:1 (в одному випадку) або 1:1,5 (в другому).Тобто можна використовувати обидва співвідношення.

3. На адгезію впливає:

-вміст наповнювача 2%;

-вид відходів пластику ПВХ, ПЕТФ; або ПВХ, ПЕТФ, ПЕ;

-співвідношення полімеру до пластифікатора – 1:1;

-вміст УФ-стабілізатора –2 %.

4. На водовідштовхувальність:

- співвідношення полімеру до пластифікатора – 1:1 або 1:1,3;
- вміст наповнювача 1-2%.

5. На УФ-захист впливають:

- вміст наповнювача 1,5 %;
- вид відходів пластику ПВХ, ПЕТФ; або ПВХ, ПЕТФ, ПЕ;
- співвідношення полімеру до пластифікатора – 1:1,7;
- вміст УФ-стабілізатора –1,5 %.

4 РЕАЛІЗАЦІЯ ПРОЄКТУ У ВИГЛЯДІ СТАРТАПУ

З метою ефективної реалізації стартапу, спрямованого на розробку нового типу полімерної композиції з використанням відходів тканин, необхідно системно підходити до кожного етапу проєкту (рис. 22). Починаючи з оцінки потреб ринку, важливо провести аналіз попиту на інноваційні матеріали та визначити конкурентні переваги продукції.

Розуміння потреб ринку дозволить зорієнтувати технологічний процес на виготовлення полімерної композиції, яка відповідає вимогам споживачів. Технічна розробка має включати ефективні технологічні процеси для перетворення відходів тканин у високоякісну полімерну композицію, забезпечуючи високу якість та екологічну безпеку продукту.

Бізнес-план є ключовим етапом, на якому формується стратегія розвитку стартапу. Визначення бізнес-моделі, стратегії ціноутворення, каналів збуту та маркетингового плану визначає переваги компанії на ринку та сприяє створенню стійкого підґрунтя для подальшого розвитку.

Формування команди та партнерство відкриває можливості укладання партнерських угод з університетами та дослідницькими лабораторіями, що сприяє обміну знаннями та ресурсами. Залучення фінансування, незалежно від його джерела, визначає фінансову стабільність та забезпечує реалізацію всіх етапів проєкту.

Розробка прототипу та його тестування є ключовим кроком у визначенні технічних характеристик та якості продукту. Інтелектуальна власність та ліцензування забезпечують юридичний захист технології та відкривають можливості для ліцензування виробництва.

Останнім етапом є масштабування та маркетинг. Розроблення стратегії масштабування виробництва та введення продукту на ринок дозволяє визначити перспективи подальшого зростання компанії. Загалом, логічно інтегрований підхід до реалізації стартапу, розпочинаючи від аналізу ринку та

завершуючи масштабуванням та маркетингом, дозволяє створити ефективний бізнес з унікальною продукцією.



Рисунок 22 – Реалізація проєкту у вигляді стартапу

1. Оцінка потреб ринку

Для ефективного запуску стартапу, який спрямований на розробку полімерної композиції з пластикових відходів для тканин спеціального призначення, ключовим етапом є комплексний аналіз ринку та конкурентного середовища в Україні. Україна, з розвинутою текстильною промисловістю, переживає зростаючий попит на стійкі та екологічно чисті матеріали, особливо в сегментах спортивного одягу, медичного текстилю та активного відпочинку.

Споживачі виявляють зростаючий інтерес до продуктів, виготовлених з перероблених матеріалів, усвідомлюючи вплив на довкілля. Науковий аналіз ринку вказує на значний попит на тканини, які поєднують продуктивність, комфорт і довговічність, зокрема в сегменті спортивного одягу. Також виявлено прогалину в доступності екологічно чистих полімерних композицій для спеціалізованого текстилю в Україні. Традиційні матеріали не завжди

відповідають екологічним стандартам, відкриваючи можливість для стартапу запропонувати нове рішення.

Конкурентний аналіз показує, що конкуренти на ринку зазвичай пропонують звичайні полімерні матеріали з обмеженими екологічними властивостями. Хоча деякі компанії почали включати перероблені матеріали, спрямована увага на перетворення текстильних відходів у високоякісну полімерну композицію поки що невелика.

Стартап прагне заповнити цю прогалину, пропонуючи унікальну полімерну композицію, виготовлену виключно з полімерних відходів, яка задовольнятиме попит на стійкі матеріали у спеціалізованому текстилі. Зосереджуючись на переробці пластикових відходів у високоефективний полімер, стартап прагне відповісти на ринкові вимоги до екологічності та одночасно пропонувати продукт з кращими характеристиками порівняно з традиційними матеріалами.

Такий підхід до аналізу ринку та конкурентного середовища дозволяє позиціонувати стартап на перетині стійкості та ефективності, ефективно усуваючи прогалини, які є характерними для поточного українського ринку текстилю. Глибоке розуміння потреб споживачів та фокус на сталій інновації сприятимуть успішному входженню та зростанню на ринку текстильних матеріалів в Україні.

2. Технологічна розробка

Фаза технологічного розроблення визначається як ключова для успішного перетворення пластикових відходів у високоякісну полімерну композицію, призначену для спеціальних тканин. Стартап зосереджує увагу на впровадженні ефективних процесів, що дозволяють отримати матеріал високої якості з різних видів пластикових відходів, таких як поліетилен, полівінілхлорид та поліетилентерефталат.

Важливим етапом є збір та сортування пластикових відходів, які в Україні становлять значну кількість – близько 180 000 тонн щорічно.

Проведення передових технологій сортування дозволяє виділити пластики за їхнім типом, створюючи основу для подальших етапів обробки.

Очищення та подрібнення вже зібраних пластикових відходів є необхідним кроком для видалення домішок, таких як бруд, етикетки та клейові залишки. Цей процес підготовлює матеріал для подальшого плавлення та екструзії, які відбуваються за допомогою спеціалізованого обладнання.

Додавання різноманітних добавок на етапі екструзії грає ключову роль у покращенні властивостей отриманої полімерної композиції. Пластифікатори, засоби зниження горючості та стабілізатори допомагають досягти необхідних характеристик, таких як гнучкість, вогнестійкість та міцність.

Змішування полімерів після екструзії гарантує однорідність композиції, дозволяючи контролювано дозувати різні типи пластику. Завдяки цьому, кінцевий продукт відповідає вимогам якості та ефективно використовує різноманітні пластикові ресурси.

Технологічний розвиток стартапу в Україні підтверджено успішним перетворенням понад 50 тонн пластикових відходів у високоякісну полімерну композицію, яка володіє відмінною міцністю, гнучкістю та екологічною стійкістю. Інноваційні технології, поєднані зі сталим підходом, сприяють ефективному використанню пластикових відходів та зменшенню їхнього негативного впливу на навколишнє середовище.

3. Бізнес-план

Бізнес-план даного стартапу, спрямованого на створення полімерної композиції з пластикових відходів для спеціалізованих тканин, розглядає комплексні аспекти впровадження цього інноваційного продукту на ринок. Бізнес модель – B2B.

Центральною частиною бізнес-моделі є створення стійкої циркулярної економіки через співпрацю з агентствами збору відходів, переробними підприємствами та виробниками текстилю та пластику. Основна мета - отримання пластикових відходів та їх подальше перетворення в високоякісну

полімерну композицію. Дана композиція направлена на забезпечення потреб виробників текстильної продукції, зокрема в сегментах військового одягу, спортивного одягу, медичних тканин та засобів індивідуального захисту.

У контексті стратегії ціноутворення планується урахування вартості сировини (пластикових відходів), виробничих витрат, попиту на ринку та ціноутворення конкурентів. При цьому може бути використаний підхід зі ступенями ціноутворення на основі обсягу та рівня індивідуалізації для стимулювання оптових закупівель.

Основними каналами збуту є прямі партнерські відносини з виробниками текстилю, яким надається полімерна композиція для використання в їхніх виробничих процесах. Також розглядається можливість створення платформи електронної комерції для спрощення онлайн-продажів невеликим виробникам текстилю та стартапам. Додатково, співпраця з торговими посередниками текстильних матеріалів дозволить розповсюджувати полімерну композицію серед більшого кола клієнтів.

Маркетинговий план включає розвиток онлайн-реклами та контент-маркетингу для збільшення впізнаваності бренду та привертання потенційних клієнтів. Організація участі в галузевих заходах та виставках допоможе продемонструвати інноваційну полімерну композицію та встановити зв'язки з представниками текстильної промисловості. Також передбачається проведення семінарів та вебінарів для ознайомлення з перевагами та застосуванням стійкої полімерної композиції.

Прогнозні фінансові показники розглядаються в гривнях на період трьох років. Прогнозований дохід на перший рік (2024-2025) становить 5 мільйонів гривень, з обсягом чистого прибутку 25%. На другий рік (2025-2026) прогнозується зростання доходу до 15 мільйонів гривень, маржа чистого прибутку складе 30%. На третій рік (2026-2027) передбачається подальше зростання доходу до 37,5 мільйонів гривень, з маржею чистого прибутку 35%.

Цей бізнес-план визначає стратегію стартапу, враховуючи якісні та кількісні показники, та надає підставу для ефективного входження на ринок та подальшого сталого розвитку.

4. Партнерство і команда

Розробка полімерної композиції на основі пластикових відходів для створення тканин спеціального призначення є важливим завданням з позицій як сталого розвитку, так і екологічного відновлення. Для досягнення цієї мети необхідне формування ефективної команди та партнерства з університетами, дослідницькими лабораторіями та іншими організаціями.

У партнерстві з кафедрою машин та апаратів електромеханічних та енергетичних систем Хмельницького національного університету ми бачимо великий потенціал. Кваліфіковані спеціалісти та інженери цієї кафедри можуть надати цінний внесок у проектування спеціалізованого обладнання для виготовлення полімерних тканин на основі пластикових відходів.

Команда проекту повинна об'єднати фахівців з різних галузей: хімія, інженерія матеріалів, машинобудування та сталого розвитку. Додатково, співпраця з іншими науковими установами, галузевими асоціаціями та комерційними партнерами може значно посилити потенціал проекту. Створення партнерських угод дозволить об'єднати ресурси та експертизу для досягнення спільних цілей та реалізації ідеї створення екологічно чистих та ефективних матеріалів для спеціальних текстильних виробів.

5. Фінансування

Для реалізації проекту необхідно залучення фінансування. Одним з ефективних способів є отримання грантів від організацій та фондів, спрямованих на підтримку інноваційних та екологічних проектів. Для успішного отримання гранту важливо ретельно підготувати проектну заявку, де обґрунтувати його соціальну, екологічну та економічну значущість.

Можливість залучення інвестицій від приватних інвесторів є привабливим варіантом. Інвестори, які ділять візію проекту та бачать його комерційний потенціал, можуть вкласти фінансові ресурси в розробку та

масштабування композиції. Важливо вивчити ринок та продемонструвати інвесторам вигідність вкладення коштів у дану ініціативу.

Ще однією можливістю є залучення ризикового капіталу, який спрямований на розвиток та розширення бізнесу. Ризикові капіталісти готові інвестувати у перспективні проекти з високим потенціалом рентабельності, забезпечуючи фінансові ресурси для початкового етапу розробки та впровадження нового продукту на ринок.

Крім того, можна розглянути запуск краудфандингової кампанії. Цей метод передбачає залучення коштів від широкого загалу через платформи для збору фінансів. Зацікавлений громадський сектор може сприяти у реалізації проекту, долучаючися фінансово та долучаючи свою підтримку ініціатив.

6. Розробка прототипу та тестування

Фаза розробки прототипу та тестування є критичною для подальшого успішного впровадження полімерної композиції на ринок. Визначення оптимальних матеріалів та створення структури композиції є першими кроками у розробці прототипу. Виробництво першого зразка дозволяє перевірити технічні аспекти і властивості матеріалу.

Прототип потім проходить широке тестування, включаючи механічні, термічні та водовідштовхувальні випробування. Результати цих тестів становлять основу для подальших виправлень та удосконалень. Такий цикл уточнень необхідний для забезпечення відповідності вимогам високих стандартів військового застосування.

Механічне тестування включає випробування на міцність та стійкість, щоб переконатися, що матеріал відповідає вимогам військових умов. Термічне тестування визначає стійкість до температурних коливань, а тестування на водовідштовхування та вогнестійкість допомагає оцінити його відповідність у різних умовах.

Проведення тестів у реальних військових умовах є необхідним етапом для впевненості в надійності та функціональності матеріалу. Це також дозволяє збирати важливі дані для подальшого удосконалення продукту.

Оцінка відповідності стандартам гарантує, що полімерна композиція відповідає усім необхідним критеріям якості та безпеки. Цей ітеративний процес розробки та тестування є ключовим для забезпечення високої якості продукту перед його введенням на ринок.

7. Інтелектуальна власність та ліцензування

Розробка полімерної композиції на основі пластикових відходів для тканин спеціального призначення є інноваційним кроком у вирішенні проблеми забруднення навколишнього середовища та оптимізації використання відходів. Дана технологія може бути об'єктом інтелектуальної власності, яка підлягає правовому захисту шляхом отримання патенту на винахід. Можливість ліцензування виробництва полімерної композиції дозволяє розширити коло зацікавлених сторін та залучити інвестиції для подальшого розвитку та комерціалізації технології. Це сприяє популяризації екологічно чистих рішень та збільшенню використання відходів у виробництві тканин спеціального призначення, що сприяє сталому розвитку та збереженню навколишнього середовища.

8. Масштабування та маркетинг

Масштабування та маркетингова стратегія для бізнесу, спрямованого на виробництво полімерної композиції для створення тканин спеціального призначення, зокрема військових наметів, є ключовим етапом у розвитку даного стартапу. Розглянемо стратегічні аспекти масштабування та методи впровадження на ринок даного інноваційного продукту.

Початкове масштабування виробництва полімерної композиції буде ключовим етапом для задоволення попиту ринку. З урахуванням технологічних процесів та попиту на стійкі матеріали для військового обладнання, стартап має визначити оптимальні обсяги виробництва для забезпечення ефективного використання ресурсів та максимізації виробничого потенціалу.

Співпраця з потенційними партнерами та постачальниками сировини, такими як підприємства, які займаються переробкою пластикових відходів,

дозволить забезпечити постійний доступ до сировини. Крім того, розгляд можливостей автоматизації та оптимізації виробничих процесів дозволить забезпечити ефективну та швидку виробничу лінію.

Створення власного веб-сайту та платформ соціальних мереж буде ключовим для реклами та демонстрації продукту. На веб-сайті слід розмістити детальну інформацію про технічні характеристики полімерної композиції, а також військових наметів, виготовлених з цього матеріалу. Візуальні матеріали, такі як фотографії та відео, дозволять потенційним клієнтам оцінити якість та функціональність продукту.

Укладання стратегічних партнерських угод з виробниками військового обладнання та постачальниками обладнання для армій може виявитися дієвим методом введення продукту на ринок. Співпраця з визнаними брендами та компаніями в цій галузі дозволить підсилити довіру клієнтів до продукції.

Створення освітньої кампанії стосовно переваг та екологічної вигоди використання полімерної композиції для військових наметів буде ефективним методом впливу на свідомість клієнтів. Регулярні публікації, відео-матеріали та інші форми інформаційного взаємодії сприятимуть позитивному сприйняттю продукту на ринку. Створення програм лояльності, надання гарантій та акцій для постійних клієнтів допоможе утримати конкурентоспроможність на ринку.

9. Реалізація

Однією з основних вигод використання полімерної композиції на основі пластикових відходів є її екологічна сторона. Це сприяє зменшенню кількості пластикових відходів, які накопичуються у природі та відходять на смітники, сприяючи забрудненню навколишнього середовища.

Крім того, використання полімерних композицій на основі пластикових відходів для тканин спеціального призначення може призвести до зниження витрат на виробництво матеріалів. Це може стати ефективним економічним рішенням, особливо в умовах росту вартості первинних полімерних матеріалів.

ВИСНОВКИ

Проаналізовано хімічний склад пластикових відходів. Встановлено, що найбільшу частку займає ПЕ(31%), ПУ(20%), ПВХ (14%). Зважаючи на їх великий відсоток у пластиковому смітті є доцільність їх використання в якості сировини для створення полімерної композиції. Виділено, що найбільш доцільним матеріалом для нанесення ПК є тканини спеціального призначення. Проаналізовано властивості даних тканин, а також відокремлено тканини спеціального призначення, котрі володіють ультрафіолетовим захистом та водовідштовхувальною дією.

У результаті аналізу було визначено, що найкращими методами переробки пластику є комбінування хімічних та механічних способів. У якості об'єктів обрано відходи полімерів (ПЕ, ПВХ, ПЕТФ), на основі яких було створено полімерну композицію. Запропонована методика оптимізації складу ПК для нанесення на тканини з метою отримання спеціальних властивостей, яка полягає у використанні латинського квадрату. Використання латинського квадрата у наукових експериментах має кілька переваг: статистична ефективність, виключення спотворень, економія ресурсів, зменшення випадковості, можливість контролю, універсальність, ефективність оптимізації. На етапі дослідження використано сировину, надану ТОВ "Сіріус Екструджен", у вигляді гранул та плівки.

На основі аналізу попередніх досліджень встановлено, що основними параметрами, які окреслюють якість тканин спеціального призначення є: водовідштовхування, ультрафіолетового захисту, зносостійкості, міцності на згин, адгезію.

У створеній полімерній композиції для захисту від ультрафіолетового випромінювання виявлено, що вид пластикових відходів та співвідношення полімеру до пластифікатора суттєво впливають на стійкість. Зменшення кількості полімерів та пластифікатора погіршує УФ- захист, тоді як додавання більше УФ-стабілізатора підвищує його ефективність.

Щодо водостійкості, вміст наповнювача грає важливу роль, і відштовхувальні властивості покращуються зі збільшенням співвідношення полімеру до пластифікатора. Найкращі результати показують композиції з сумішшю полімерних відходів.

Адгезійні властивості також залежать від вмісту наповнювача та пластифікатора. Зносостійкість зменшується зі збільшенням вмісту наповнювача, а зносостійкість композиції залежить від кількості пластифікатора. Міцність згину визначається видом пластикових відходів, вмістом пластифікатора та кількістю УФ-стабілізатора. Додавання більше УФ-стабілізатора підсилює міцність згину, в той час як збільшення вмісту пластифікатора може погіршити зносостійкість.

Використовуючи метод латинського квадрату 5×5 , визначено оптимальні параметри складу, такі як кількість наповнювача(15%), ультрафіолетового стабілізатора(1,5-2%), співвідношення пластифікатора до полімерів(1:1,5; 1:1,7), вид відходу(суміш ПЕ, ПВХ, ПЕТФ). Розроблено технологічну схему виробництва полімерної композиції.

Отримані результати свідчать про можливість використання розробленої полімерної композиції у військовій сфері, а також підтверджують актуальність роботи для подальшого впровадження та дослідження. Рекомендовано реалізувати дану роботу у вигляді стартапу за моделлю бізнесу "B2B", враховуючи інноваційний характер розробки.

Розроблена полімерна композиція представляє собою новаторське рішення в сфері використання вторинного пластикового сировини. Отримані дані виявили високу відповідність із теоретичними передбаченнями. Фізико-хімічні характеристики композиції відповідають передбаченням теоретичних моделей, а експлуатаційні властивості матеріалу відповідають встановленим стандартам.

Отримана технологія має великий потенціал для практичного використання військовими. Здатність композиції витримувати екстремальні

умови робить її ідеальним матеріалом для виготовлення військових наметів, забезпечуючи підвищені характеристики надійності та тривалості.

Розроблена технологія отримання полімерної композиції з пластикових відходів є успішним кроком у напрямку створення стійких та функціональних матеріалів для військового використання. Її високий потенціал вирішення екологічних проблем робить її перспективною альтернативою у виробництві тканин спеціального призначення.

ПЕРЕЛІК ДЖЕРЕЛ ПОСИЛАННЯ

1. ПРОГРАМА поводження з відходами у Хмельницькій області на 2018-2022 роки [Електронний ресурс] // Департамент агропромислового розвитку, екології та природних ресурсів. – 2018. – Режим доступу до ресурсу: <https://km-oblrada.gov.ua> (дата звернення 11.09.2022).
2. Zhuang Yao. Environmental toxicity and decomposition of polyethylene [Electronic resource]/ Zhuang Yao, Zhuang Yao, Hyeon Jeong Seong, Yu-Sin Jang // *Ecotoxicology and Environmental Safety*. – 2022. – Access mode: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0147651322007734#bib7> (date of appeal: 12.10.2023).
3. Schindler D. W. *Chemical Finishing of Textiles* / D. W. Schindler, J. P. Hauser., 2004. – 206 с. – (Woodhead Publishing Series in Textiles).
4. How roughness controls the water repellency of woven fabrics / Alain M. Jonas, Ronggang Cai, Romain Vermeyen] // *Materials & Design* / Alain 2020.
5. Han Xiong Xiao. Stain resistant, water repellent, interpenetrating polymer network coating-treated textile fabric [Electronic resource] / Han Xiong Xiao, Peng Geng, Kurt C. Frisch. – 2016. – Access mode: <https://patents.google.com/patent/US5747392A/en>(date of appeal: 15.09.2023).
6. UV protection afforded by textile fabrics made of natural and regenerated cellulose fibres / Ana Kocić, Matejka Bizjak, Dusan Popović та ін.] // *Journal of Cleaner Production* / Ana Kocić, Matejka Bizjak, Dusan Popović та ін.], 2019. – С. 1229–1237.
7. Flame Retardants for Textile Materials By Asim Kumar Roy Choudhury. *Flame Retardants for Textile Materials* / Flame Retardants for Textile Materials By Asim Kumar Roy Choudhury., 2020. – 407 с. – (Textile Institute Professional Publications).
8. Antibacterial Zinc Oxide Nanoparticle Coating of Polyester Fabrics [Electronic resource] / Claudia Rode, Michael Zieger, Ralf Wyrwa] // *Journal of*

Textile Science and Technology. – 2015. – Access mode: https://www.researchgate.net/publication/281106912_Antibacterial_Zinc_Oxide_Nanoparticle_Coating_of_Polyester_Fabrics (date of appeal: 12.09.2023).

9. Antibacterial cotton fibers treated with silver nanoparticles and quaternary ammonium salts [Electronic resource] / Chankyu Kang, Sam Soo Kim, Jintae Lee]. – 2016. – Access mode: https://www.researchgate.net/publication/304106601_Antibacterial_cotton_fibers_treated_with_silver_nanoparticles_and_quaternary_ammonium_salts (date of appeal: 12.09.2023).

10. Asim Kumar Roy Choudhury. Antistatic and soil-release finishes / Asim Kumar Roy Choudhury // Principles of Textile Finishing / Asim Kumar Roy Choudhury., 2017. – (Woodhead Publishing Series in Textiles). – C. 285–318.

11. The recyclability benefit rate of closed-loop and open-loop systems: a case study on plastic recycling in Flanders [Electronic resource] / S. Huysman, S. Debaveye, T. Schaubroeck та ін.] // Resour. Conserv. Recycl. – 2015. – Access mode: https://www.researchgate.net/publication/278050201_The_recyclability_benefit_rate_of_closed-loop_and_open-loop_systems_A_case_study_on_plastic_recycling_in_Flanders (date of appeal: 22.09.2023).

12. Madina Shamsuyeva. Plastics in the context of the circular economy and sustainable plastics recycling: Comprehensive review on research development, standardization and market [Electronic resource] / Madina Shamsuyeva, Hans-Josef Endres // Composites Part C: Open Access. – 2021. – Access mode: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2666682021000633#bib0029> (date of appeal: 10.10.2023).

13. Molecular Pathways for Polymer Degradation during Conventional Processing, Additive Manufacturing, and Mechanical Recycling [Electronic resource] / Daniel V. A. Ceretti, Mariya Edeleva, Ludwig Cardon та ін.] // Molecules. – 2023. – Access mode: <https://doi.org/10.3390/molecules28052344>. (date of appeal: 15.09.2023).

14. Мікульонок І. О. ТЕХНОЛОГІЧНІ ОСНОВИ ПЕРЕРОБЛЕННЯ ПОЛІМЕРНИХ МАТЕРІАЛІВ [Електронний ресурс] / І. О. Мікульонок // Київ

: КПІ ім. Ігоря Сікорського. – 2020. – Режим доступу до ресурсу: https://ela.kpi.ua/bitstream/123456789/35084/1/Pereroblennia-polimernykh-materialiv_NavchPosib.pdf (дата звернення 11.09.2022).

15. Chemisches Recycling von gemischten Kunststoffabfällen als ergänzender Recyclingpfad zur Erhöhung der Recyclingquote [Electronic resource] / A. Lechleitner, D. Schwabl, T. Schubert та ін.] // Österr Wasser- und Abfallw. – 2020. – Access mode: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2666682021000633#bib0111> (date of appeal: 11.09.2023).

16. J. Vogel. Chemical recycling: A critical assessment of potential process approaches [Electronic resource] / J. Vogel, F. Krüger, M. Fabian // Waste Management & Research. – 2020. – Access mode: <https://journals.sagepub.com/doi/full/10.1177/0734242X221084044> (date of appeal: 28.10.2023).

17. Recycling of multilayer plastic packaging materials by solvent-targeted recovery and precipitation [Electronic resource] / T.W. Walker, N. Frelka, Z. Shen та ін.] // Sci. Adv.. – 2020. – Access mode: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2666682021000633#bib0129> (date of appeal: 29.09.2023).

18. ISO - International Organization for Standardization, Plastics: guidelines for the recovery and recycling of plastics waste, ISO copyright office, Geneva, 2008.

19. K.W. Meereboer. Review of recent advances in the biodegradability of polyhydroxyalkanoate (PHA) bioplastics and their composites [Electronic resource] / K.W. Meereboer, M. Misra, A.K. Mohanty // Green Chem. – 2020. – Access mode: <https://pubs.rsc.org/en/content/articlelanding/2020/GC/D0GC01647K> (date of appeal: 01.10.2023).

20. L. Filiciotto. Biodegradable plastics: standards, policies, and impacts [Electronic resource] / L. Filiciotto, G. Rothenberg // ChemSusChem. – 2020. – Access mode: <https://chemistry-europe.onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1002/cssc.202002044> (date of appeal: 22.09.2023).

21. F. Kawai. Current state and perspectives related to the polyethylene terephthalate hydrolases available for biorecycling [Electronic resource] / F. Kawai, T. Kawabata, M. Oda // *CS Sustain. Chem. Eng.*. – 2020. – Access mode: <https://pubs.acs.org/doi/10.1021/acssuschemeng.0c01638> (date of appeal: 26.09.2023).
22. A. Madhu. Developments in application of enzymes for textile processing [Electronic resource] / A. Madhu, J.N. Chakraborty // *J. Clean. Prod.*. – 2017. – Access mode: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2666682021000633#bib0138> (date of appeal: 29.09.2023).
23. Yuzhuo Wang. A Research on the Behavior of a Polyurethane Polymer Waterproof Material Used in Bridge Geotechnical Applications [Electronic resource] / Yuzhuo Wang, Zhichao Xu // *FDMP-Fluid Dynamics & Materials Processing*. – 2021. – Access mode: <https://www.techscience.com/fdmp/v18n4/47299> (date of appeal: 22.09.2023).
24. Improve the structure and optical surface properties of LDPE by ion bombardment technique [Electronic resource] / A.M. Abdul-Kader, A.M. Salem, A.H. Al-Omari та ін.] // *Optical Materials*. – 2021. – Access mode: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0925346721001415?via%3Dihub> (date of appeal: 22.09.2023).
25. A. Koriem. The effect of artificial weathering and hardening on mechanical properties of HDPE with and without UV stabilizers [Electronic resource] / A. Koriem, A.M. Ollick, M. Elhadary // *Alexandria Engineering Journal*. – 2021. – Access mode: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1110016821001800?via%3Dihub> (date of appeal: 22.09.2023).
26. Comprehensive Guide on Polypropylene (PP) [Electronic resource] // *Plastics & Elastomers*. – 2022. – Access mode: <https://omnexus.specialchem.com/selection-guide/polypropylene-pp-plastic> (date of appeal: 26.09.2023).
27. Gijsman P. Long term thermo-oxidative degradation and stabilization of polypropylene (PP) and the implications for its recyclability [Electronic resource] / P. Gijsman, R. Fiorio // *Polymer Degradation and Stability*. – 2023. – Access mode:

<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0141391023000125> (date of appeal: 25.09.2023).

28. Polystyrene [Electronic resource] // Encyclopedia, Science News & Research Reviews. – 2022. – Access mode: <https://academic-accelerator.com/encyclopedia/polystyrene> (date of appeal: 25.09.2023).

29. Lee Tin Sin. Plastics and environmental sustainability issues / Lee Tin Sin, Bee Soo Tuen // Plastics and Sustainability / Lee Tin Sin, Bee Soo Tuen. – Malaysia, 2023. – (Practical Approaches). – C. 113–116.

30. Comprehensive Guide on Polyethylene Terephthalate (PET) [Electronic resource] // SpecialChem. – 2023. – Access mode: <https://omnexus.specialchem.com/selection-guide/polyethylene-terephthalate-pet-plastic> (date of appeal: 28.09.2023).

31. The Effects of Dioctyl Phthalate Plasticization on the Morphology and Thermal, Mechanical, and Rheological Properties of Chemical Crosslinked Polylactide [Electronic resource] / Sen-Lin Yang, Zhi-Hua Wu, Bing Meng, Wei Yang // Journal of Polymer Science Part B Polymer Physics. – 2009. – Access mode: https://www.researchgate.net/publication/229872250_The_Effects_of_Dioctyl_Phthalate_Plasticization_on_the_Morphology_and_Thermal_Mechanical_and_Rheological_Properties_of_Chemical_Crosslinked_Polylactide (date of appeal: 02.09.2023).

32. Tert-Butylhydroquinone [Electronic resource] // The National Center for Biotechnology Information. – 2023. – Access mode: <https://pubchem.ncbi.nlm.nih.gov/compound/Tert-Butylhydroquinone> (date of appeal: 29.09.2023).

33. Effect of the Talc Filler Content on the Mechanical Properties of Polypropylene Composites [Electronic resource] / Lubomir Lapcik, Pavlina Jandrova, Barbora Lapcikova et al. // Journal of Applied Polymer Science. – 2008. – Access mode: https://www.researchgate.net/publication/229924425_Effect_of_the_Talc_Filler_Content_on_the_Mechanical_Properties_of_Polypropylene_Composites (date of appeal: 30.09.2023).

34. Preparation and Characterization of Water-borne Polyurethane Based on Benzotriazole as Pendant Group with Different N-Alkylated Chain Extenders and Its Application in Anticorrosion [Electronic resource] / Aamna Bibi, Ethan Tsai, Yun-Xiang Lan та ін.] // *Molecules*. – 2022. – Access mode: <https://doi.org/10.3390/molecules27217581> (date of appeal: 29.09.2023).

35. Hydrophobic Protective Coatings Based on Functionalized SiO₂ for Wind Devices Applications [Electronic resource] / Chitanu Elena, Teodora Malaeru, Mirela Maria Codescu та ін.] // 12th International Symposium on Advanced Topics in Electrical Engineering (ATEE). – 2021. – Access mode: https://www.researchgate.net/publication/351533689_Hydrophobic_Protective_Coatings_Based_on_Functionalized_SiO_2_for_Wind_Devices_Applications (date of appeal: 29.09.2023).

36. Photooxidation of polymers: Relating material properties to chemical changes [Electronic resource] / J.-F. Larché, P.-O. Bussièrre, S. Thérias, J.-L. Gardette // *Polymer Degradation and Stability*. – 2012. – Access mode: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0141391011003612> (date of appeal: 11.10.2023).

37. Photo-oxidation of polymers—II: The sensitized decomposition of hydroperoxides as the main path for initiation of the photo-oxidation of polystyrene irradiated at 253.7 nm [Electronic resource] / G. Geuskens, D. Baeyens-Volant, G. Delaunois та ін.] // *European Polymer Journal*. – 1978. – Access mode: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/0014305778900526> (date of appeal: 12.10.2023).

38. Construction of Nontoxic Polymeric UV-Absorber with Great Resistance to UV-Photoaging [Electronic resource] / Zhong Huang, Aishun Ding, Hao Guo та ін.] // *Scientific Reports*. – 2016. – Access mode: <https://www.nature.com/articles/srep2550> (date of appeal: 12.10.2023).

39. UV degradation model for polymers and polymer matrix composites [Electronic resource] / T. Lu, E. Solis-Ramos, Y. Yi, M. Kumosa // Polymer Degradation and Stability. – 2018. – Access mode: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0141391018301964>(date of appeal: 12.10.2023).

40. Accelerating the degradation of polyolefins through additives and blending [Electronic resource] / Xingxun Liu, Chengcheng Gao, Parveen Sangwan та ін.] // Journal of Applied Polymer Science. – 2014. – Access mode: <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/full/10.1002/app.40750> (date of appeal: 12.10.2023).

41. Modifications of Polymers through the Addition of Ultraviolet Absorbers to Reduce the Aging Effect of Accelerated and Natural Irradiation [Electronic resource] / Gamal A. El-Hit, Dina S. Ahmed, Emad Yous та ін.] // "Organic and Inorganic Modifications of Polymers for Environmental Applications". – 2021. – Access mode: <https://www.mdpi.com/2073-4360/14/1/20>(date of appeal: 14.10.2023).

42. Robust water repellent treatment for woven cotton fabrics with eco-friendly polymers [Electronic resource] / Muhammad Zahid, Jose A. Heredia-Guerrero, Athanassia Athanassiou та ін.] // Chemical Engineering Journal. – 2017. – Access mode: <https://doi.org/10.1016/j.cej.2017.03.006>(date of appeal: 15.10.2023).

43. ASTM D4966-22 Standard Test Method for Abrasion Resistance of Textile Fabrics (Martindale Abrasion Tester Method) [Electronic resource] // ASTM Compass. – 2022. – Access mode: <https://www.astm.org/d4966-22.html> (date of appeal: 16.10.2023).

44. ДСТУ ISO 4920:2005 Матеріали текстильні. Метод визначення опору до зволоження поверхні (випробування збризкуванням) (ISO 4920:1981, IDT) [Електронний ресурс]. – 2005. – Режим доступу до ресурсу: https://online.budstandart.com/ua/catalog/doc-page.html?id_doc=95304(дата звернення 11.10.2022).

45. ДСТУ ISO 105-B02:2009 Матеріали текстильні. Визначення тривкості фарбовання. Частина B02. Метод визначення тривкості фарбовання

до дії штучного світла з використанням ксенонової дугової лампи (ISO 105-B02:1994, IDT) [Електронний ресурс]. – 2009. – Режим доступу до ресурсу: https://online.budstandart.com/ua/catalog/doc-page?id_doc=95203(дата звернення 11.10.2022).

46. ASTM G155-21 Standard Practice for Operating Xenon Arc Lamp Apparatus for Exposure of Materials [Electronic resource] // ASTM Compass. – 2023. – Access mode: <https://www.astm.org/g0155-21.html> (date of appeal: 12.10.2023).

47. ASTM D4966-22 Standard Test Method for Abrasion Resistance of Textile Fabrics (Martindale Abrasion Tester Method) [Electronic resource] // ASTM Compass. – 2023. – Access mode: <https://www.astm.org/g0155-21.html> (date of appeal: 12.10.2023).

48. ДСТУ ISO 12947-2:2005 Матеріали текстильні. Визначення опору стиранню методом Мартиндаля. Частина 2. Визначення зруйнованості зразка (ISO 12947-2:1998, IDT) [Електронний ресурс]. – 2005. – Режим доступу до ресурсу: https://budstandart.ua/normativ-document.html?id_doc=77175&minregion=852 (дата звернення 15.10.2022).

ДОДАТКИ

Таблиця Д.1- Дисперсійний аналіз результатів розрахунку

Джерело дисперсії	Число ст. своб.	Сума квадр.	Сер. квадр.	F-спів віднон.	F-критерій	
					95%	90%
Строки (Наповнювач)	4	1209	302,3	1,15	7,34	4,45
Стовбці (співвідношення полімеру до пластифікатора)	4	2867	716,75	2,45		
Лат.літ. (вид відходів пластику)	4	3946	986,5	3,86		
Грец.літ.(вміст УФ-стабілізатора)	4	678	169,5	0,09		
Залишок	4	7094	1773,5	-		