

Хмельницький національний університет

Факультет технологій і дизайну

Кафедра хімії та хімічної інженерії

### КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА

Розробка методу комплексної оцінки життєвого циклу матеріалів для легкої промисловості на основі вторинної сировини

Галузь знань 16 – Хімічна та біоінженерія

Спеціальність 161 – Хімічна технологія та інженерія

Освітня програма – Хімічна технологія та інженерія

ДРХТІ. 017036.21.02.00

Виконав: здобувач 2 курсу, група ХТІм – 21 – 1 \_\_\_\_\_ Оксана ТРУХІНА

Керівник: доктор техн. наук, доцент \_\_\_\_\_ Ольга ПАРАСКА

Нормоконтролер: \_\_\_\_\_ Олександр СТРЕМЕЦЬКИЙ

До захисту допускаю:

Зав. кафедри хімії та хімічної інженерії \_\_\_\_\_ Ольга ПАРАСКА

\_\_\_\_\_ 2022 р.

Хмельницький, 2022

## ХМЕЛЬНИЦЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

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

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри \_\_\_\_\_

Ольга ПАРАСКА“ 1 ” липня 2022 р.

## ЗАВДАННЯ НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ

ТРУХІНА Оксана

Прізвище, ім'я

1.Тема кваліфікаційної роботи Розробка методу комплексної оцінки життєвого циклу матеріалів для легкої промисловості на основі вторинної сировини

Керівник роботи ПАРАСКА Ольга

Прізвище, ім'я

Затверджено наказом ректора університету від “ 01 ” 07 2022 р. № 83

3.Вихідні дані до кваліфікаційної роботи вироби легкої промисловості на основі вторинної сировини, характеристики технологій механічної та хімічної переробки полімер містких відходів

4.Зміст пояснювальної записки (перелік питань, які потрібно розробити) Аналіз ринку виробів легкої промисловості та матеріалів для їх виготовлення, вироби легкої промисловості на основі вторинної сировини, вибір об'єктів та методик дослідження, дослідження впливу полімерних покриттів на основі рециклатів на життєвий цикл деталей, розробка методу комплексної оцінки життєвого циклу виробів легкої промисловості на основі вторинної сировини

5.Перелік графічного матеріалу (із зазначенням обов'язкових креслень) схема отримання виробів легкої промисловості на основі вторинної сировини, оцінки життєвого циклу таких виробів, результати інвентаризацій та оцінки значущості виробів на основі різної сировини

## 6. Консультанти розділів кваліфікаційної роботи

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		Завдання видав	Завдання прийняв
Огляд джерел науково-технічної інформації	ПАРАСКА Ольга, зав.кафедрою		
Вибір об'єктів та методик дослідження	ПАРАСКА Ольга, зав.кафедрою		
Експериментально-аналітичний розділ	ПАРАСКА Ольга, зав.кафедрою		

7.Дата видачі завдання 1 липня 2022 р.

## КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

Назва етапів (розділів) кваліфікаційної роботи	Строк виконання етапів роботи	Примітка
Вступ	до 10.09.2022	виконано
1 Огляд джерел науково-технічної інформації	до 01.10.2022	виконано
1.1 Аналіз ринку виробів легкої промисловості та матеріалів для їх виготовлення	до 01.10.2022	виконано
1.2 Вироби легкої промисловості на основі вторинної сировини	до 01.10.2022	виконано
2 Об'єкти та методи дослідження	до 01.11.2022	виконано
2.1 Характеристика об'єктів дослідження	до 01.11.2022	виконано
2.2 Методи дослідження	до 01.11.2022	виконано
3 Експериментально-аналітичний розділ	до 01.12.2022	виконано
3.1 Дослідження впливу полімерних покриттів на основі рециклатів на життєвий цикл деталей	до 01.12.2022	виконано
3.2 Розробка методу комплексної оцінки життєвого циклу виробів легкої промисловості на снові вторинної сировини	до 01.12.2022	виконано
Висновки	до 10.12.2022	виконано

Студент \_\_\_\_\_  
Підпис

Оксана ТРУХІНА  
Ініціали, прізвище

Керівник проекту \_\_\_\_\_  
Підпис

Ольга ПАРАСКА  
Ініціали, прізвище

## Реферат

Розробка методу комплексної оцінки життєвого циклу матеріалів для легкої промисловості на основі вторинної сировини

Автор роботи – студентка групи ХТІм – 21 – 1 Оксана ТРУХІНА

Керівник роботи – доктор. техн. наук, доцент Ольга ПАРАСКА

Обсяг пояснювальної записки 103 сторінки, рисунків 24, таблиць 18, джерел посилання 42.

графічної частини 17 слайдів презентації.

Ключові слова: ОЦІНКА ЖИТТЄВОГО ЦИКЛУ, ХІМІЧНИЙ РЕЦИКЛІНГ ПОЛІМЕРНИХ ВІДХОДІВ, ВИРОБИ ЛЕГКОЇ ПРОМИСЛОВОСТІ.

У роботі проведено аналіз літературних джерел, щодо використання для виготовлення виробів легкої промисловості вторинної сировини. Проаналізовано та вибрано об'єкти дослідження, які являють собою відходи поліетилентерефталату для подальшого використання продуктів їх механічної та/або хімічної переробки у виробі легкої промисловості. Досліджено вплив полімерних покриттів на основі рециклатів на життєвий цикл деталей виробів. Розроблено та проаналізовано метод оцінки життєвого циклу виробів легкої промисловості на основі відходів.

Студентка групи ХТІм – 21 – 1

Оксана ТРУХІНА

Дата подання роботи до захисту 22.12.22

## ЗМІСТ

	С.
Вступ.....	6
1 Огляд джерел науково-технічної інформації.....	10
1.1 Аналіз ринку виробів легкої промисловості та матеріалів для їх виготовлення .....	10
1.2 Вироби легкої промисловості на основі вторинної сировини...	22
2 Об'єкти та методи дослідження .....	34
2.1 Об'єкти дослідження.....	34
2.2 Методи дослідження.....	38
2.2.1 Методики оцінки життєвого циклу виробів легкої промисловості.....	38
2.2.2 Методи дослідження життєвого циклу деталей виробів легкої промисловості.....	49
3 Експериментально-аналітичний розділ.....	52
3.1 Дослідження впливу полімерних покриттів на основі рециклатів на життєвий цикл деталей.....	52
3.2 Розробка методу комплексної оцінки життєвого циклу виробів легкої промисловості на снові вторинної сировини.....	55
.....3.2.1 Тканини на основі вторинної сировини.....	57
.....3.2.2 Допоміжні речовини у легкій промисловості на основі вторинної сировини.....	78
Висновки.....	93
Перелік джерел посилання.....	96
Додаток А Схема викликів, пов'язаних з хімічними речовинами, у життєвому циклі виробів легкої промисловості.....	101
Додаток Б Оцінка життєвого циклу допоміжних речовин у взуттєвій промисловості.....	102

## ВСТУП

Легка промисловість України охоплює галузі, що виробляють товари народного споживання – тканини, одяг, взуття, предмети галантереї та парфумерії тощо. Серед них – текстильна, швейна, трикотажна, шкіряно-галантерейна, взуттєва, хутрова та інші галузі.

Сировиною для галузі є натуральні, штучні та синтетичні волокна. Легка промисловість України переробляє як власну (льон, шкіра, хутро, хімічні волокна, вовна), так і привізну (вовна, бавовна, текстиль) сировину.

Легка промисловість - одна з найстаріших галузей народного господарства. На сьогодні легка промисловість - це 25 підгалузей, підприємства яких мають швидкий обіг капіталу, високу рентабельність виробництва. Після продуктів харчування – це друга щодо потреб населення галузь. Потужності легкої промисловості України спроможні виробляти близько 1 млрд.м<sup>2</sup> тканин, понад 3млрд. дм<sup>2</sup> шкіртоварів, 150 млн. пар взуття, більш як 325,8 млн. пар панчішно-шкарпеткових виробів, 200 млн. од. одягу, понад 200 млн. од. трикотажних виробів, 200 млн. шт. фарфорового посуду, 2 млн. м<sup>2</sup> натуральних вовняних класичних килимів та іншої продукції.

Ця промисловість України може стати базовим джерелом створення загальнодержавних фінансових нагромаджень і формування необхідного фінансового ринку, а також дасть можливість створити за короткий час власний інвестиційний потенціал для інших галузей промисловості та важливих соціальних програм. Тому необхідно в інтересах України терміново створити стартові передумови для «запуску» легкої промисловості до режиму стійкого функціонування та досягнення нею рівня самофінансування.

Забезпечити це відродження можна і необхідно тільки за умови, що заходи будуть системними та комплексними, цілеспрямованими і достатніми для отримання відчутних позитивних результатів [1].

В той же час питання навколишнього середовища все більше відіграють важливу роль у легкій промисловості, як з точки зору державних постанов, так і з точки зору очікувань споживачів. Усі продукти та послуги мають певний життєвий цикл. Життєвий цикл стосується періоду від фази сировини продукту до першого випуску готового продукту на ринок до його остаточного вилучення. Незважаючи на те, що сектор легкої промисловості є одним із найбільш споживчих секторів, методам переробки та регенерації в ньому не надається особливого значення. Оцінка та аналіз життєвого циклу (ОЖЦ) детально пояснює потенціал відходів (рисунок 1), використання енергії та вплив на навколишнє середовище кожного етапу для вирішення проблеми викидів парникових газів (ПГ). Промисловість має переглянути шляхи досягнення більш екологічних матеріалів і технологій, а також покращення переробки [2]. Цілісна перспектива ОЖЦ зменшує ризик того, що нові рішення для технології виробництва текстилю, і в цілому для легкої промисловості, спрямовані на зменшення забруднення, просто перенесуть вплив на навколишнє середовище з однієї фази життєвого циклу на іншу або з одного типу впливу на навколишнє середовище на інший.



Рисунок 1 – Схема оцінки життєвого циклу виробу

Саме це і визначило мету роботи, яка полягає у розробці методу комплексної оцінки життєвого циклу виробів легкої промисловості на основі

вторинної сировини, щоб вона могла забезпечити цілісне керівництво щодо покращення екологічних показників виробів легкої промисловості.

Для досягнення мети були визначені основні завдання:

- ✓ аналіз ринку виробів легкої промисловості та матеріалів для їх виготовлення, в тому числі і з вторинної сировини;
- ✓ вибір об'єктів дослідження, а саме, матеріалів на основі вторинної сировини, які можна використати у виробках легкої промисловості;
- ✓ підбір методик для оцінки життєвого циклу матеріалів на основі вторинної сировини та методів дослідження життєвого циклу деталей виробів легкої промисловості;
- ✓ дослідження впливу полімерних покриттів на основі рециклатів на життєвий цикл деталей виробів легкої промисловості;
- ✓ розробка комплексної методології ОЖЦ виробів легкої промисловості на основі вторинної сировини.

Основна перевага використання ОЖЦ для оцінки впливу виробів легкої промисловості, в тому числі на основі вторинної сировини полягає в потенціалі кількісного вираження екологічної ефективності порівняно з якісними, напівкількісними методами та методами, орієнтованими на трудомісткі механізми управління.

Об'єктом дослідження є вироби легкої промисловості на основі вторинної сировини.

Предметом дослідження – процеси виготовлення, використання та утилізації виробів легкої промисловості.

Методи дослідження.

Використовувалися методи теоретичного аналізу, систематизації та оцінки джерел науково-технічної інформації щодо методології ОЖЦ у легкій промисловості; експериментальні методи дослідження експлуатаційних властивостей полімерних покриттів на основі рециклатів у виробках легкої промисловості; методи обробки та аналізу результатів дослідження.

Практичне значення одержаних результатів.

В роботі представлено основу для систематизації інвентаризації життєвого циклу процесів для виготовлення виробів легкої промисловості на основі вторинної сировини в порівнянні з первинною, методологію для узгодження результатів інвентаризації з факторами характеристики в оцінці впливу.

Апробація результатів кваліфікаційної роботи.

Кваліфікаційна робота виконана в рамках держбюджетної теми № 1Б-2022 «Розробка технологій комплексної переробки полімермістких відходів у виробу легкої промисловості». За результати роботи опублікована 1 стаття у фаховому виданні України. На III Всеукраїнській науково-практичній онлайн-конференції «Тенденції і проблеми розвитку сучасної хімічної освіти» оприлюднені результати досліджень викладені у магістерській роботі.

Структура та обсяг кваліфікаційної роботи.

Кваліфікаційна робота магістра складається із вступу, трьох розділів, висновків, списку використаних джерел і додатків. Повний обсяг кваліфікаційної роботи викладено на 103 сторінках комп'ютерного тексту, в тому числі основна частина роботи на 82 сторінках. Робота містить 18 таблиць, 24 рисунків, 2 додатки. Список використаних джерел містить 42 найменування.

## 1 ОГЛЯД ДЖЕРЕЛ НАУКОВО-ТЕХНІЧНОЇ ІНФОРМАЦІЇ

### 1.1 Аналіз ринку виробів легкої промисловості та матеріалів для їх виготовлення

У 2019 році на території України функціонували 2518 компаній легкої промисловості, на яких працювало близько 88 тис. співробітників. У текстильному виробництві діяли 510 підприємств (15,9 тис. осіб), у виробництві одягу – 1 669 компаній (49,5 тис. осіб), у виробництві шкіри та взуття – 339 підприємств (22,5 тис. осіб). При цьому легкою промисловістю було реалізовано продукції обсягом 29 655,9 млн. грн. (рис. 2), що становить 1 % від загального обсягу реалізованої промислової продукції.

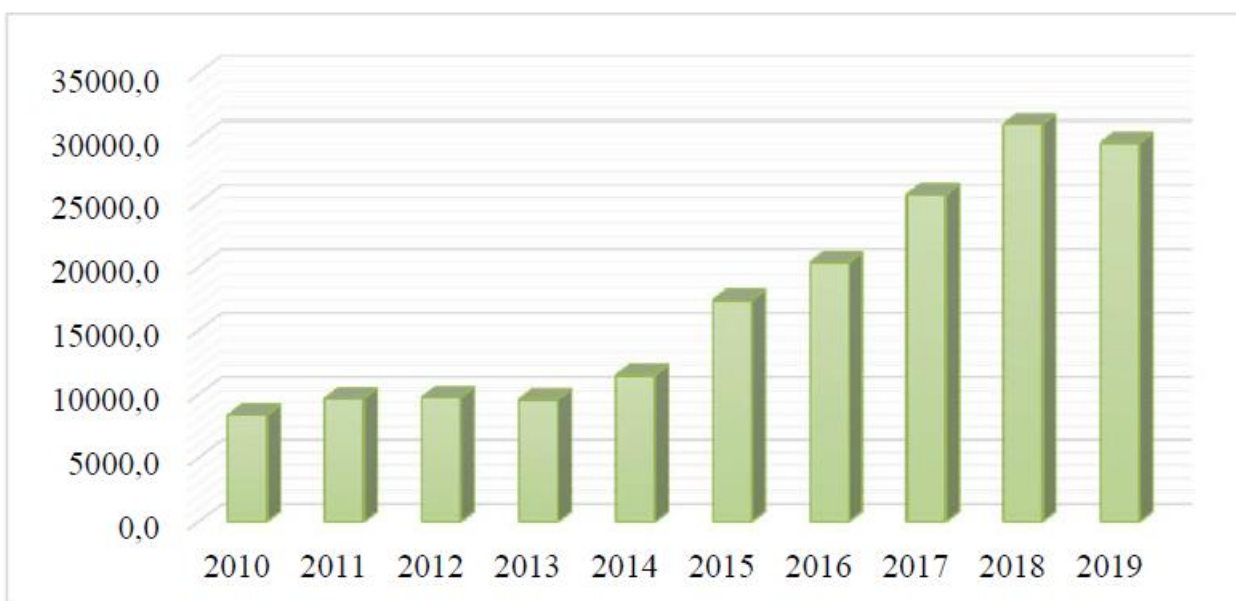


Рисунок 2 - Обсяг реалізованої продукції виробництва текстилю, одягу, шкіри, виробів зі шкіри та інших матеріалів (млн. грн.) [3]

Виробництво тканин протягом останніх років зазнало значних коливань. У 2015 році відбулося значне збільшення попиту на одяг та вироби з текстилю для армії, поліції, рятувальників та неурядових організацій, що підтримують Донбаський регіон, що привело до збільшення виробництва. Вже у 2016 році обсяг цих замовлень зменшився з прийняттям Угоди про

зону вільної торгівлі з ЄС, запровадженням Росією імпортного мита на різні види одягу. Це підтверджує високу чутливість попиту на українську тканину до змін на цих ринках, що вказує на дуже вузьку ринкову базу та неспроможність швидко переходити на інші ринки.

Обсяг експорту продукції легкої промисловості перевищує імпорт у 2,5 рази (рис. 3). В Україні залишилась невелика кількість текстильних підприємств. Компанії, які виробляють вовняні та камвольні тканини, працюють не на повну потужність.



Рисунок 3 - Обсяги імпорту та експорту продукції легкої промисловості у 2019 році

Значна частина виробництва вовняної продукції використовується не для споживчих товарів, а для військових та інших форм. Вітчизняним комбінатам, що виробляють бавовняні тканини, важко конкурувати з новими

туркменськими виробниками текстилю (тканин) через цінові субсидії на сиру бавовну. У результаті вони працюють набагато слабше власної потужності.

Незважаючи на зниження обсягів реалізації продукції у 2019 році, українське виробництво одягу та взуття має потенціал до розширення за умови інтегрованості внутрішнього бізнес-потенціалу. Промисловість має подолати певні бар'єри інтегрування, просуватись на нові ринки та активізувати залучення інвестицій.

Задля підвищення рівня пропозиції на ринку необхідно інтегрувати діяльність фабрик для зростання продуктивності та залучення інвестицій, як вітчизняних, так і іноземних, для поглиблення інтегрованості та розширення наявної потужності. Задля покращення ситуації з попитом слід забезпечити ефективну інтеграцію українських виробників, брендів, творців моди із зарубіжними партнерами, вихід на експортні ринки, зокрема на ЄС, Білорусію, ЄАВТ, Близький Схід та Канаду. При цьому вітчизняним компаніям можна спрямувати інтегрованість у контексті залучення постачальників тканин поза територією України, таких як:

1) Туреччина, яка є найближчим постачальником різноманітних тканин високої якості (деякі турецькі комбінати не передбачають великих мінімальних замовлень, що є зручним для виробників одягу, які хочуть виконувати невеликі замовлення; час реагування та надійність з боку Туреччини також перебувають на високому рівні, що зручно для виробників одягу, які конкурують щодо швидкості та адаптації);

2) Китай, Малайзія, Індонезія та інші країни Далекого Сходу, які є джерелом найрізноманітнішого вибору тканин та, як правило, за нижчими цінами (Тайвань і Корея іноді використовуються як джерело більш спеціалізованих тканин, недоступних в інших місцях);

3) Індія та Пакистан, які є основними постачальниками бавовни та бавовняно-змішаних тканин;

4) Європа, основна частка з Італії та Польщі (матеріали з Італії використовуються для високоякісних продуктів, таких як високотехнологічний спортивний одяг;

Інтегрованість із постачальниками тканин є особливо гострою проблемою для виробників одягу. В Україні доступний лише обмежений вибір тканин, іноді якість не відповідає рівню вимог багатьох ринків, зокрема ринку експорту до ЄС. Зростання виробництва тканин для пошиття одягу дасть змогу українським ланцюгам постачання бути більш гнучкими, відповідно, ціна та швидкість реагування будуть конкурентними. Місцеве виробництво тканин є важливим для розвитку експорту одягу до ЄС на правах безмитного ввезення.

Для ефективного інтегрованого розвитку текстильної галузі необхідні чотири важливі ресурси, такі як технічні ноу-хау, значні обсяги енергії (електричної та теплової, отже, необхідний перехід на «зелену» енергію для споживання пари), велика кількість води та очистка промислових стоків, значні обсяги інвестицій.

До основних критеріїв ефективності функціонування інтегрованого промислового комплексу можна віднести:

- збільшення частки наукоємної продукції в обсязі інтегрованого виробництва продукції;
- використання нових технологій у процесі інтегрованого виробництва продукції;
- зростання рівня модернізації виробничого ланцюжка та встановлення відповідності обсягів виробництва на кожному етапі інтегрованого виробництва готової продукції;
- рівень підвищення конкурентоспроможності продукції в результаті інтегрованості бізнесу;
- обсяг залучених інвестицій у текстильну, швейну та логістичну сфери діяльності;
- ефективність використання основних фондів;

- обсяг державної підтримки щодо інноваційної діяльності учасників інтегрованого комплексу;
- зростання доходів працівників інтегрованого комплексу [3].

Оскільки легка промисловість включає виробництво текстилю, одягу, шкіри та взуття, виготовлення виробів із хутра та галантерейне виробництво (рисунок 4), то буде мати декілька видів кінцевих продуктів, які відносяться до виробів легкої промисловості.

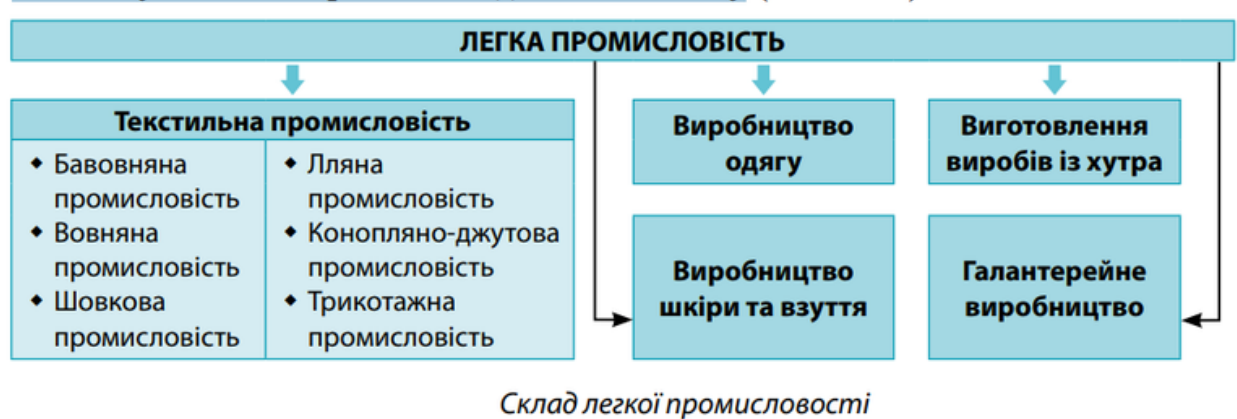


Рисунок 4 – Склад легкої промисловості

Кінцевою продукцією текстильного виробництва є тканини. Швейна промисловість з тканин виробляє готовий одяг та інші вироби побутового та технічного призначення. Шкіряно-взуттєва промисловість виготовляє натуральну шкіру та шкірозамінники, а також вироби з них: взуття та шкіряний одяг. Хутряна промисловість спеціалізується на виготовленні виробів з хутра тварин диких, кліткового утримання та свійських. Галантерейне виробництво виготовляє сотні дрібних побутових товарів повсякденного попиту [4].

Окрім побутових товарів, легка промисловість випускає деяку продукцію виробничого призначення: наприклад технічні тканини, шкірозамінники та шкіру для меблевої промисловості, автомобілебудування тощо.

Легка промисловість найтісніше пов'язана виробничими зв'язками з сільським господарством та хімічною промисловістю.

З одного боку, для виробництва тканин, шкіри та хутра використовується рослинна, тваринна або хімічна сировина. Рослини та тварини дають волокно, з якого роблять нитки, а потім тканини. Крім того, свійські тварини дають вовну, натуральний шовк, шкіри. Хутро одержують, як від домашніх, так і від диких тварин. У другій половині XIX ст. окрім натурального почали одержувати хімічне волокно, а з 60-х рр. XX ст. окрім натуральних шкір та хутра, почали використовувати шкірозамінники та синтетичне хутро.

З іншого боку, під час виробництва тканин та обробки шкур тварин використовують різні хімічні речовини: кислоти, луги, барвники.

Легка промисловість також тісно пов'язана з машинобудуванням, адже для одержання продукції вона використовує спеціальне обладнання: ткацькі верстати, швейні машини, машини для пошиття взуття тощо.

Особливістю легкої промисловості є працемістке виробництво, на якому до 75% зайнятих – жіночі трудові ресурси. Тому в містах, які спеціалізуються на легкій промисловості, існує чисельна перевага жіночого населення над чоловічим.

Водночас виробництва є достатньо екологічно чистими, не потребують значних витрат води та енергії, тому їх можна розміщувати у густонаселених місцях.

Підприємства первинної переробки сировини (бавовнику, вовни, шовку, льону) мають велику кількість відходів (до 30–40% вихідної сировини) і тому зорієнтовані на сировинний чинник. Через те підприємства, які готують рослинну сировину для одержання з неї ниток та м'яють вовну, розташовані недалеко від сільськогосподарських підприємств.

Початковим виробництвом легкої промисловості є текстильне виробництво. Воно складається з групи виробництв, які виробляють різні за походженням та хімічним складом тканини. Для виробництва тканин у переробку йдуть волокна – довгі гнучкі нитки, які одержують з природних або синтетичних полімерів (рисунок 5).



Рисунок 5 – Основна сировина для легкої промисловості

Розрізняють природні та хімічні волокна. Природні волокна мають рослинне, тваринне або мінеральне походження. Рослинні волокна одержують при переробці кількох культурних рослин, які називаються волокнистими. Це бавовник, льон, коноплі, джут, агава. Волокно вилучають або з їх насіння (бавовник), або стебла (льон, коноплі, джут), або листя (агава). Основа рослинного волокна – целюлоза.

Тваринні волокна за своїм хімічним складом є білковими полімерами, тому вони еластичні. Їх одержують з вовни тварин (овечок, ангорських кіз, лам, верблюдів, окремих порід собак) або коконів тутового шовкопряда. Наприклад, під час стрижки одна вівця найкращої породи мериносів за рік може дати 6–7 кг вовни, а з одного верблюда вичісують 4–9 кг пуху. Вовна тварин має високі теплоізоляційні властивості, тому тканини з неї добре зберігають тепло.

Мінеральні волокна виробляють з волокнистої гірської породи – азбесту. Його волокно дуже цупке й не горить. Із нього виготовляють технічні тканини: брезент, тканини для захисту одягу, ковдри для гасіння пожежі, ізоляційні покриття.

До натуральної сировини зазвичай додають якусь частку хімічної: штучні та синтетичні волокна. Штучним називають волокно, яке виробляють з природних полімерів, зокрема целюлози, що її одержують з деревини. Так навчилися у другій половині XIX ст. виробляти віскозу – єдине штучне волокно натурального походження. Для цього тирсу різних

порід дерев перетворюють на густу рідину і протягом доби варять у хімічному розчині під високим тиском. Потім з добутої маси формують нитки. Зовні важко відрізнити віскозу від натуральних тканин. За її блиск і гладку поверхню називають «штучним шовком». Сировиною для одержання віскози також може бути бавовняний пух, який залишився на насінні після того, як з нього зняли довге волокно. Тканина з віскози приємна на дотик, рівномірно зафарбовується, добре пропускає повітря. Синтетичне волокно є продукцією хімічної промисловості, його одержують в результаті переробки природного газу, нафти. Ці міцні й термостійкі волокна почали синтезувати у 40-х рр. ХХ ст. До синтетичних волокон належать понад 600 тис. їх видів, з яких у промислових масштабах добувають близько десятої частини. Назви найвідоміших з них можна прочитати на етикетках у складі тканин: поліамідні (капрон, нейлон), поліестерні (лавсан), поліакрилові (нітрон) та інші волокна. Синтетичні волокна окрім як для виробництва тканин використовують для виробництва синтетичного хутра, рибальських сіток, автомобільних шин, у хірургії.

Отже, текстильна промисловість – це група виробництв легкої промисловості, які займаються переробкою природних та хімічних волокон на пряжу або нитки, а потім – на тканини.

Пряжею називають одержаний з волокнистої рослинної або тваринної маси матеріал. Пряжа складається з коротких волокон, які скручують у процесі прядіння. Нитка, що її одержують з волокон без прядіння, має необмежену довжину.

Виробництво тканини відбувається у кілька етапів. На першому – у місцях одержання рослинної або тваринної сировини відбувається її первинна обробка. Так працюють бавовноочисні, вовномийні, шовкомотальні, льонообробні заводи. Їх продукцією є волокно, яке транспортують до місця подальшої переробки у міста, де є достатня кількість трудових ресурсів для роботи текстильного підприємства.

Для уникнення зайвих витрат на перевезення наступні стадії виробництва поєднано у межах одного текстильного комбінату. Спершу відбувається процес прядіння, що складається з кількох послідовних етапів, продукцією яких є нитки або пряжа (рисунок 6). Потім з них під час ткацтва виробляють сурову тканину – неоздоблене полотно сірого кольору. Завершальна стадія – це оздоблення тканини: вибілювання білої тканини, фарбування однотонної або набивання малюнка на строкату.

Текстильна промисловість залежно від використаної для виробництва тканини сировини складається з таких виробництв, як бавовняна, вовняна, шовкова, лляна, конопляно-джутова промисловість. Виокремлюють також трикотажну промисловість, яка виробляє тканини з різної сировини методом плетіння. У середині ХХ ст. натуральне волокно поступово почало витіснятися хімічним через нижчу собівартість останнього. Але нині більшу частину тканин виробляють з натуральних волокон з додаванням невеликої кількості хімічних, що поліпшує зовнішній вигляд тканин та полегшує догляд за ними.



Стадії виробництва тканини на текстильному комбінаті

Рисунок 6 – Стадії виробництва тканини на текстильному комбінаті [4]

У швейній промисловості виробляється 4 види тканини:тканина, трикотажне полотно, неткане полотно, плетена тканина.

Мокра обробка тканини – це процес, який використовується для фарбування та обробки текстилю. Процес фарбування передбачає нанесення барвників на тканину, щоб вона стала кольоровою. Процес вологої обробки може бути розроблений у деяких деталях. Процеси вологої підготовки включають, відповідно, перевірку тканини, зшивання, видалення розмірів, очищення, відбілювання, фарбування, друк, оздоблення.

Оздоблення текстилю може передбачати додавання додаткових властивостей, таких як захист від пігментації, видалення бруду або вогнезахисні обробки різними допоміжними речовинами для текстилю. Це хімічне нанесення перед пакуванням і транспортуванням.

Текстильний друк включає використання струменевого друку на таких тканинах, як футболки, толстовки, фартухи, дитячий одяг тощо, трафаретний друк на різних видах одягу, включаючи сорочки та головні убори тощо; цифровий текстильний друк, який використовує комп'ютери/плотери для друку на тканині; флексографія, яка друкує на пластиковій плівці; глибокий друк, який друкує вигравіруваними циліндрами на папері; сублімаційний друк барвників, коли хімічні речовини, активовані нагріванням, переносяться на носій із струминного принтера.

Існує кілька видів оздоблення текстилю, які можуть виконуватися ручним або машинним способом. Оздоблення може передбачати додавання додаткових властивостей, таких як засоби проти пігментації, виділення бруду або вогнестійкі обробки, які застосовуються хімічним шляхом перед пакуванням і транспортуванням. Сублімаційний друк, коли хімічні речовини, активовані нагріванням, переносяться на носій зі струминного принтера [5].

Сировина, яка використовується для одягу та супутніх виробів, може бути класифікована відповідно до конструкції. Конструкція ниток перетворює пряжу на ткани, трикотажні та плетені тканини. Матова конструкція перетворює волокна на повсть, папір і прокладку. Молекулярно-

масова конструкція виробляє пластикову плівку, металеву фольгу та гумові плівки, а клітинна конструкція є будівельним матеріалом для шкір, хутра, шкіри та синтетичної піни.

Усі чотири конструкції використовуються для всіх типів одягу, хоча для нижньої білизни використовуються лише незначні кількості молекулярної маси та клітинної структури. Більшість верхнього одягу виготовляється з тканих і трикотажних матеріалів з деяким використанням шкіри, хутра, пластмаси, гуми, пінопласту та металу. Взуття, яке спочатку виготовлялося виключно зі шкіри (обробленої шкіри), тепер може виготовлятися з тканин, пластику, гуми, пінопласту та металу.

Шкіру виготовляють зі шкір багатьох тварин, у тому числі овець, кіз, козенят, телят, свиней, коней, великої рогатої худоби, ящірок, змій, алігаторів, лосів, буйволів, страусів, кенгуру, серн, моржів, слонів і тюленів. Найбільш поширені шкіри з перших семи перерахованих; інші - це екзотична шкіра, яка використовується меншою мірою. Замша та лакована шкіра є типами обробки. Пластик, пінопласт, повсть, папір, гума та металік використовуються товщиною від павутинки, павутини до найтовстішої шкіри [6].

У легкій промисловості, крім основних видів матеріалів, наведених вище, досить часто використовують і допоміжні матеріали. Основна роль таких матеріалів полягає у наданні швейним, або взуттєвим виробам додаткових експлуатаційних властивостей (підвищення міцності, надання спеціальних властивостей (спецодяг та спецвзуття) і т.п.). Основними компонентами таких матеріалів у більшості випадків є полімерні композиції.

Клейовий метод з'єднання деталей швейних виробів знаходить все більше використання в швейному виробництві. Використання клейових з'єднань дає можливість замінити ручні операції на машинні, значно підвищує продуктивність праці, поліпшує зовнішній вид та якість швейних виробів, знижує їх собівартість. В зв'язку з поліпшенням якості клейових матеріалів, розширенням їх асортименту, збільшенням випуску прокладкових

матеріалів з клейовими покриттями область застосування клейових матеріалів та економічна доцільність їх використання постійно зростають.

Так наприклад, при виготовленні швейних виробів використовують такі види клеїв: поліамідні ПА, поліетилен високого тиску ПЕВТ, полівінілхлоридні ПВХ та полівінілбутералеві ПВБ. Клейові матеріали використовуються у вигляді порошків, паст, плівок, сіток. Вони можуть бути нанесені на поверхню прокладкового матеріалу у вигляді суцільної плівки, смуг, регулярного та нерегулярного крапкового покриття.

До клейових матеріалів для з'єднання деталей одягу відносять також клейові нитки та павутинки - тонкі поліамідні або поліетиленові мононитки діаметром 0,3-0,5 мм. їх прокладають на окремих ділянках та деталях швейних виробів для термоконтактного з'єднання деяких деталей. При наступних операціях пресування вони створюють міцні еластичні клейові шви [7].

Аналогічно, це стосується і виробництва взуття, шкіргалантерейних виробів.

В якості сировини для отримання нетканих полотен використовують натуральні: бавовна, льон, вовна або шовк - а також синтетичні і штучні волокна. Крім того, часто в переробку надходять відходи текстильного виробництва.

Процес виготовлення включає в себе кілька етапів:

- 1 Очищення і сортування сировини. Одночасно готують сполучні розчини.
- 2 Формування полотна - вкладання волокон в різних напрямках.
- 3 Зв'язування матеріалу.
- 4 Обробка полотна - сушка, забарвлення, відбілювання і т. п.

Класифікація технологій з'єднання волокон в монолітний виріб включає в себе кілька способів.

Найчастіше використовують клейовий метод для виготовлення основи під клейонку, замітник шкіри або лінолеум, для прокладок тканин -

флизелина, дублерина, а також у поліграфічній галузі. Розкладені волокна просочуються спеціальними клеями складами, які, застигаючи, утворюють полотно.

Отримані таким способом матеріали мають високу міцність, твердість і пружність. Вони стійкі до нагрівання, хімічного чищення і прання. Характерною особливістю є достатній рівень аерації і значна гігроскопічність.

При в'язально-пробивному методі підготовлені та сформовані волокна пров'язують капроновими або бавовняними нитками, що утворюють жорсткий каркас. Таким чином отримують фланель, байку, ватин, драп і сукно.

При голкопробивному методі підготовлений матеріал розкладається на спеціальних верстатах і піддається численному проколюванню сильно нагрітими зазубреними голками. В результаті волокна хаотично переплутуються, полотно скріплюється.

Голкопробивним способом отримують більшість утеплювачів - синтепон, ватин і інші.

При термічному методі на підготовчій стадії додають певну кількість волокон, що мають температуру плавлення нижче, ніж основна маса. При нагріванні вони швидко розплавляються і утворюють цілісне виріб [8].

## 1.2 Вироби легкої промисловості на основі вторинної сировини

В останні роки вирішення проблеми переробки промислових відходів є першочерговим завданням, особливо у зв'язку з поступовим виснаженням природних ресурсів. Важливу роль відіграє повне використання всіх видів промислових відходів для всіх галузей народного господарства. Ці завдання повністю й успішно вирішуються в багатьох розвинених країнах. Це стосується, зокрема, Японії, США, Німеччини, країн Балтії та інших [9]. В умовах ринкової економіки пропагується необхідність забезпечення

максимальної нешкідливості технологічних процесів для дослідників і промисловців, органів місцевого самоврядування та повного використання всіх відходів виробництва, тобто створення безвідходних технологій. Це ж стосується і підприємств легкої промисловості, які повинні прагнути до найбільш оптимального їх використання при максимальному зниженні виходу відходів виробництва.

За останні роки в легкій промисловості вжито багато заходів щодо збору та покращення використання вторинних матеріальних ресурсів, але на даний час рівень використання значних видів відходів не можна вважати задовільним.

Багато видів цінних промислових відходів не переробляються (спалюються, викидаються в сміття) або використовуються з них досить неефективно. Однією з причин незадовільного використання вторинних матеріальних ресурсів є те, що характеристика відходів, джерела та обсяги їх утворення, техніко-економічні показники пристроїв для заготівлі та використання вторинних матеріальних ресурсів, не ефективні та не відповідають вимогам законодавства. використання щодо опису продукції, виготовленої з них, а також нормативним вимогам.

Створення нових виробничих ліній з переробки відходів, а також проектування та вдосконалення обладнання для переробки вторинних матеріальних ресурсів має велике значення для розробки і широкого впровадження ресурсомістких технологій, розвитку існуючих ліній електропередачі, механізмів і машин, що використовуються в текстильній промисловості нашої країни.

Вторинні матеріальні ресурси — це ті, з яких при виготовленні продукту утворюються відповідні відходи виробництва, сировина і матеріали, що не повністю втратили споживчу цінність, залишки сировини. Вторинні матеріальні ресурси можуть використовуватися як сировина або як доповнення до неї в господарстві.

Вторинні матеріальні ресурси неодноразово використовуються як сировина для отримання основної продукції, основною продукцією у виробництві є утворювані оборотні відходи, втрати, пов'язані з особливостями існуючої технології виробництва при сучасному стані технології (розсіювання, випаровування, усадка тощо), тобто безповоротні втрати, а також відходи виробництва і споживання (наприклад, пил, виділені домішки, які не використовуються в народному господарстві при сучасному рівні розвитку науки і техніки або використання яких є небажаним) занедбані входи.

Вторинні матеріальні ресурси можуть бути з природних, хімічних і змішаних речовин (суміш природних та хімічних в різних включеннях і пропорціях).

Розглянемо проблеми вторинних матеріальних ресурсів швейної та трикотажної промисловості, а також вторинних матеріальних ресурсів з натуральної бавовняної сировини, тобто використання вторинних матеріальних ресурсів, що утворюються в текстильній промисловості.

В даний час найбільш перспективним і економічно ефективним є використання отриманих вторинних матеріальних ресурсів у вигляді волокнистих відходів для виробництва неклеєних матеріалів з високими теплозвукоутворюючими і гідроізоляційними властивостями. Можливість використання різних видів в'язучих речовин у процесі їх виробництва, обробки розчинами біопрепаратів, антипіренів та інших спеціальних інгредієнтів ще більше розширює сферу їх застосування в будівництві та інших галузях народного господарства.

Але багато питань виробництва нетканих матеріалів, які отримують з відходів, таких як шкіра, хутро, швейні та в'язальні вироби, клеї із перероблених волокон, залишаються невивченими досі.

Якість клеєного нетканого матеріалу багато в чому залежатиме від ефективної роботи ліній з сепарації відходів в механічні волокна, оптимізації технологічних параметрів їх робочих органів.

Для встановлення технологічних процесів, необхідних для виготовлення ідентичних матеріалів з пористого волокна, матеріалів для тепло-, звуко-, гідроізоляції, фільтрів, пристроїв для переробки вторинних матеріальних ресурсів, також дуже важливим є дослідження процесу просочення шарів волокна, які виготовлені з перероблених волокон в поєднанні з екологічно чистими та економними полімерними композиціями. У зв'язку з цим актуальною є розробка єдиної ресурсозберігаючої технології виробництва нетканих матеріалів різних типів з пористих волокон з вторинних матеріальних ресурсів методом просочення в'язучими в текстильній, швейній та трикотажній промисловості.

Призначення вторинної текстильної сировини, отриманої при первинній обробці, — перетворення невикористаної сировини в придатну, тобто для промислового використання. Технологічний процес первинної обробки складається з очищення від шкідливих мікробів, знесолення, відділення старих, поділу на сорти, пресування тюка, пакування, вимірювання та маркування тюка. Для багатьох видів вторинної текстильної сировини такої попередньої обробки буде недостатньо і вона буде доповнена процесами прання та насичення. Знезараження здійснюється для відходів, які привозять зі швейних і трикотажних підприємств, зі швейних цехів. При обробці відбувається багаторазове розтягування і деформація волокон, що призводить до перенапруження молекулярних ланцюгів у волокнах, що призводить до втрати міцності волокна, розтягування та розриву [9]. Для зниження напруги і поліпшення подальшої обробки на фасках використовується масляне просочення, яке надає волокнам більшу в'язкість і еластичність, підвищує їх рухливість відносно один одного, що забезпечує розщеплення фаски на волокна і захищає їх від руйнування, зменшує утворення і охолодження коротких волокон, збільшує вихід відновлених волокон з фаски. Масляне просочення укосів сприяє отриманню довгих волокон. Для просочування укосів використовують технічні масляні кислоти (олеїнову кислоту) і мінеральні масла.

До промислових відходів споживання належать відходи швейної, трикотажної, нетканої та інших виробництв, які утворюються при в'язанні швейних, трикотажних, фетрових виробів, а також використаних технічних валків і прокладок, мішковини, трикотажних виробів.

Метою первинної переробки вторинної текстильної сировини є перетворення невикористаної сировини в придатну, тобто придатну для промислового використання. Технологічний процес первинної обробки полягає в очищенні від шкідливих мікробів, видаленні пилу, відокремленні старих, сортуванні, пресуванні, упакуванні і маркуванні. Для багатьох видів вторинної текстильної сировини така попередня обробка буде недостатньою і доповнюватиметься процесами прання та насичення. Для нових обрізків, що надходять з ткацьких цехів швейних і трикотажних підприємств, знезараження, відділення старих, а іноді і сортування не проводять.

Основна маса відновлених волокон направляється на переробку нетканих матеріалів, які виготовляються за різними технологіями залежно від їх призначення. У балансі сировини для виробництва нетканих матеріалів на частку вторинних ресурсів припадає близько 40%. Майже 60% з них становлять відходи бавовняної та бавовноочисної промисловості [9].

Відповідно до нормативних документів тканини з одного або кількох видів текстильних матеріалів або поєднання їх з нетканими матеріалами шляхом з'єднання конструктивних елементів називають нетканими. Усі способи виробництва нетканих матеріалів прийнято поділяти на три технології скріплення шарів, сформованих із різних текстильних матеріалів: механічну, фізико-хімічну та комплексну [9].

За механічною технологією це текстильні та вишивальні неткані полотна, голкопробивні тканини.

До них відносяться тканини, склеєні за фізико-хімічною технологією, термоусадочні.

За вдосконаленою технологією виготовляють неткані матеріали, які проколюють голкою, просочують нетканим матеріалом.

Технологічний порядок виробництва клеєних нетканих матеріалів методом просочення волокнистих, грубоволокнистих тканин зв'язуючими речовинами визначається призначенням цих тканин, їх структурою і обладнанням, що використовується.

За структурою клеєні неткані матеріали поділяють на дві великі групи: плоскі та об'ємні. У першому випадку для просочування волокнистих грубих тканин застосовують просочувальні апарати, в яких просочування грубих тканин здійснюється шляхом занурення в'язучого в розчини з наступним віджиманням надлишку в'язучого, а в другому – розпиленням в'язучого на грубі тканини за допомогою спринклерів. Для виробництва плоских і об'ємних клеєних полотен різного призначення використовуються клейові агрегати марок Artois і Brinker (Німеччина), Wako-Kiekie (Японія) та ін. [9].

Технологічний порядок виробництва плоских клеєних полотен визначається такими операціями: підготовка волокнистої сировини; утворення грубої тканини; рівномірне просочування волокнистої грубої тканини речовинами; сушіння в барабанній сушарці; укладання та підрізування кромки.

Технологічний порядок виробництва насипно-клеєних полотен визначається наступними операціями: підготовка волокнистої сировини; утворення грубої тканини; просочування грубої тканини в'язучими речовинами шляхом розпилення з форсунки, сушка; охолодження тканини та формування готового виробу.

Клеєні неткані матеріали за призначенням можна розділити на прокладочні тканини для одягу; тканини для основи полімерних покриттів; тканини з функцією фільтрації, що містять тканини для фільтрації рідких середовищ і аерозолів; тканини з функцією взуття; тканини з функцією ліків; декоративні тканини з функцією покриття; тканини для текстильно-галантерейної та трикотажної промисловості та інші групи тканин.

В даний час ведуться дослідження по створенню більш широкого асортименту клеєних нетканих матеріалів, у зв'язку з чим можливе не тільки

збільшення кількості видів полотен в основних групах асортименту, але і поява нових груп асортименту. з клеєних нетканих матеріалів [9].

Неткані клеєні матеріали широко використовуються в будівництві та машинобудуванні, не поступаються за акустичними, тепловими і фізичними властивостями традиційним повстяним матеріалам і перевершують їх за хімічними і біологічними. Висока ефективність технічних рішень, що передбачають використання шарів нетканих клеєних полотен різних конструкцій в дорожньому будівництві як захисних, протинапірних, фільтрувальних, з метою підвищення якості та рентабельності, а іноді й зниження прямих витрат [9].

У будівництві використовують переважно тверді та еластичні теплоізоляційні матеріали, утворені з відходів натуральних і хімічних волокон або їх сумішей з природними або органічними в'язучими у зв'язку з підвищеними вимогами до них. Отже, в еластичних матрицях для часткового прикріплення волокон необхідні сполучні речовини, а в жорстких матрацах додатково використовуються наповнювачі та термообробка. В якості модельних сполучних використовують термореактивні воски: епоксидну смолу, кремнійорганічний, фенол, пластифіковані латекси, що підвищує пружність вигинів, багаторазове використання без складок. Щоб підвищити термостійкість і уповільнити зношування плівки, до складу додають термоорганічні емульсії, наприклад, карбамід і кремній органічний [9]. Широко поширений теплозвукоізоляційний матеріал «Ворсоніт», до складу якого входить латекс, металізатор, диспергатор, поліметилсилоксан.

Зв'язок між структурою і багатьма властивостями нетканих клеєних матеріалів визначається розподілом в'язучого і його кількістю в матеріалі. Досить повне уявлення про структуру нетканих клеєних матеріалів можна отримати, якщо врахувати співвідношення між волокнами і зв'язуючими, напрямком волокон, розподіл зв'язуючих речовин, характер скріплених зон і розміри елементарних осередків, що утворюються. за склеєними волокнами відомі. У нетканих клеєних матеріалах сполучні речовини зазвичай

заповнюють простір між волокнами лише частково, причому ступінь його заповнення може бути різним для різних типів нетканих клеєних матеріалів.

Механічні властивості склеєних нетканих матеріалів повинні залежати від властивостей сполучних, оскільки сполучні сприяють формуванню нетканого матеріалу у вигляді єдиної системи склеєних волокон, забезпечують перерозподіл навантажень між волокнами і приймають на себе частину навантаження у випадках, коли волокна знаходяться в напрямку розтягування. нетканий клеєний матеріал. Тому при вирішенні задач, пов'язаних з визначенням властивостей нетканих матеріалів, необхідно враховувати кількість в'язучого та вплив його властивостей на властивості нетканих матеріалів. Збільшення кількості сполучного призводить до зменшення розмірів отворів і зниження повітропроникності матеріалу.

Одяг є основною потребою людини, а швейна промисловість є другою найбільш забруднювальною галуззю у світі .

Задоволення цієї глобальної потреби без шкоди для природних ресурсів, які є рушійною силою наших ланцюжків поставок, спонукає нас досліджувати екологічно чистий одяг, який визначається як одяг, виготовлений із волокон, які є найбільш натуральними та найменш шкідливими для навколишнього середовища. Такі матеріали мають менший вплив на навколишнє середовище та менші загальні викиди вуглецю під час виробництва.

Бавовна є сировиною, яка найчастіше використовується у виробництві одягу, а також найбільш пестицидомісткою культурою у світі . Використання пестицидів має руйнівний вплив на навколишнє середовище і щороку завдає шкоди або вбиває багато людей. Необхідність змін у швейній промисловості має починатися з самого початку виробничого процесу, коли виробники шукають альтернативну сировину , яка матиме менший вплив на навколишнє середовище:

Бамбук – гіпоалергенний, вбираючий і швидкозростаючий. Для обробки бамбука використовується менше пестицидів і добрив, і він вважається екологічним вибором серед інших тканин.

Шовк – натуральне білкове волокно, яке виробляється міллю. Звичайні методи можуть припинити розвиток молі та кокона; альтернативний варіант під назвою «Ahimsa» використовує методи, які не завдають шкоди молі. Оскільки він не містить жорстких барвників, які входять до складу традиційного методу виробництва шовку, він також є м'якшим.

Коноплі – екологічна культура, яка проста у вирощуванні та швидко зростає. Її можна використовувати для одягу, поживної їжі та будівельних матеріалів.

Ці альтернативи слід популяризувати серед виробників і споживачів, оскільки вони допомагають боротися зі зміною клімату. Чим більше споживачі знають про цінність альтернативних матеріалів для екологічного одягу, тим більша ймовірність того, що їхня купівельна поведінка зміниться, що також може надихнути компанії досліджувати екологічні альтернативи.

Одним із прикладів є H&M, яка прагне до 2025 року, щоб уся бавовна, яку вони використовують, отримувала зі стійких джерел, тобто бавовна має бути органічною або переробленою. Topshop розпочав свій План дій щодо екологічного одягу, який дозволить бренду підвищити стійкість своїх продуктів протягом усього життєвого циклу. Topshop також приєднався до ініціативи Better Cotton Initiative, метою якої є розвиток бавовни як сталого основного товару.

За умови належного планування швейна промисловість може стати більш стійкою, що допоможе компаніям підвищити прибутковість, одночасно зменшивши вплив на навколишнє середовище [10].

Бавовна є одним із основних ресурсів у багатьох сучасних галузях промисловості, і зі зростанням попиту нинішнім завданням є пошук інших джерел виробництва бавовни з нижчими цінами та вищою якістю, тоді як бавовни, виробленої лише в сільському господарстві, недостатньо для цих

потреб. Це зосереджено на розробці нової стратегії, щоб перетворити текстильні відходи на нове стійке джерело відновленої бавовни, щоб подолати цю нестачу. Ця стратегія підсумовується як розробка хімічної технології з використанням стійких комерційних хімікатів для відновлення бавовни з текстильних відходів. Технологія складається з трьох послідовних процесів: а) вилуговування текстильного барвника з використанням азотної кислоти як попередньої обробки вихідних відходів, б) процес розчинення з використанням диметилсульфоксиду (ДМСО) як основну обробку для розчинення органічних матеріалів з обробленої тканини, включаючи поліефір і залишки органічної частини текстильних барвників, і в) процес відбілювання з використанням гіпохлориту натрію та розведеної соляної кислоти для остаточного очищення відновленої бавовни. Попередні експерименти проводилися в лабораторних масштабах, щоб визначити оптимальні умови на кількох грамах двох різних типів джинсової тканини. Для моделювання пілотного масштабу основна експериментальна робота була проведена для повно розмірних синіх і чорних джинсових штанів у розробленому реакторі ємністю 1 кг на основі попередніх експериментальних результатів. Щоб замкнути життєвий цикл запропонованої стратегії, роторний випарник використовували для екстракції полімерної частини та регенерації відпрацьованого ДМСО, тоді як кислоту регенерували активованим вугіллям. Додатково надано пропозиції щодо очищення води, забрудненої кислотою та розчинником (отриманого після промивання). Були досліджені морфологія, термічна поведінка та хімічна структура відновленої бавовни, регенованої кислоти, розчинника та відновленого поліефіру. Базуючись на рівні переробки (93%), рентабельності (1466 \$/т), викидах парникових газів (-1534 CO<sub>2</sub>-екв/т) і оцінці стійкості, розроблену стратегію можна розглядати як високопотенційний підхід до відновлення з бавовни [11].

Досить широко у легкій промисловості використовується переробка високої вартості, або «переробка одягу до одягу», — це концепція переробки використаного одягу та інших текстильних відходів у нові вироби одягу. Ця

концепція може зменшити тиск на незаймані ресурси, водночас додавши цінності відходам, щоб зробити переробку прибутковою для компаній. Наразі існує кілька ініціатив із переробки високої вартості, зокрема перероблений денім від G-Star RAW, верхній одяг від Patagonia та Houdini, а також замкнуті ініціативи від Nudie Jeans у Швеції та Mud Jeans у Нідерландах.

Концепція передбачає використання переробленої фракції процесу сортування і її переробку в новий текстиль замість знешкодження.

Переробники текстилю повинні знати точний склад вхідного матеріалу, а також мати постійний склад, враховуючи існуючу технологію. Тут автоматичне сортування стає важливим. У невеликих обсягах або в пілотному масштабі можна запровадити ручне сортування на основі матеріалу. Але з цим є дві проблеми. Перше – вартість, а друге – якість роботи. З точки зору вартості, відсортовані текстильні відходи є сировиною і матимуть меншу економічну цінність, ніж вихідний одяг. Тому використовувати дорогу ручну працю для цього застосування економічно не має сенсу. Що стосується якості, етикетки на використаному текстилі часто вицвілі, неправильні або відсутні, через що сортувальникам важко зрозуміти якість матеріалу.

Щоб вирішити цю проблему, компанії запропонували рішення для автоматизації процесу з використанням ближнього інфрачервоного детектору для ідентифікації різних текстильних матеріалів. Ця техніка знаходиться на порозі комерціалізації.

Після етапу сортування є різні варіанти для кожного матеріалу. Для бавовни, вовни та ПЕТФ механічна вторинна переробка є усталеною технологією, яка може виробляти вторинну сировину належної якості для змішування з первинним матеріалом у кількості 20-30% від маси готової пряжі. Збільшити цей відсоток складно, оскільки механічна переробка скорочує волокна, а отже, і якість кінцевого продукту.

Типовий процес механічної переробки виглядає наступним чином [12]: металеві компоненти та нетекстильні матеріали видаляються в процесі, який

називається «очищенням». Потім тканини пресують у тюки та розрізають за допомогою обертового леза на дрібні шматки. Потім волокна відокремлюються за допомогою процесу, відомого як «збирання», «витягування» або «розривання», коли тканини накочуються на дедалі менші поверхні з шипами, щоб розбити їх на частини та видалити волокна. Нарешті, необхідні методи подальшої обробки для підвищення якості волокон, видалення коротких волокон і пилу та (якщо необхідно) змішування з первинними волокнами [13].

Порівняно з механічними методами, хімічна переробка є багатообіцяючою новою технологією, яка може збільшити вміст перероблених матеріалів в одязі та уможливити переробку тих самих матеріалів багаторазово. Існують приклади таких технологій, як процеси, реалізовані Teijin в Японії, компанією Worn Again у Великобританії, компанією EVRNU у Сполучених Штатах і нещодавно компанією Re:newcell у Швеції.

Під час хімічної переробки волокна в текстилі розщеплюються до молекулярного рівня, а вихідна сировина повторно полімеризується [14] перед тим, як пройти через фільтру, утворюючи нове волокно, яке буде прядитися в пряжу, готову для ткання або в'язання в тканину [15]. Цей процес пов'язаний з хімічною переробкою синтетичних волокон на основі полімерів. Однак це призводить до отримання волокна вищої якості, яке може мати високу еквівалентність первинному волокну.

Підсумовуючи, з усієї різноманітності вторинних матеріальних ресурсів можна виділити вторинні матеріальні ресурси прядильної промисловості як найбільш поширені та перспективні для виробництва економічних та екологічно чистих побутово-технічних матеріалів.

Актуальним завданням є аналіз та створення науково обґрунтованих методів розробки технологій для виробництва вторинних волокон з метою покращення екологічної ситуації та створення безвідходних методів виробництва, що забезпечують виробництво нових матеріалів із збиткових

вторинних матеріальних ресурсів прядильної промисловості, а також отримання підприємствами додаткового доходу.

## РОЗДІЛ 2 ОБ'ЄКТИ ТА МЕТОДИ ДОСЛІДЖЕННЯ

### 2.1 Об'єкти дослідження

Об'єктом дослідження є вироби легкої промисловості на основі вторинної сировини.

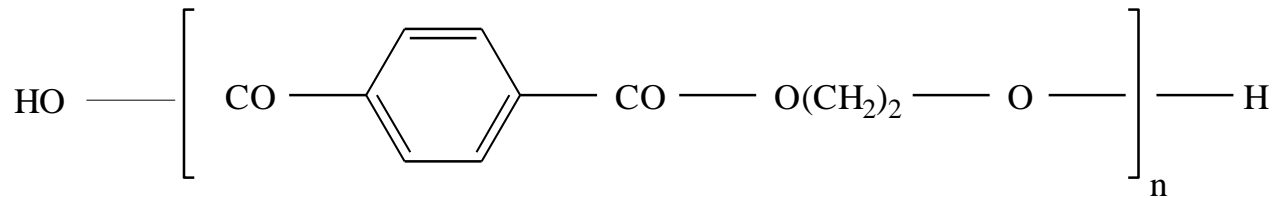
Предметом дослідження – процеси виготовлення, використання та утилізації виробів легкої промисловості на основі вторинної сировини.

Для розробки методології ОЖЦ виробів легкої промисловості на основі вторинної сировини, як приклад було обрано використання рециклатів відходів поліетилентерефталату (ПЕТФ) у виробках легкої промисловості, а саме, для використання їх у якості складової для отримання переробленої пряжі, або використання як адгезиву. Дана розробка виконана науковцями кафедри хімії та хімічної інженерії хімії та хімічної інженерії [16].

Існують різні типи відходів ПЕТФ, які володіють різними властивостями. Тому, для вивчення закономірностей протікання процесу вторинної переробки ПЕТФ, в роботі використовувались відходи певного типу – технологічні відходи (утворюються при литті преформ, при зливанні розплавів при запуску обладнання, а також браковані преформи).

Поліетилентерефталат (ПЕТ, ПЕТФ, РЕТ) – полімер, вперше був отриманий в 1941 р. англійськими хіміками Уінфілдом і Діксоном на початку 60-х рр. Цей полімер і матеріали на його основі ( лавсан, поліестер, тетерон та ін.) почали використовувати для пакувальних цілей

ПЕТФ належить до складних полієфірів, в склад елементарної ланки яких входять радикали терефталевої кислоти і етиленгліколю, які об'єднані складними ефірними зв'язками в довгий ланцюг:



ПЕТФ – твердий полімер білого кольору. Молекулярна маса промислового полімеру 20000 - 40000. При швидкому охолодженні розплаву ПЕТФ до кімнатної температури утворюється аморфний прозорий полімер, який кристалізується при температурі вище 80<sup>0</sup>С. Максимальна ступінь кристалічності неорієнтованого полімеру 45%, орієнтованого 60 - 65%.

ПЕТФ утворюється при взаємодії етиленгліколю (ЕГ) з очищеною терефта- левою кислотою (ТФК) або диметилтерефталатом (ДМТ). Під час першої фази реакції ТФК або ДМТ реагує з ЕГ під дією каталізатору, підвищеного тиску і температури. При цьому виникають короткі молекулярні ланцюжки ди- (β-оксі- етин) терефталат, які в подальшому під час другої фази – реакції поліконденсації – перетворюються в макромолекули ПЕТФ.

Процес здійснюється при перемішуванні і в вакуумі менш ніж 133–322 Н/м<sup>2</sup> і 200 - 250<sup>0</sup>С (каталізатор – ZnO, Zn(CH<sub>3</sub>COO)<sub>2</sub>, SiO<sub>2</sub>, сечовина, тетрабутоксититан, Zn ). Середня тривалість реакції 3 - 6 год.

В кінці реакції ланцюги ПЕТФ в середньому мають приблизно 100 ланок і полімер має власну в'язкість порядку 0,65 дл/Гм. При швидкому охолодженні розплаву утворюється аморфний ПЕТФ (АПЕТФ). Крім нього можна виробляти аморфно-кристалічний ПЕТФ (КПЕТФ) і різні кополімери (КоПЕТФ). При отриманні КПЕТФ використовують різні добавки і витравки, які ініціюють процес кристалізації. В залежності від ступеня кристалічності густина КПЕТФ може коливатися в межах 1,31 – 1,45 г/см<sup>3</sup>, а максимум плавлення знаходиться в області 245 - 265<sup>0</sup>С.

Таким чином, ПЕТФ має багато різновидів, які використовують для різних видів упаковки. Цьому сприяють і чудові властивості і характеристики пакувальних ПЕТФ-матеріалів.

ПЕТФ не розчиняється у воді і при 20<sup>0</sup>С в більшості органічних розчинниках, він порівняно стійкий до жирів, масел, лугів, розбавлених кислот; не надає харчовим продуктам стороннього запаху і присмаку. ПЕТФ відноситься до безпечних для здоров'я полімером, оскільки має невелику молекулярну масу (20000 - 40000), містить досить малу кількість легких низькотоксичних фракцій, а також не потребує спеціальних пластифікаторів.

За міцністю ПЕТФ переважає поліетилен (ПЕ), поліпропілен (ПП), полівінілхлорид (ПВХ) та ін. успішно конкурує з поліамідом (ПА). ПЕТФ володіє високою твердістю, ударною в'язкістю, стійкістю до багатократних деформацій.

ПЕТФ зберігає основні експлуатаційні характеристики в діапазоні робочих температур (від 60 до 170<sup>0</sup>С). Зі збільшенням вмісту диетиленгліколевих ланок температура плавлення ПЕТФ зменшується. При ступені полімеризації вище 15, температура плавлення не залежить від молекулярної маси. В присутності пластифікаторів, наприклад фенолів, диметилформамиду, ацетону, температура склування знижується на 20 - 30<sup>0</sup>С; зі збільшенням вмісту вологи в ПЕТФ на 1% температура склування зменшується на 10<sup>0</sup>С.

Швидкість алкоголізу, ефіролізу і ацидолізу ПЕТФ помітно зростає зі збільшенням температури і кислотності каталізатора. Кінцеві карбоксильні групи вступають у всі реакції, які характерні для карбонових кислот і наприклад, з лугами утворюються відповідні солі, з фенілізоціанатом – сполуки, які містять карбоксильні групи.

ПЕТФ характеризується досить високою термостійкістю в розплавленому стані (до 280 - 290<sup>0</sup>С). Вище 300<sup>0</sup>С починається значна деструкція ПЕТФ з розривом ефірних зв'язків і утворенням карбоксильних і вінілефірних груп. Термічна деструкція супроводжується виділенням газоподібних продуктів, співвідношення кількості яких в інтервалі 283 - 306<sup>0</sup>С таке: ацетальдегід (80%), вуглекислий газ (9%), оксид вуглецю (8%), етилен (2%), вода, етанол, бензол і ін. (1%). При температурах переробки

відбувається термоокисна деструкція ПЕТФ. На повітрі деструкція ПЕТФ починається приблизно на 50<sup>0</sup>С нижче, ніж в середовищі азоту. Початкова швидкість виділення Н<sub>2</sub>О і СО<sub>2</sub> на повітрі зростає приблизно в 7 разів, а швидкість утворення ацетальдегіду – в 3 рази порівняно з прогрівом ПЕТФ при тих самих температурах в інертному середовищі. ПЕТФ стабілізують звичайними антиоксидантами (амінами, похідні фосфорних кислот і т.п.). ПЕТФ гігроскопічний полімер і швидко адсорбує атмосферну вологу. Перед переробкою полімер висушують в вакуумних або в адсорбційних сушарках. Це попереджує гідролітичну деградацію, яка визиває падіння в'язкості, різке погіршення умов процесу переробки і фізико-механічних характеристик.

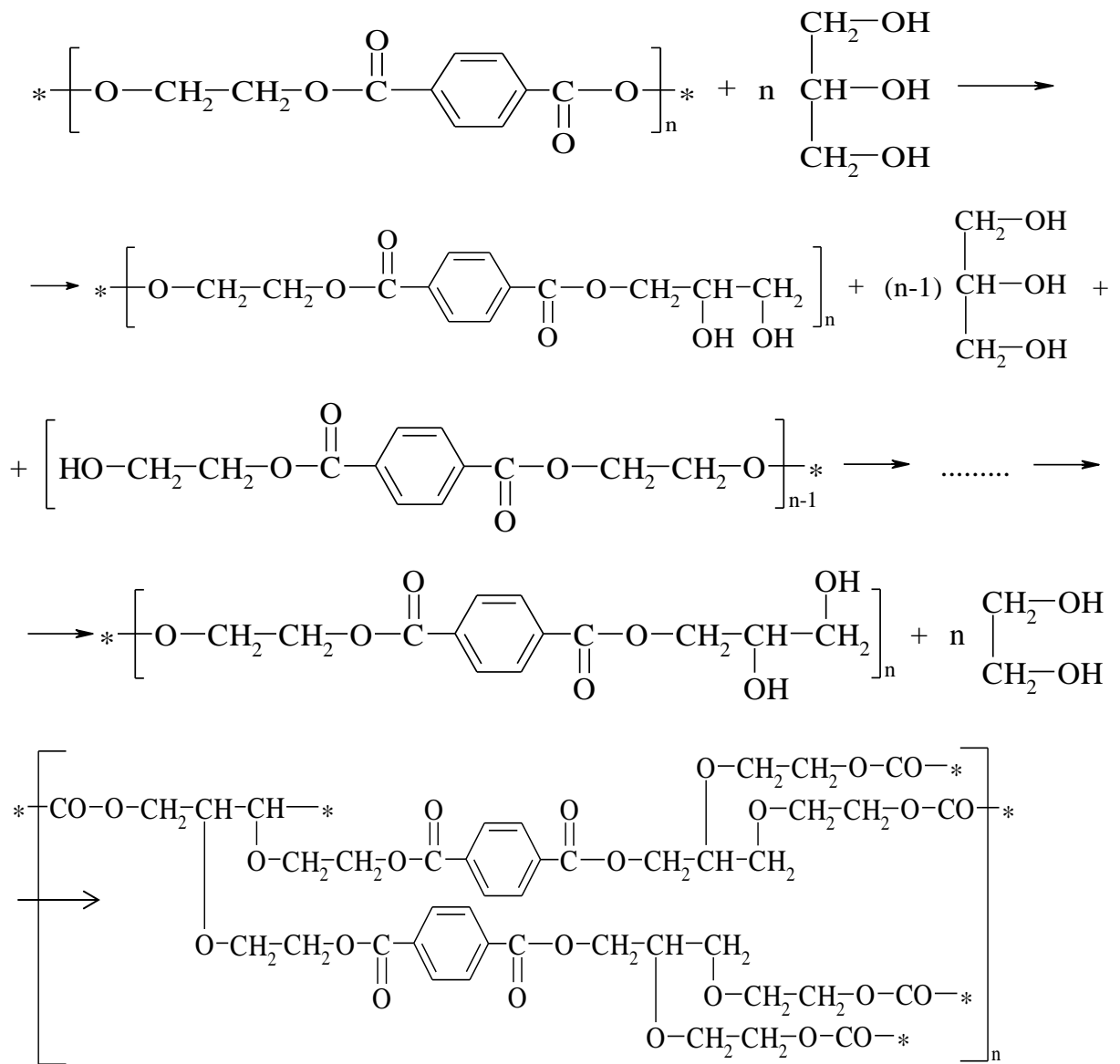
В зв'язку з тим, що ПЕТФ, який використовується для виробництва пакувальних матеріалів, імпортується з різних країн (Корея, Тайвань, Індія та ін.), являє собою суміш різних сополімерів.

Основні характеристики цього матеріалу наведені в таблиці.1.

Таблиця 1 - Основні характеристики відходів ПЕТФ [17]

Показник	Одиниці виміру	Норма
Внутрішня в'язкість	л/г	0,815
Індекс розплаву	<sup>0</sup> С	240
T <sub>пл.</sub>	<sup>0</sup> С	245
ρ	г/см <sup>3</sup>	1,4
Вологість	%	0,1
Вміст ацетальдегіду	%	0,1
К.ч.	мг КОН/г	2,8
Г.ч.	г.екв/г	6,2×10 <sup>-6</sup>
Ч.еф.	мг КОН/г	540

Рециклати відходів ПЕТФ, отримані за способом хімічного рециклінгу[18 ] за механізмом:



## 2.2 Методи дослідження

### 2.2.1 Методики оцінки життєвого циклу виробів легкої промисловості

Оцінка життєвого циклу (LCA) — це метод кількісної оцінки екологічної ефективності продуктів і послуг протягом усього життєвого циклу [19], від видобутку сировини через виробництво та використання до кінця терміну служби (рисунок 7).

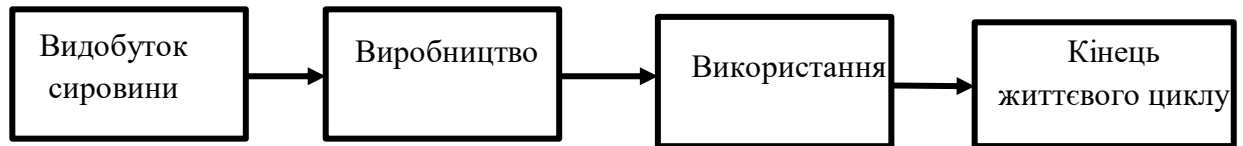


Рисунок 7 - Загальне зображення чотирьох основних фаз життєвого циклу продукту чи послуги

Відповідно до стандартів ISO 14040 і 14044 (ISO, 2006a, 2006b), LCA проводиться в чотири етапи:

1. Визначення мети та обсягу, що включає визначення системних меж дослідження та функціональної одиниці (наприклад, один день використання одягу).
2. Інвентаризаційний аналіз життєвого циклу (LCI), де розробляється вичерпний перелік відповідних припливів і відтоків, включаючи викиди в повітря, воду та ґрунт, а також використання ресурсів у вигляді енергії, води, матеріалів і земельної площі, для кожного процесу, включеного в життєвий цикл продукту.
3. Оцінка впливу життєвого циклу (LCIA), яка пов'язує притоки та відтоки від LCI з потенційним впливом на навколишнє середовище за допомогою факторів характеристики. Зміна клімату, підкислення, токсичність для людини, екотоксичність, евтрофікація та виснаження ресурсів є прикладами загальних категорій впливу. Вибір категорій впливу здійснюється на основі відповідності для дослідження.
4. Інтерпретація результатів, яка включає в себе висновки з результатів LCI та LCIA та визначення рівня довіри до кінцевих результатів.

LCA є цілісним методом оцінки як щодо фаз життєвого циклу, так і категорій впливу на навколишнє середовище, таким чином запобігаючи перенесенню тягаря. Ітеративний характер LCA, що дозволяє вносити коригування в результаті нових ідей, описаний стрілками вперед і назад між чотирма фазами на рисунку 8.

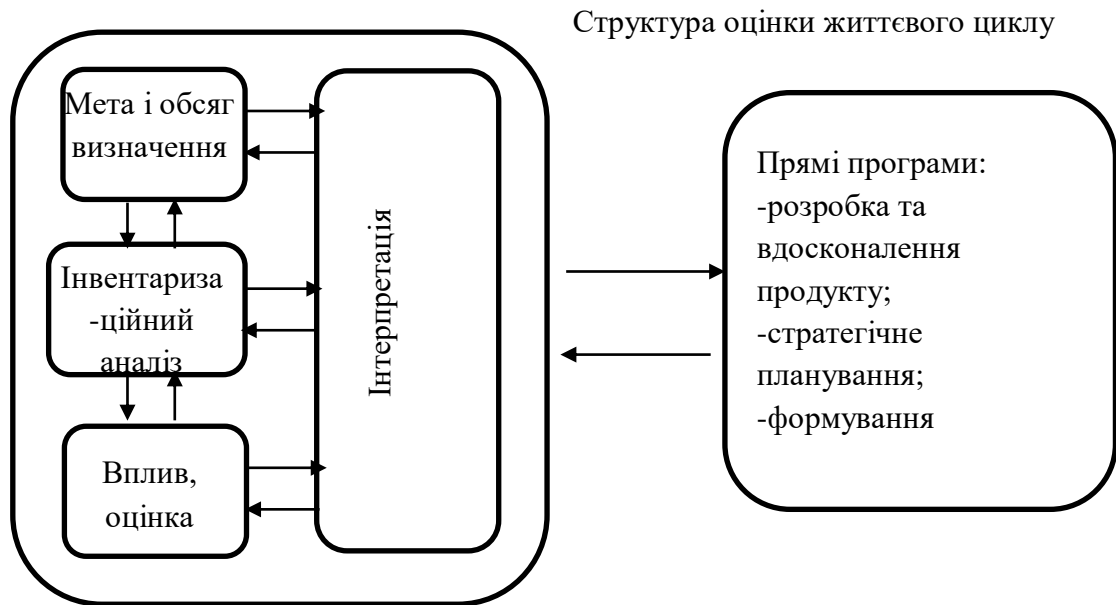


Рисунок 8 - Фази LCA та їхні взаємозв'язки в структурі LCA згідно з міжнародним стандартом ISO 14040

LCA здається ідеальним інструментом для оцінки різних технологічних рішень для виробництва виробів легкої промисловості, оскільки LCA може цілісно впоратися з усіма основними екологічними проблемами, пов'язаними з текстилем (глобальне потепління, використання води та хімічне забруднення).

Відомо, що інвентаризація хімічних речовин у LCI та розрахунок впливу токсичності в LCIA є складними завданнями не лише для виробів легкої промисловості [20]. У дослідженнях LCA нерідко нехтують використанням і викидами хімікатів в LCI [21], що призводить до виключення впливу токсичності хімікатів з розрахунків LCIA.

Калькулятор LCA: доступні спеціальні пакети програмного забезпечення LCA. Програмне забезпечення є важливим з огляду на складність необхідних досліджень LCA. Не менш важливо визначити потрібне програмне забезпечення, і через різні правові рамки в Європейському Союзі та США деякі функції програмного забезпечення, які можна використовувати в ЄС, багато з них не працюють в інших країнах.

Наведена блок-схема (рисунок 9) підкреслює, що на кожному кроці від сировини до кінцевого використання є відходи та величезне споживання енергії. Нижче представлено синтетичний текстиль. Однак натуральний текстиль не сильно відрізняється, оскільки лише перші два, виділені синім кольором, замінено на землеробство та збирання врожаю чищення та прядіння, в'язання та ткацтво.

Щоб зрозуміти вплив текстилю на навколишнє середовище, потрібно вивчити його повний життєвий цикл, який включає вирощування та обробку волокна, виробництво пряжі, виробництво тканини, фарбування та оздоблення та виготовлення кінцевого продукту, обслуговування продукту під час використання та утилізацію або переробка. Основними відходами процесу фарбування є забруднена вода від фарбувальних, полоскальних і мийних ванн і від фарбувальних хімікатів.

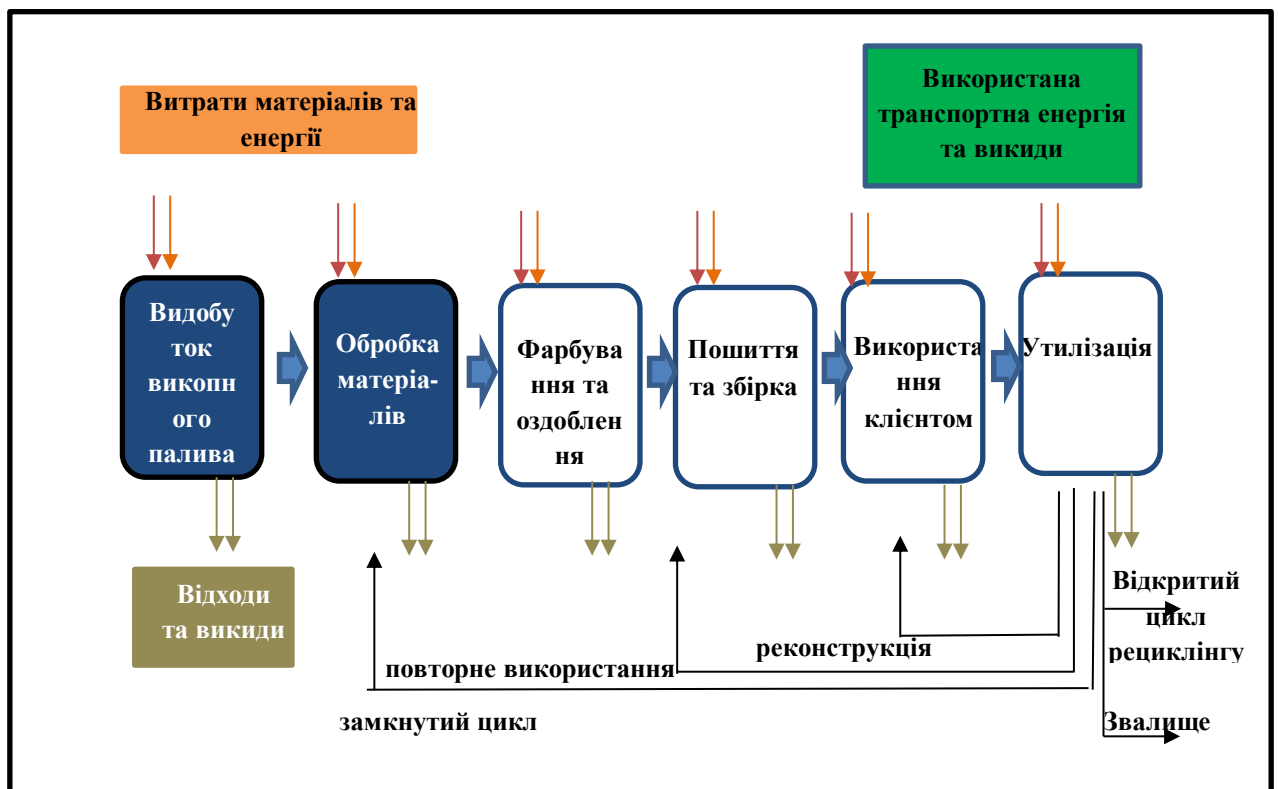


Рисунок 9 - ОЖЦ виробу легкої промисловості [22]

Енергія споживається під час нагрівання фарбувальних ванн і роботи насосів та інших частин фарбувального обладнання. Наприклад, періодичне фарбування бавовни методом холодної обробки менше впливає на навколишнє середовище, ніж традиційні методи. Порційний процес холодної обробки використовує на 35% менше енергії, 50% води, вимагає менше хімікатів і виробляє менше стоків. Застосовуючи технології чистішого виробництва та методи переробки, можна досягти економії енергії, що матиме прямий вплив на LCA. Таким прикладом є заміна хлорованих розчинників на екологічно чисті розчинники в складах для чищення та видалення плям, що призводить до безпечніших та екологічно чистіших процесів виробництва. Обробку текстилю можна автоматизувати за допомогою систем автоматичного дозування на різних етапах шляхом мінімізації споживання хімікатів і відходів і широкого використання процесу рекуперації тепла, де це можливо. Також на етапах виробництва виробів легкої промисловості можна використовувати як допоміжні речовини зі складом на основі вторинної сировини.

Екологічні міркування слід починати на ранній стадії із застосування надійних наукових знань і розробки продукту. Інноваційні методи дозволяють контролювати вміст матеріалу, одночасно максимізуючи довговічність продукту та цінність для кінцевого користувача. Це часто призводить до покращення екологічного сліду. Другий етап – це збір екологічних даних на всіх етапах життєвого циклу продукту, починаючи від сировини і закінчуючи остаточною утилізацією. Методологія LCA враховує всі важливі аспекти екологічного сліду, включаючи споживання ресурсів та енергії, викиди в повітря, воду та землю, здоров'я та екосистеми тощо. Це особливо важливо під час порівняння різних варіантів продукту або змін процесу. Прикладом може бути запровадження виробничого процесу, який, здавалося б, забезпечує економію енергії, але оскільки запропоновані зміни не включають контроль викидів, які споживають енергію, вибір може фактично призвести до більш високого забруднення повітря та води.

Схема та процес дослідження, що використовувалися у роботі наведені на рисунках 10-11.



Рисунок 10 - Схема дослідження

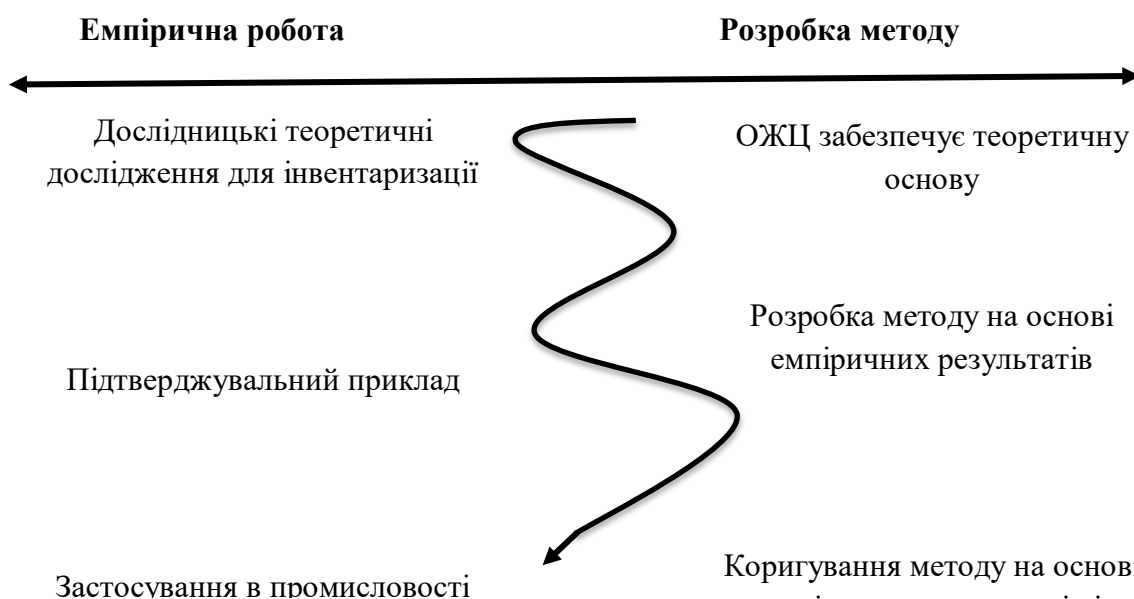


Рисунок 11 - Процес дослідження, що чергується між емпіричною роботою та розробкою методу на різних етапах дослідження

На рисунку 12 наведено огляд того, як ОЖЦ виконується на практиці, а також компоненти роботи ОЖЦ. Практика ОЖЦ створює модель життєвого циклу продукту. Модель LCI відображає викиди в повітря, воду та ґрунт, а також використання ресурсів у вигляді енергії, води, матеріалів (включаючи хімікати) і площі землі для кожного процесу, включеного в життєвий цикл продукту. Модель LCI може бути побудована з даними конкретних процесів, інвентаризованих для дослідження, або з загальними даними з баз даних LCI, які містять готові дані LCI для різноманітних процесів.

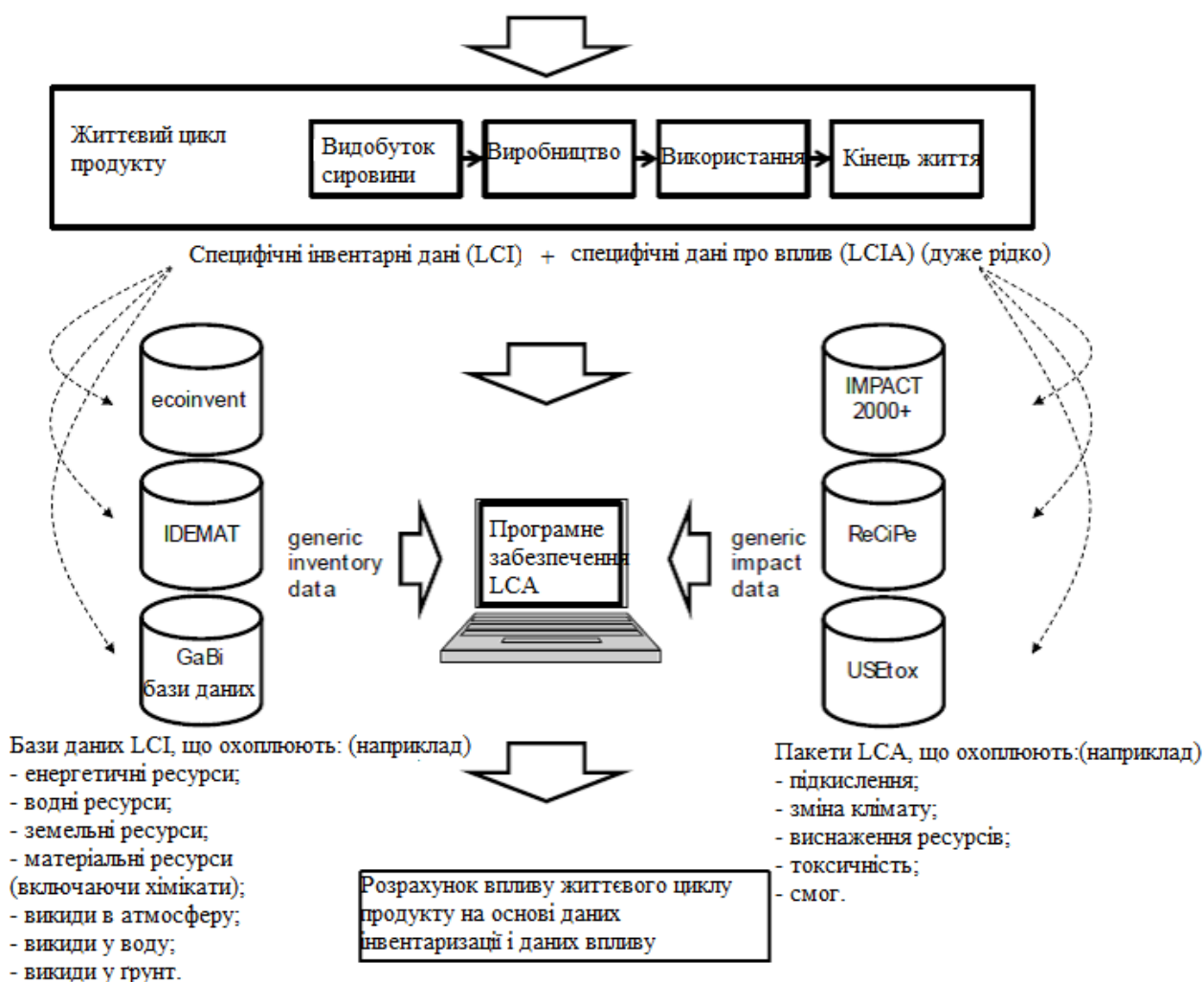


Рисунок 12 – Компоненти роботи ОЖЦ, які використовуються в дослідженні

Модель LCIA описує потенційний вплив на навколишнє середовище використання ресурсів і викидів. Модель LCIA можна побудувати за допомогою готового пакету LCIA, який містить дані LCIA для різних викидів

і ресурсів. Модель LCIA також може бути побудована з конкретними даними про вплив, зібраними в результаті дослідження з використанням методу оцінки впливу для побудови нових факторів характеристики. Спеціаліст ОЖЦ створює та застосовує відповідні моделі LCI та LCIA відповідно до мети дослідження. Потім на основі даних LCI та LCIA обчислюється вплив життєвого циклу продукту. Зазвичай використовується програмне забезпечення ОЖЦ, оскільки ці моделі містять великі набори даних. Бази даних LCI та LCIA часто регулярно доповнюються новими даними, отриманими в результаті дослідження (пунктирні лінії на малюнку 8). Потім на основі даних LCI та LCIA обчислюється вплив життєвого циклу продукту. Зазвичай використовується програмне забезпечення ОЖЦ, оскільки ці моделі містять великі набори даних.

Розрахунок впливу життєвого циклу продукту зазвичай проводиться за допомогою програмного забезпечення. Бази даних LCI (ліворуч) і пакети LCIA (праворуч) у більшості випадків використовуються для моделювання життєвого циклу продукту та його впливу на навколишнє середовище.

При використанні ОЖЦ для оцінки навколишнього середовища також слід знати про обмеження методу. Екологічні аспекти, які неможливо визначити кількісно, часто виключаються, хоча їх можна якісно описати у звіті ОЖЦ. Крім того, відомо, що ОЖЦ має обмеження в тому, як моделювати як часові, так і географічні зміни [23].

Фаза аналізу запасів життєвого циклу (LCI) ОЖЦ зазвичай вимагає найбільших зусиль і ресурсів щодо збору даних і моделювання. Можна застосувати кілька різних підходів до моделювання LCI, з яких побудова моделі потоку процесу є найпоширенішим [24]. Як показано на малюнку 8, модель життєвого циклу продукту створюється, як правило, на основі суміші даних, спеціально зібраних для дослідження, і загальних даних з баз даних LCI та літератури.

На етапі оцінки впливу життєвого циклу (LCIA) входи та виходи від LCI перетворюються на індикатори для різноманітних категорій впливу, які

відображають потенційний вплив на навколишнє середовище та здоров'я, а також вплив дефіциту ресурсів [20]. Цей розрахунок базується на коефіцієнтах характеристики (CF) у категорії вплив для елементарного потоку, які представляють прогнозований внесок у показник впливу (IS) на кількість викидів або споживання ресурсів (Q):

$$IS = \sum_i^j Q_i \cdot CF_{ij} \dots \dots \dots (1)$$

Коефіцієнти характеристики, як правило, розраховуються з використанням моделей екологічного впливу, шляхів впливу та причинно-наслідкових зв'язків. Моделі LCIA, які найчастіше використовуються, описані в довіднику ILCD з LCIA, який також містить рекомендації щодо того, які моделі використовувати (Європейська Комісія, 2011). Таким чином, рекомендації ILCD утворюють додатковий пакет LCIA, який складається зі списку факторів характеристики IPCC (Міжурядової групи експертів зі зміни клімату) для категорії впливу зміни клімату, бази даних USEtox факторів характеристики впливу токсичності тощо. Важливо зазначити, що LCA та оцінка впливу аналізує потенційний вплив на навколишнє середовище, замість того, щоб робити прогнози фактичного впливу на навколишнє середовище. Дослідження LCA зазвичай спрямовані на найкращі оцінки при моделюванні всіх впливів, що означає, що зазвичай уникають запобіжних припущень і консервативних оцінок [20].

Довідник ILCD щодо LCIA охоплює наступні середні категорії впливу: підкислення (земля та вода), зміна клімату, екотоксичність, евтрофікація (земля та вода), токсичність для людини, іонізуюче випромінювання, землекористування (стратосфера), руйнування озонового шару, фотохімічне утворення озону, виснаження ресурсів (мінерали, викопні та відновлювані джерела енергії, вода) і респіраторні неорганічні речовини. Результати рівня кінцевої точки зазвичай надаються як вплив на три сфери захисту. Це: здоров'я людини, природне середовище та природні ресурси .

Третя можливість для оцінки впливу полягає у виконанні етапу зважування). На цьому етапі зонам захисту надається відносна значущість, а результати потенційних впливів об'єднуються в один бал.

Для досліджень у цій роботі вибір категорій впливу та методів характеристики різних. Як зазначено зміна клімату, використання води та токсичність є основними впливами текстильної промисловості на навколишнє середовище.

Оцінка впливу токсичності є основною темою цієї роботи. Практикуючому спеціалісту LCA доступні різні моделі оцінки впливу токсичності. Рекомендованою практикою ILCD є використання моделі USEtox [25]. ReCiPe — ще один широко використовуваний пакет LCIA, який включає модель USES-LCA для впливу токсичності [26]. Третім пакетом LCIA, який зазвичай використовується, є IMPACT 2002+, який використовує модель токсичності IMPACT 2002 [27].

Незважаючи на те, що охоплення бази даних USEtox тепер розширено до понад 3000 хімічних речовин, існує ще багато хімічних речовин, які потребують моделювання для цілей LCA. Доля, вплив і характеристики токсичної дії кількох речовин, таких як метали, неорганічні хімічні речовини, металоорганічні хімічні речовини, продовжує бути проблематичним для моделі USEtox [27]. Просторова роздільна здатність у моделях хімічних викидів і результатів токсичності також є серйозною проблемою [21].

USEtox містить глобальну вкладену мультимедійну модель транспортування та частки забруднень, яка була розроблена для оцінки токсичності для людини та екотоксичності прісної води в межах LCA. Це узгоджена модель, отримана в результаті масштабного порівняння існуючих методів LCA для оцінки впливу токсичності міжнародною командою експертів LCA [20]. У USEtox фактор характеристики токсичності речовини для людини виходить із добутку трьох матриць, включаючи фактори долі (FF), фактори впливу на людину (XF) і фактори токсикологічного впливу на людину (EF):

$$CF = \sum_i^j EF \cdot XF \cdot FF \quad (2)$$

Коефіцієнт екотоксикологічної характеристики для прісноводних екосистем для речовин також виходить із добутку факторів долі (FF), факторів впливу на прісноводну екосистему (XF) і факторів впливу на прісноводну водну екосистему (EF) [27].

Стратегічний інструмент для оцінки токсичності для людини та впливу на екотоксичність був розроблений Askham та ін. [28]. Інструмент стратегії — це напівкількісний метод, розроблений для допомоги компанії з виробництва фарб у прийнятті стратегічних рішень у розробці продукту. Інструмент стратегії оцінює хімічний вміст продуктів у спрощений спосіб на основі наявної інформації в паспорті безпеки (SDS). Цей метод було обрано, оскільки він використовує вхідні дані, які є легкодоступними для більшості хімічних продуктів, і, отже, є зручним методом також для практиків LCA, які не є експертами в хімії. Така зручність для користувача забезпечує значний потенціал для правильного використання інструменту.

На етапі інтерпретації дослідження LCA дають відповіді на запитання, поставлені у визначенні мети. Інтерпретація результатів включає в себе висновки з результатів LCI та LCIA та визначення рівня довіри до кінцевих результатів. Одним із елементів етапу інтерпретації є перевірка повноти.

Стосовно оцінки токсичності в дослідженнях LCA виробів легкої промисловості, слід визнати, що токсичні викиди протягом життєвого циклу, про які повідомляється в багатьох інвентаризаціях і процесах з бази даних, такої як Ecoinvent, часто пов'язані з енергією.

Другим важливим компонентом етапу інтерпретації є аналіз чутливості. Проблеми навколишнього середовища, які виявляються значущими для кінцевого результату та висновків дослідження, оцінюються для забезпечення послідовного розгляду протягом усього дослідження

відповідно до мети та обсягу. Аналіз сценаріїв і розрахунки невизначеності є кількісними методами, які використовуються для підтвердження цього. Обидва методи були використані в тематичних дослідженнях для покращення розуміння надійності кінцевих результатів.

### 2.2.2 Методи дослідження життєвого циклу деталей ВЛП

Якість виробів визначає їх життєвий цикл та вимірюється трьома характеристиками — довговічністю, корисністю та емоційною привабливістю, щодо використовуваної сировини, дизайну продукту та конструкції продукту.

Факторами довговічності є міцність на розрив, міцність на розрив, стійкість до стирання, стійкість кольору, міцність на розтріскування та розрив. Корисними факторами є повітропроникність, водонепроникність, теплопровідність, утримання складок, стійкість до зморщувань, усадка та стійкість до ґрунту. Факторами привабливості є привабливість лицьової сторони тканини, тактильна реакція на поверхню тканини, рука тканини (реакція на маніпуляції рукою з тканиною), привабливість лицьової сторони одягу, силует, дизайн і драпірування. Задіяні принципи однакові, незалежно від того, виготовлений одяг зі шкіри, пластику, пінопласту чи текстилю, наприклад тканини, трикотажу чи повсті.

Якість текстилю та виробів легкої промисловості зазвичай регулюється стандартами, встановленими галуззю, урядом або обома сторонами, а також текстильними асоціаціями, випробувальними товариствами, асоціаціями роздрібною торгівлі, організаціями споживачів і асоціаціями послуг, такими як групи прання та прибирання. Стандарти, зібрані в багатьох місцях, охоплюють ефективність чищення та зручність носіння для одягу (взуття) в кількох категоріях: одяг на замовлення, верхній одяг і плащ, робочий одяг, брюки, сорочки та блузки, чоловіча нижня білизна, жіноча нижня білизна, одяг для сну та аксесуари.

Основні методи дослідження адгезивів наведені в таблиці 2 [30].

Таблиця 2 – Методи дослідження властивостей клеїв-розплавів та клейових швів

Показник	Метод
Приведена вязкість	Віскозиметричний, $\eta_{прив} = \frac{\eta_{num}}{c}$
Термостабільність	Віскозиметричний (полягає у визначенні приведеної в'язкості, після 8-ми годинного прогрівання клею-розплаву при температурі 140 °С).
Відкритий час витримки	Полягає у визначенні часу протягом якого можна з'єднати один з одним матеріали, що склеюються.
Міцність на зсув	Визначається як максимальне зусилля $P_{max}$ , віднесено до перерізу клейового шву, $S$ : $\sigma_p = \frac{P_{max}}{S}$
Міцність на розшарування	Визначається як відношення середнього зусилля розшарування, $P_{cp}$ , Н до ширини зразка $b$ , см: $\sigma_p = \frac{P_{cp}}{b}$
Водостійкість	Визначення залишкової міцності після витримання склеюваних зразків у дистильованій воді при температурі (20±3) °С і відносній вологості повітря 60 % протягом доби.
Морозостійкість	Визначення залишкової міцності після 5-ти циклів заморожування при температурі 32 °С протягом 6 годин, і послідовним відтаюванням (5 циклів) при кімнатній температурі протягом 18 годин.
Теплостійкість	Визначення максимальної температури, при якій в умовах дії постійного навантаження зберігається експлуатаційна придатність клейового з'єднання.
Прискорене старіння при гідротермічній обробці	Визначення залишкової міцності після дії на склеєні зразки, протягом 7 –ми днів, водяної пари при температурі 60°С.
Опір швидкому старінню	Визначення залишкової міцності після після 7 –ми денного витримання склеєних зразків в термостаті, з температурою обдуву 70 °С.

Клейові з'єднання взуттєвих матеріалів випробовують на міцність склеювання, на термо- і водостійкість.

Міцність склеювання визначають при випробуванні склеєних зразків на розшарування і зсув. Дослідження на розшарування є найбільш розповсюдженим і полягає в розшаруванні склеєного зразка на розривній машині і в визначенні навантаження в ньютонах, віднесеного до ширини зразка в сантиметрах. Із склеюваних матеріалів вирізають зразки довжиною  $(120\pm 2)$  мм і шириною  $(25\pm 1)$  мм. Для визначення міцності склеювання зазвичай беруть зразки тканини кирзи двохшарової арт. 6882 або башмаки арт. 7033 і гуми. При необхідності міцність склеювання визначають і на інших матеріалах, які використовуються для верху і низу взуття.

Клей-розплав на зразок тканини наносять при температурі  $120\text{ }^{\circ}\text{C}$ . Після теплової активації зразки пресують при тиску від 50 кПа до 200 кПа. Склеєні зразки перед випробуванням витримують протягом 24 год. при температурі  $(20\pm 3)\text{ }^{\circ}\text{C}$  і відносній вологості 60 %.

Міцність склеювання на зсув визначають безпосередньо для клеїв-розплавів, оскільки вони утворюють більш крихкі плівки. Для випробування вирізають зразки взуттєвих матеріалів довжиною не менше 80 мм і шириною  $(20\pm 0,5)$  мм, на довжині  $(10\pm 0,2)$  мм з'єднують склейку.

Розподілення навантаження по довжині клейового шву в значній мірі залежить від ширини склеювання. Міцність на зсув зменшується із збільшенням довжини склейки [29].

Для визначення динамічної в'язкості використовують метод Брукфільда. Метод передбачає використання спеціальних пристроїв – віскозиметрів Брукфільда, які випускаються промисловістю (поки, на жаль, лише закордонними приладобудівними фірмами). Принцип визначення в'язкості по Брукфільду заснований на вимірюванні крутячого моменту, необхідного для обертання з визначеною швидкістю спеціального шпинделя, розміщеного у продукті, який досліджується. До приладу додається цілий набір пронумерованих стандартних шпинделів. Вибір шпинделя залежить від діапазону в'язкості, яка вимірюється. Результати вимірювання виражаються в одиницях в'язкості, обто  $\text{Па}\cdot\text{с}$  або  $\text{МПа}\cdot\text{с}$ , із зазначенням типу віскозиметра, номеру шпинделя і швидкості обертання [31].

### 3 ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНО-АНАЛІТИЧНИЙ РОЗДІЛ

•  
З метою розробки алгоритму ОЖЦ для порівняння було обрано два напрямки можливого застосування вторинної сировини у виробах легкої промисловості, які різняться ще й методом переробки. Перший – використання у виготовленні тканини (пряжі) змішаних відходів, шляхом їх механічної переробки. Другий напрямок – адгезиви, отриманні шляхом хімічного рециклінгу у виробах зі шкіри.

Це буде досягнуто шляхом проведення ОЖЦ виробництв переробленої пряжі (виріб легкої промисловості 1 (ВЛП1)) та виробів зі шкіри з адгезивами на основі вторинної сировини (виріб легкої промисловості 2 (ВЛП2)).

#### 3.1 Дослідження впливу полімерних покриттів на основі рециклатів на життєвий цикл деталей

Для дослідження впливу полімерних покриттів на основі рециклатів на життєвий цикл деталей було обрано адгезиви, які можна використовувати у легкій промисловості.

Необхідною умовою використання клеїв-розплавів у виробах легкої промисловості є встановлення їх фізико-хімічних властивостей та порівняння їх з аналогічними. Основні фізико-хімічні показники таких продуктів для застосування їх в подальшому як адгезивів у легкій промисловості і їх експлуатаційні властивості наведені в таблиці 3-4.

Вимірювання в'язкості, температури розм'якшення та термостабільності проводились за методиками, наведеними в розділі 2.2.2.

Для більш точної оцінки термостабільності проведено повторні вимірювання в'язкості та температури розм'якшення.

Таблиця 3 – Порівняльна характеристика фізико-хімічних властивостей адгезивів

Фізико-хімічні властивості адгезивів		Клей-розплав	
		на основі відходів ПЕТФ	Клей-аналог
Відносна густина, г/см <sup>3</sup>		1,04	1,34
Приведена в'язкість, 10 <sup>-6</sup> м <sup>3</sup> /г		5,54	-
В'язкість по Брукфільду, Па*с		3,51	20-50
Температура розм'якшення, °С		56	200-250
Термостабільність протягом 8 год	Зміна приведеної в'язкості, %	95	-
	Зміна в'язкості по Брукфільду, %	56	-
	Зміна температури розм'якшення, %	95	-
Водопоглинання, %	30 хв	0,3	-
	60 хв	0,5	-
	90 хв	0,5	-
	24 год	0,5	0,5

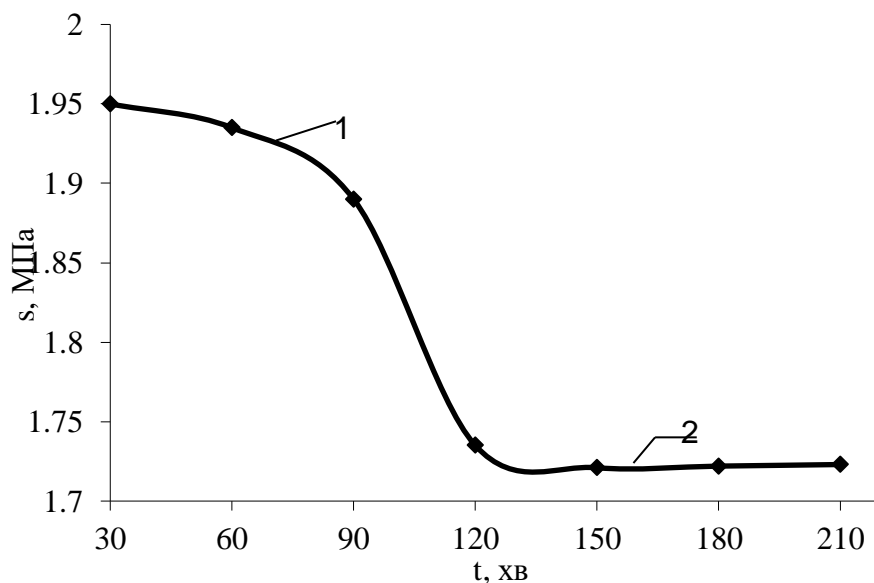
Таблиця 4 – Порівняльна характеристика експлуатаційних властивостей адгезивів [17]

Показник	Нормативні вимоги	Клей-аналог	Клей-розплав на основі ПЕТФ
1	2	3	4
Робоча температура, °С	не > 250	220 – 240	120 – 140
Температура плавлення, °С	не > 220	190 – 200	68
Температура розм'якшення, °С	не > 180	180 – 190	56

Кінець таблиці 4

1		2	3	4
Молекулярна маса		–	–	1168
В'язкість, м <sup>3</sup> /Г		–	–	5,54
В'язкість по Брукфільду, Па*с		–	–	3,51
Термостабільність, %		не < 80	95 (за міцністю)	95 ( за $T_{розм.}$ ), 95 (за $\eta_{прив.}$ )
Технологічні режими	Тиск пресування, кПа	не > 450 (не > 500 для дублювання)	400	не > 160
	Час пресування, с	не > 20 (не > 10 для дублювання)	15	12
Відкритий час витримки, с		не > 20	2	8
Міцність на зсув, МПа		1,2 – 1,6	1,2	1,42
Міцність на розшарування, кН/м		0,8 – 1	–	0,96
Водостійкість, %		не < 70	95	75
Теплостійкість, °С		–	110	100
Морозостійкість, %		–	–	100
Опір швидкому старінню, %		–	–	54
Прискорене старіння при гідротермічній обробці, %		–	–	57,5
Зміна міцності клейових з'єднань через 3 міс., %		–	–	5,3

Важливим показником є зміна міцності у часі, оскільки він дає змогу визначити час, після якого можна проводити подальші операції при виготовленні взутті. Міцність клейових з'єднань змінюється в часі. На кінетичній кривій міцність - час умовно можна відокремити дві ділянки: ділянка формування міцності (1), ділянка сталої міцності (2), які зображені на рисунку 13. При цьому не накладаються ніякі обмеження в часі. Це означає, що клейові з'єднання, для яких стабільна міцність встановлюється швидко, і можуть мати тривалий період, протягом якого міцність залишається незмінною. Форма кінетичної кривої міцність - час, тривалість кожної її ділянки по осі часу залежать від виду адгезиву і субстрату, від технології склеювання і умов роботи клейового з'єднання, старіння (у агресивних середовищах) або особливо швидкої втоми.



1 – ділянка формування міцності; 2 – ділянка сталої міцності.

Рисунок 13 – Зміна міцності клейових швів у часі

3.2 Розробка методу комплексної оцінки життєвого циклу виробів легкої промисловості на основі вторинної сировини

Гіпотеза, яку необхідно перевірити в цій роботі, полягає в тому, що оскільки переробкою може уникнути впливу незайманих ресурсів і

використовувати полімерні відходи, це може зменшити загальний вплив ланцюга постачання, і нова система буде більш стійкою. Люди часто інстинктивно припускають, що переробка корисна для навколишнього середовища, але в деяких випадках первинний продукт може бути екологічно кращим через вплив технологій збору, сортування, транспортування та переробки. Ось чому корисно використовувати ОЖЦ як методологію, оскільки вона оцінює вплив на навколишнє середовище через весь ланцюг постачання продукції. Заповнюючи прогалини в розумінні впливу технологій механічної та хімічної переробки на навколишнє середовище та потенційних переваг (рисунок 14), кінцевий результат дозволить більш детально зрозуміти вплив та переваги переробки відходів, щоб покращити та вдосконалити процеси легкої промисловості.

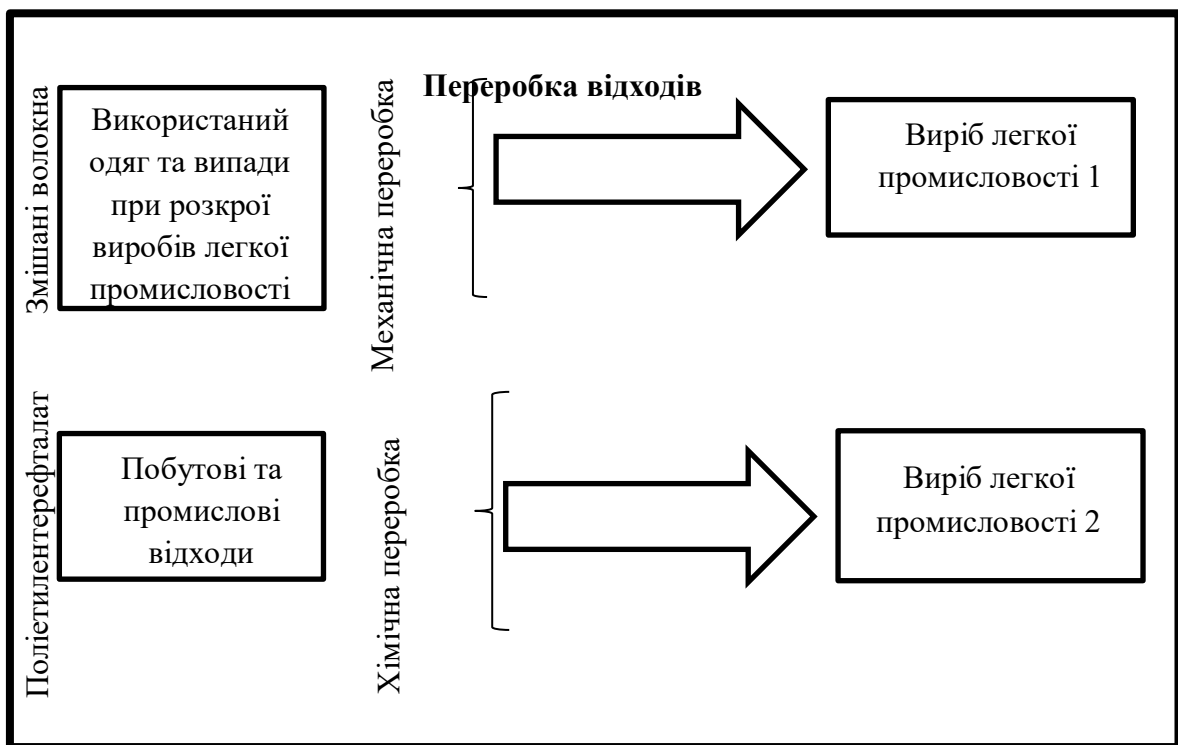


Рисунок 14 - Тематичні напрямки дослідження переробки відходів

Обсяг роботи визначено контекстом дослідження. Оскільки дослідження в основному проводилося в межах держбюджетної теми №1Б-2022 «Розробка технологій комплексної переробки полімермістких відходів у

вироби легкої промисловості», обсяг був обмежений виробами легкої промисловості на основі вторинної сировини.

Два різні тематичні дослідження, кожне з яких включало альтернативу переробленого та первинного виробництва, були частиною дослідження. Перше тематичне дослідження представляє фактичний пілотний проект переробки. Він обраний, щоб обміркувати потенційні переваги механічної переробки для навколишнього середовища,

У другому дослідженні досліджувався хімічний рециклінг, який є перспективною технологією для переробки відходів з подальшим використанням у виробі легкої промисловості, але з обмеженою наявною інформацією щодо її екологічних показників.

### 3.2.1 Тканини на основі вторинної сировини

На рисунку Додаток А проілюстровано складність глобалізованої текстильної промисловості та її вплив на навколишнє середовище з акцентом на вплив хімічних речовин. Текстильне виробництво, включає в себе безліч виробничих процесів, кожен з яких виконується різними учасниками [32]. З європейської точки зору той факт, що процеси текстильного виробництва географічно розташовані здебільшого за межами європейського континенту, додає додаткових викликів екологічному менеджменту виробів легкої промисловості.

Основний вплив виробів легкої промисловості на навколишнє середовище виникає через частину життєвого циклу текстильного виробництва, найбільш важливі впливи з яких пов'язані з використанням і емісіями токсичних речовин, а також використанням води та енергії (з відповідними викидами парникових газів), що призводить до зміни клімату.

Кожен крок текстильного виробництва включає різноманітні матеріали, процеси та обладнання. Типи залучених процесів варіюються від сільського господарства та тваринництва для отримання волокон до хімічної обробки та

механічних операцій. Процеси текстильного виробництва від волокна до одягу (зліва направо на рисунку Додаток А) коротко описані нижче.

Найбільш поширеною ситуацією сьогодні є те, що процеси виробництва текстилю (в межах пунктирної лінії) географічно розташовані за межами європейського континенту та України, що створює додаткову проблему комунікації ланцюга постачання.

Фінішними агентами є, наприклад, біоциди, антипірени, водо-і масловідштовхувальні засоби тощо.

Для чіткого розуміння методології оцінки життєвого циклу важливим є аналіз та оцінка всіх стадій, які утворюють цей цикл.

#### Виробництво волокна

Синтетичні волокна на основі викопних ресурсів, такі як поліестер, поліамід і еластан, складають близько 60% волокон на ринку, а біоволокна бавовни становлять близько 35%. Інші біологічні волокна, такі як віскоза, ліоцелль, вовна, шовк, льон і синтетичні волокна з біологічної сировини, разом мають частку ринку приблизно 5% [33]. Бавовна, вовна, шовк і льон є прикладами натуральних волокон, тобто довга і тонка форма волокна створена природою. Таким чином, бавовна вже має форму волокон під час збирання, вручну або машиною, а потім очищається, що означає, що ворсинки та насіння відокремлюються. Синтетичні та регенеровані волокна, навпаки, виготовляються з пластикових гранул або целюлози, якій потім надають форму волокна шляхом екструзії через сопло, що називається прядінням волокна. Існують різні типи технологій прядіння волокна; Регенеровані целюлозні волокна (віскоза та ліоцелл) формуються мокрим способом, поліестер і нейлон прядуться з розплаву, а еластан – сухим способом. Прядіння волокна, яке створює волокна, не слід плутати з прядінням пряжі.

#### Виробництво пряжі

Волокна виробляються у вигляді філаментних волокон і можуть бути текстуровані та витягнуті в філаментні нитки або нарізані на штапельні

волокна (зазвичай 38 мм) для виробництва пряженої пряжі, залежно від застосування. Волокна регенованої целюлози, як правило, використовуються в одязі як пряжа зі штапельних волокон. Усі натуральні волокна (крім шовку) збирають як штапельні волокна та прядуть у пряжу.

Пряжа зі штапельних волокон може бути виготовлена з одноволонистого матеріалу або суміші волокон. Після прядіння слід етап скручування, який необхідний для отримання пряжі, яка буде протистояти тиску під час ткацтва чи в'язання. Хоча товщина волокна фіксується для натуральних волокон, синтетичні та регеновані волокна можуть мати різну товщину. Розмір пряжі залежить як від товщини волокна, так і від кількості ниток, що впливає на відчуття тканини (від м'якої пряжі з мікрволокна до грубої пряжі). Розмір пряжі також впливає на використання енергії та хімікатів на наступних етапах виробництва.

#### Виробництво тканини

Більшість тканин виготовляють із так званої сірої пряжі, тобто пряжі, яка не була вибілена чи пофарбована. Якщо тканина буде мати малюнок (наприклад, картата або джинсова тканина), пряжу відбілюють і фарбують перед виготовленням тканини. Для ткацтва зазвичай потрібні нитки хорошої міцності, особливо для нитки основи, тоді як нитка утка піддається меншому натягу. Перед тканням пряжу перевіряють за розміром, тобто вони є змащені, щоб зменшити зношування пряжі в процесі ткацтва. Тому вироблене плетіння після цього потрібно розкалібрувати (промиту та висушити), що робиться на ткацькому виробництві або в станції мокрої обробки.

Процес в'язання залежить від розміру трикотажу, або, іншими словами, від кількості стібків на дюйм. Кругове в'язання використовується для високого розміру, а плоске – для низького. Повністю фасонне в'язання також стає все більш поширеним, коли одяг формують уже в в'язальній машині.

Неткані матеріали виготовляються не з пряжі, а безпосередньо з волокон, або зі штапельних волокон, або безпосередньо з ниток. Щоб

підвищити міцність тканини, можна виконати склеювання смолою або голкопробивання.

#### Волога обробка

Фарбувальний цех виконує вологу обробку тканин, що включає попередню обробку, фарбування та оздоблення, а іноді також друк. Попередня обробка в основному включає розшкірювання, миття, очищення та відбілювання. Очищення видаляє з бавовни природні домішки, такі як пектини, геміцелюлоза, віск і сміття. Попередня обробка видаляє іони металів та інші речовини, які інакше матимуть негативний вплив на наступні етапи.

Відбілювання (тільки для натуральних волокон) сприяє видаленню забруднень, підвищує ефективність фарбування та надає необхідний зовнішній вигляд нефарбованим виробам. Тип барвника та допоміжних хімікатів, що застосовуються, залежить від волокна. Для целюлозних волокон, таких як бавовна, можна використовувати реактивні барвники, кубові барвники та прямі барвники. Для синтетичних волокон, таких як поліестер і нейлон, замість них використовуються дисперсні барвники, кислотні барвники або кубові барвники. Целюлозні матеріали часто фарбують при 60-80°C, а синтетичні волокна — при більш високих температурах, тобто 100-135°C [27].

Оздоблення включає етапи мокрого процесу (фіксація кольору, нейтралізація та додавання фінішних агентів, таких як пом'якшувачі, водовідштовхувальні засоби або антипірени), а також сушіння, фіксація розмірів, санфоризація (для зменшення натягу волокон) і покриття.

Вологу обробку тканини можна виконувати за допомогою різних машин, наприклад машин для безперервного фарбування тампонів, машин для періодичного фарбування тампонів, машин для струминного/ повітряно-струминного фарбування та відсадочних машин. Вибір обладнання залежить від типу тканини та масштабу виробництва. Вологу обробку пряжі проводять на бобінно-фарбувальних машинах, а інколи і на моточкових.

Технологія вологої обробки розвивається досить швидко, щоб зменшити вплив на навколишнє середовище. Нові технології включають, наприклад, надкритичне CO<sub>2</sub>-фарбування та фарбування від жимом.

Друк іноді виконується на тканині в фарбувальній, а іноді на одязі на швейній фабриці. Друк може виконуватись як роликовий, трафаретний, трансферний друк тощо. Пігменти та барвники підбираються відповідно до матеріалу волокна, як і при фарбуванні. Останніми роками використання цифрових технологій друку зростає, що дозволяє друкувати візерунки з високою адаптацією.

#### Виготовлення одягу

Конструкторське виготовлення одягу включає розкрій, шиття, прасування та пакування, а іноді також обробку одягу (прання одягу, відбілювання джинсової тканини, друк тощо).

Виробники одягу (також їх називають швейними фабриками) є постачальником рівня 1 (прямим) для брендів і роздрібних торговців на рисунку Додатку А, хоча для європейських суб'єктів дуже часто працюють через агентів замість прямого контакту з виробниками одягу.

Оскільки акцентом, який обумовлює негативний вплив виробів легкої промисловості в рамках ОЖЦ є саме хімічні речовини та матеріали, які там використовуються, доцільно більш детально зупинитися на їх характеристиках.

Поняття «текстильні хімікати» використовуються в цій роботі для речовин, які безпосередньо наносяться на текстиль (або інші матеріали для легкої промисловості) у будь-якій частині його виробничого процесу (за винятком вирощування волокна та використання текстилю). Текстильні хімікати можуть бути чистими речовинами або, частіше, сумішами речовин.

Діаграма Вєнна на рисунку 15 показує, як термін текстильні речовини виключає не текстильні сільськогосподарські хімікати, такі як пестициди та добрива, а також використовує різні мийні засоби та пом'якшувачі, додані споживачами. Крім того, інші емісії, які виникають протягом життєвого

циклу текстилю, такі як вихлопні гази від згоряння палива та витік речовин із відходів гірничодобувної промисловості, не вважаються текстильними хімікатами. Текстильні хімікати також виключають продукти перетворення, які являють собою речовини, що утворюються в результаті основних або побічних хімічних реакцій за участю текстильних хімікатів, або продукти розкладання текстильних хімікатів у навколишньому середовищі та організмі людини. Домішки, що входять до складу хімічних продуктів, які є забруднювачами та не утворюються під час відповідного виробничого процесу, а також залишки, які є речовинами, що утворюються під час виробничого процесу як побічні продукти або як вихідний матеріал, що не прореагував, можуть міститися в текстильних хімікатах у невеликих кількостях. Продукти перетворення, домішки та залишки не вважаються текстильними хімічними речовинами, а є речовинами, пов'язаними з текстилем. Таким чином, вони також входять до сфери цієї роботи.



Рисунок 15 - Розмежування терміну текстильні речовини

Для цілей цієї роботи текстильні хімічні речовини визначаються як хімічні речовини в життєвому циклі текстилю, які безпосередньо застосовуються до текстилю в будь-якій частині його виробничого процесу. Малюнок наведено з метою ілюстрації і не показує повної картини хімічних речовин у життєвому циклі текстилю.

Вироби легкої промисловості носять майже всі в усьому світі, від новонароджених до хворих і чутливих людей, і вони часто безпосередньо контактують зі шкірою. Тому наявність токсичних речовин у текстильних

виробах, таких як алергени та ендокринні руйнівники, викликає занепокоєння. Текстильні вироби також спричиняють вплив токсичних речовин на працівників ланцюга постачання текстилю, а також викиди в навколишнє середовище. Деякі з найбільш помітних текстильних хімічних речовин, які є проблематичними для людей і навколишнього середовища, це пер- та поліфторалкільні речовини (ПФАР), нонілфенол-етоксилати (НФЕО) і фталати [27].

Застосування хімічних речовин на основі ПФАР для текстилю – це переважно водо- та масловідштовхувальні властивості на верхньому одязі (так звана довговічна водовідштовхувальна обробка), але вони також використовуються в процесах цифрового друку для запобігання просочення скрізь тканини. Вони також біоакумулюються, тобто їх концентрація в організмах може стати вищою, ніж у навколишньому середовищі.

Значною мірою через вплив текстильної промисловості на навколишнє середовище та здоров'я з'являються нові технології виробництва для покращення екологічних показників. Хасанбейгі та Прайс надали огляд 18 нових технологій для ефективного використання енергії та води та зменшення забруднення в текстильній промисловості. Темпи розвитку цих технологій були повільними. Новітні технології описані і в останньому дослідженні Європейської комісії щодо покращення навколишнього середовища продукції (IMPRO) для текстилю [34], а також у роботах інших вчених [35-40].

У таблиці 5 перераховано 25 нових технологій разом із типом волокна, для якого вони застосовні, і статусом їхнього розвитку технології. Список неповний – існує ще багато нових технологій. Метою списку в таблиці 5 є показати різноманіття застосовності пропонувані нових технологій протягом життєвого циклу текстилю та до різних типів волокон.

Загальною метою дослідження, представленого у роботі, було використання LCA для оцінки та можливості відрізнити вплив різних складових отримання виробів легкої промисловості на навколишнє середовище, включаючи нові технології. Крім того, мета полягала в тому, щоб зрозуміти відносну значимість різних текстильних процесів і хімічних

речовин на основі первинної та вторинної сировини, які зараз використовуються.

Таблиця 5- Нові технології у виробництві текстилю

Технології	Тип волокна	Стан розвитку технології
1	2	3
1 Нанотехнологія нетканних матеріалів	Синтетичне	Пілотна
2 Вихрове і струменеве прядіння пряжі	Синтетичне і бавовняні суміші	Пілотна
3 Фрикційне прядіння пряжі	Різні	Комерційна з дуже низьким рівнем прийняття
4 Багатофазне ткацтво на верстаті	Різні	Повністю апробована
5 Ферментативна обробка	Природні	Різні етапи комерціалізації в залежності від застосування
6 Ультразвукова обробка	Різні	Пілотна
7 Електронно-променева обробка	Покриття та принти	Дослідження та розробка
8 Озон для відбілювання бавовняних тканин	Бавовна	Дослідження та розробка
9 Удосконалена попередня обробка бавовняного волокна для підвищення сприйнятливості барвників	Бавовна	Пілот
10 Надкритичний CO <sub>2</sub> при фарбуванні	Поліестер, поліпропілен	Пілотна
11 Електрохімічне фарбування	Целюлоза	Дослідження та розробка
12 Струменевий (цифровий) друк	Різні	Комерційна з дуже низьким рівнем прийняття
13 Плазмова технологія	Різні	Різні етапи комерціалізації в залежності від сегмента
14 Технологія піни в обробці текстилю	Різні	Комерційна з дуже низьким рівнем прийняття
15 Мікрохвильова енергія	Різні	Дослідження та розробка
16 Альтернативні текстильні допоміжні засоби	Різні	Різні етапи комерціалізації
17 Чітко не ідентифікується, залежить від типу допоміжного засобу	Різні	
18 Системи моніторингу в режимі реального часу	Різні	

Кінець таблиці 5

1	2	3
19 Використання для в'язаних виробів	Різні	Різні етапи комерціалізації в залежності від сегмента
20 Фарбування поліестеру на біологічній основі	Поліестер	Дослідження та розробка
21 Кератин як проклеїка	Синтетичні і бавовняні суміші	Дослідження та розробка
22 Модальні волокна, пофарбовані прядінням	Регеновані целюлозні волокна	Пілотна
23 Пофарбовані прядінням синтетичні волокна для одягу	Синтетичні волокна	Різні етапи комерціалізації в залежності від сегмента
24 Водовідштовхувальне покриття на основі кремнію	Різні	Різні етапи комерціалізації в залежності від сегмента
25 Водовідштовхувальне покриття на вуглеводневій основі	Синтетичні	Різні етапи комерціалізації в залежності від сегмента

Така цілісна перспектива необхідна для того, щоб спрямовувати текстильну промисловість та її зацікавлених сторін до покращення екологічних показників, враховуючи складний ланцюг постачання та різноманітні впливи на навколишнє середовище та надати рекомендації щодо покращення екологічних показників виробів легкої промисловості.

Для досліджень вибір категорій впливу та методів визначення характеристик різний і детальніше описаний у розділі 2.2.1.

Комплексна оцінка передбачає включення найбільш серйозних категорій впливу на навколишнє середовище. У випадку текстилю це зміна клімату, використання води та токсичність. Зміна клімату та використання води є двома відносно добре розвиненими категоріями впливу в LCA.

Модель USEtox була обрана для розрахунку впливу токсичності на підставі того, що це метод LCIA, рекомендований довідником ILCD, а також була обрана для роботи PEF. Дослідження проводилися у відповідності до схеми дослідження, наведеної у розділі 2.2.1.

Для цього було обрано два об'єкти дослідження: вироби на основі первинної та вторинної сировини, отриманий механічною переробкою полімер містких (ПЕТФ) відходів. Багато з поодиноких нових ініціатив, що розробляються на даний момент, не були оцінені з точки зору навколишнього

середовища або, принаймні, не висвітлені у джерелах науково-технічної інформації. Заповнивши прогалини щодо впливу технологій механічної та хімічної переробки на навколишнє середовище та потенційних переваг, ці дослідження забезпечать більш детальне розуміння впливу та переваг переробки текстилю, щоб отримати знання та покращити легку промисловість.

З цієї причини в якості функціональної одиниці ВЛП1 було обрано 1 км переробленої пряжі 25 Нм (400 дтекс).

Функція: пряжа, придатна для текстильного виробництва.

Функціональна одиниця: 1 км пряжі 25 Нм.

Дані про збір і сортування пост-споживчого текстилю та відходів були зібрані за допомогою серії інтерв'ю з сортувальною компанією. Це включало дані про походження текстилю, енергію, спожиту транспортуванням, і загальну кількість текстилю, зібраного та відсортованого за рік (таблиці 6-7).

Таблиця 6 - Потоки енергії та матеріалів в рамках продукту - текстиль

Процес	Вхідні дані		Виходи	
Транспортування до пунктів збору	Дизель Вживаний текстиль	0,008 кг 0,426 кг	Вживаний текстиль	0,426 кг
Засоби збору	Вживаний текстиль Електрика	0,426 кг 0,008 МДж	Вживаний текстиль	0,426 кг
Транспортування до сортувальних установок	Вживаний текстиль Дизель	0,426 кг 0,017 кг	Вживаний текстиль	0,426 кг
Сортувальні засоби	Вживаний текстиль Електрика Термальна енергія	0,426 кг 0,0260 МДж 0,0003 МДж	Ганчірки Взуття (повторне використання) Текстильні відходи Текстиль (повторне використання) Текстиль (переробка)	0,071 кг 0,028 кг 0,024 кг 0,208 кг 0,09 кг

Таблиця 7 - Частка сортування текстилю

Категорія	Група статей	Відсоток
Багаторазовий	Експорт (різної якості)	49%
Багаторазового використання	Ганчірки	17%
	Переробка	21%
Взуття (багаторазове і не багаторазове)	Взуття	7%
Відходи	Відходи	6%

Відсоток відходів, як показано в таблиці, відноситься до нетекстильних матеріалів, які окремі особи викидають у контейнери для збору текстилю з різних причин. Ці відходи спалюються з рекуперацією енергії. Першим кроком у цьому процесі є збір текстилю до центрів. В Україні система збору пост споживчого текстилю лише впроваджується, тому говорити про сортувальні лінії для таких відходів зараз взагалі не приходиться. В країнах ЄС текстильні вироби з різних місць збираються в пункті перевалки, а потім відправляються до сортувальних установок. У Нідерландах він розташований у центрі країни, а для решти країн передбачається, що вони розташовані так само в центральних місцях. Фургони використовуються для збору текстилю зі спеціальних контейнерів у голландських провінціях. Це відповідає близько 75 % спожитого текстилю, тоді як 25 % купується у компаній, включаючи невелику частину збору від «дверей до дверей». Передбачається, що в інших країнах збір відбувається подібним чином. У сортувальних цехах нетекстильні вироби з спожитого текстилю вилучають і відправляють на спалювання. Решту текстилю відправляють на сортувальні потужності, де кваліфікований персонал за допомогою обладнання сортує приблизно 90 тонн на день, що показує фракції сортування з установки, з яких 21 % підлягає переробці (таблиця 8).

Таблиця 8 - Матеріальні та енергетичні потоки механічної переробки

Процес	Вхідні дані		Виходи	
Попередня обробка	Відсортований і збережений текстиль Електрика	0,022 кг  0,039 МДж	Затискачі для переробки Блискавки, гудзики та ярлики (відходи)	0,014 кг  0,008 кг
Різання та переробка	Електрика Затискачі для переробки	0,020 МДж 0,0140 кг	Перероблені волокна Текстильні відходи	0,013 кг 0,0005 кг
Параметри обертання (відновлення).	Вода Перероблені волокна Електрика Віргінські волокна	0,212 кг 0,013 кг 0,358 МДж 0,031 кг	Пряжа Відходи коротких волокон Мікрволокна/пил	0,04 кг 0,003 кг 0,002 кг

Розглянемо варіант виробництва виробів легкої промисловості з використанням вторинної сировини (механічна переробка)

У наведеній блок-схемі (рисунок 16) описано процес механічної переробки, яка відображається у трьох етапах. Частина одягу, які не підлягають переробці, такі як блискавки та гудзики, видаляються, таблиця 8. Потім очищений матеріал розрізають і розтягують на волокна. Після цього перероблені волокна можна змішувати з первинними волокнами. Повністю гомогенізовані волокна потім прочесують, тобто розплутують і переробляють в пряжу.

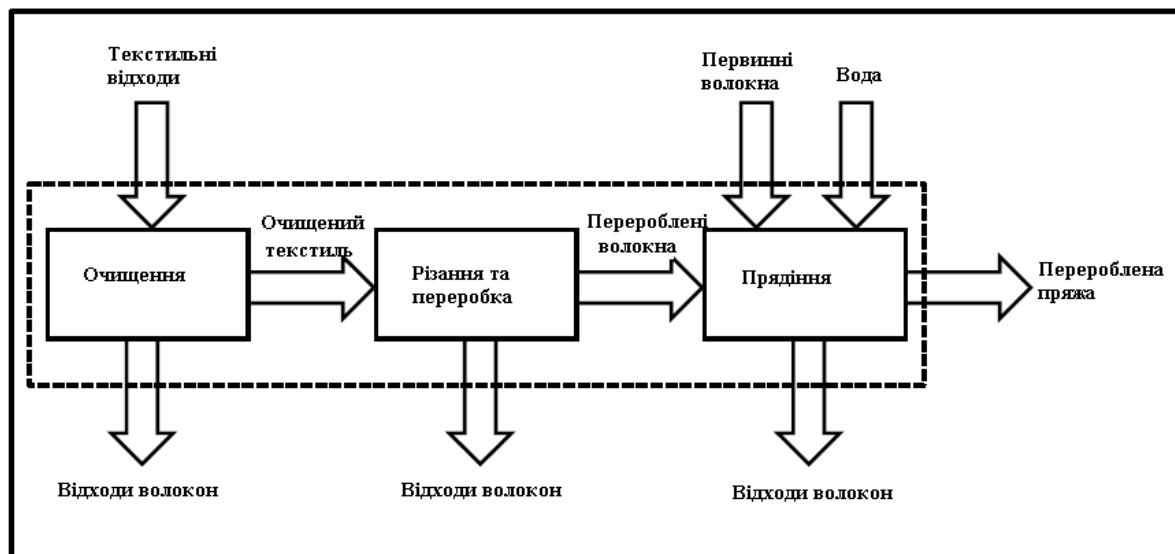


Рисунок 16 - Блок-схема процесу механічної переробки

Для порівняння при ОЖЦ виробів легкої промисловості у якості базового було обрано виробництво пряжі з первинної сировини (рисунок 17).

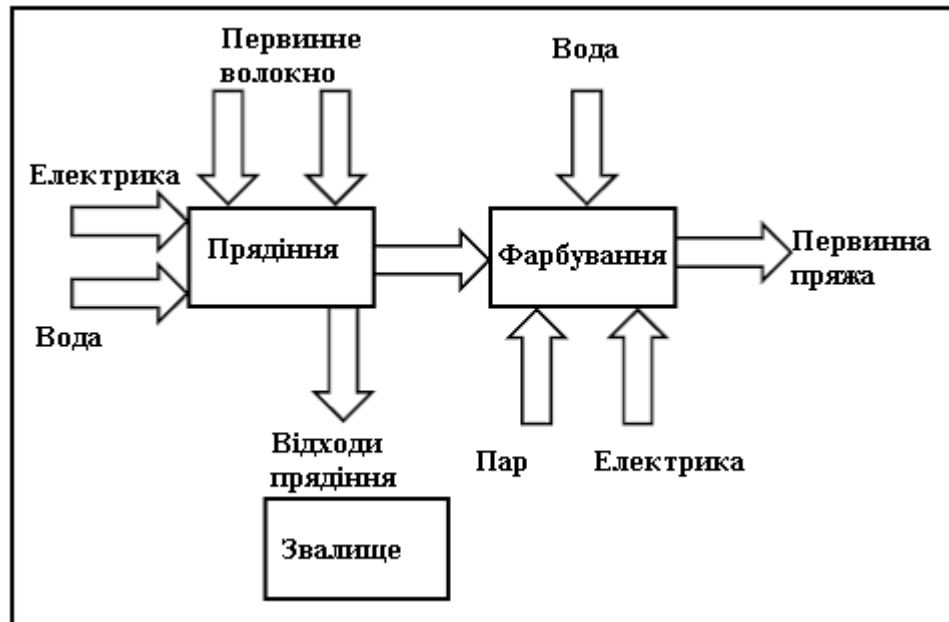


Рисунок 17 - Блок-схема процесу виробництва первинної пряжі

Виробництво первинної пряжі в усіх прикладах було змодельовано за тим самим процесом прядіння, щоб можна було порівняти з альтернативною переробленою пряжею. У цьому випадку волокниста сировина для кожного прикладу змішується, прядеться в пряжу та фарбується в бажаний колір. У результаті виходить пряжа різного складу, готова до ткацтва чи в'язання.

Дані щодо переробленого ПЕТФ з пляшок, то передбачається, що перероблені волокна ПЕТФ транспортуються до механічного переробника вантажівкою. На блок-схемі (рисунок 18) пояснюється процес виробництва переробленого ПЕТФ із використаних пляшок.

Енергетичні та матеріальні дані для процесів механічної переробки та прядіння були зібрані в усіх випадках компанією з механічної переробки шляхом серії інтерв'ю з їхнім фахівцем з технологій. Відходи не спалюються, і через відсутність іншої інформації ввелось припущення, що переробка є захороненням без відновлення енергії. Для роботи були використані дані з бази даних GaVi для полігону.

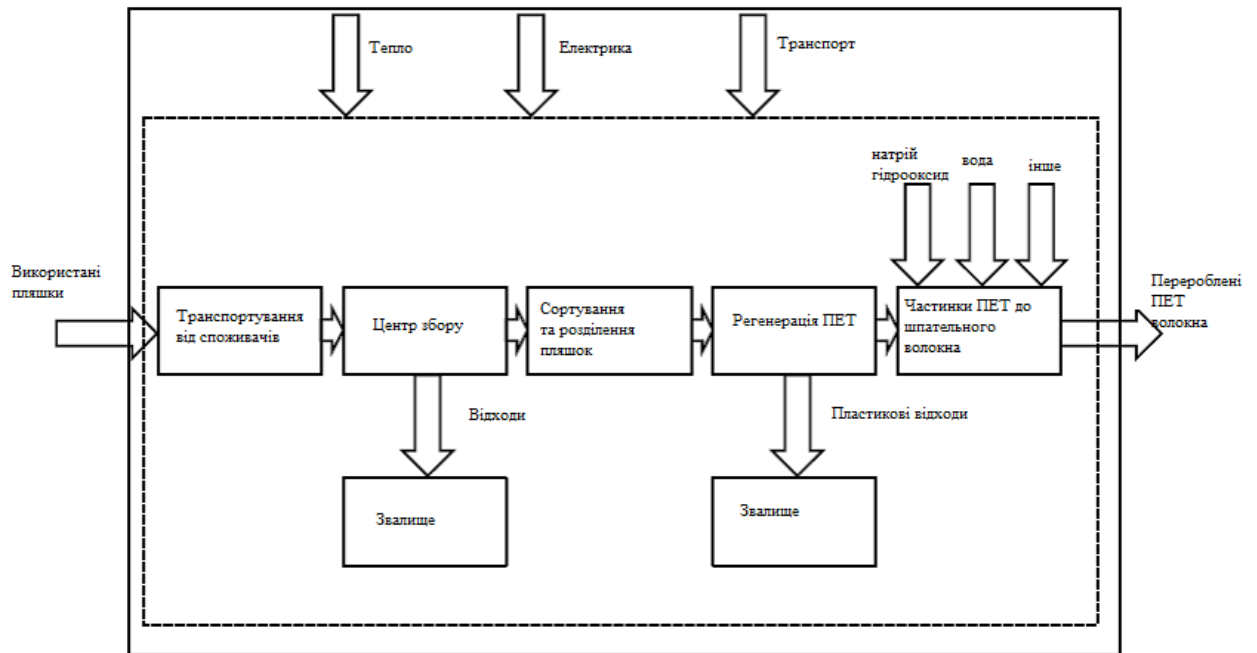


Рисунок 18 - Блок-схема процесу механічної переробки ПЕТФ пляшок

Вироби на основі вторинної сировини (механічна переробка).

Цей випадок передбачає переробку одноразової фракції споживчого текстилю на пряжу для нового одягу. Побутовий текстиль спочатку сортується на придатний для повторного використання і придатний для переробки. Останні поділяються на три основні кольори: білий, джинсовий і різнокольоровий. Відсортований за кольором текстиль відправляється на механічну переробку, де з них відділяють матеріали, які не підлягають вторинній переробці (17 % відходів відправляється на звалище). Остаточний склад пражі складається з 70 % споживчої пражі (87,5 % бавовни, 10,2 % поліестеру та 2,2 % інших) і 30 % переробленої. Нарешті, пряжа транспортується для виробництва різних видів виробів легкої промисловості.

Функція: біла пряжа придатна для використання у виробництві текстилю (одягу).

Функціональна одиниця: 1 км білої пражі щільністю 25 Нм зі складу 61,25 % бавовни та 38,75 % поліестеру.

Альтернатива Virgin: 1 км білої первинної пражі 25 Нм (або 400 дтекс) із складом 61,25 % бавовни та 38,75 % поліестеру.

Блок- схема оцінки життєвого циклу для виробу легкої промисловості 1 наведено на рисунку 19.

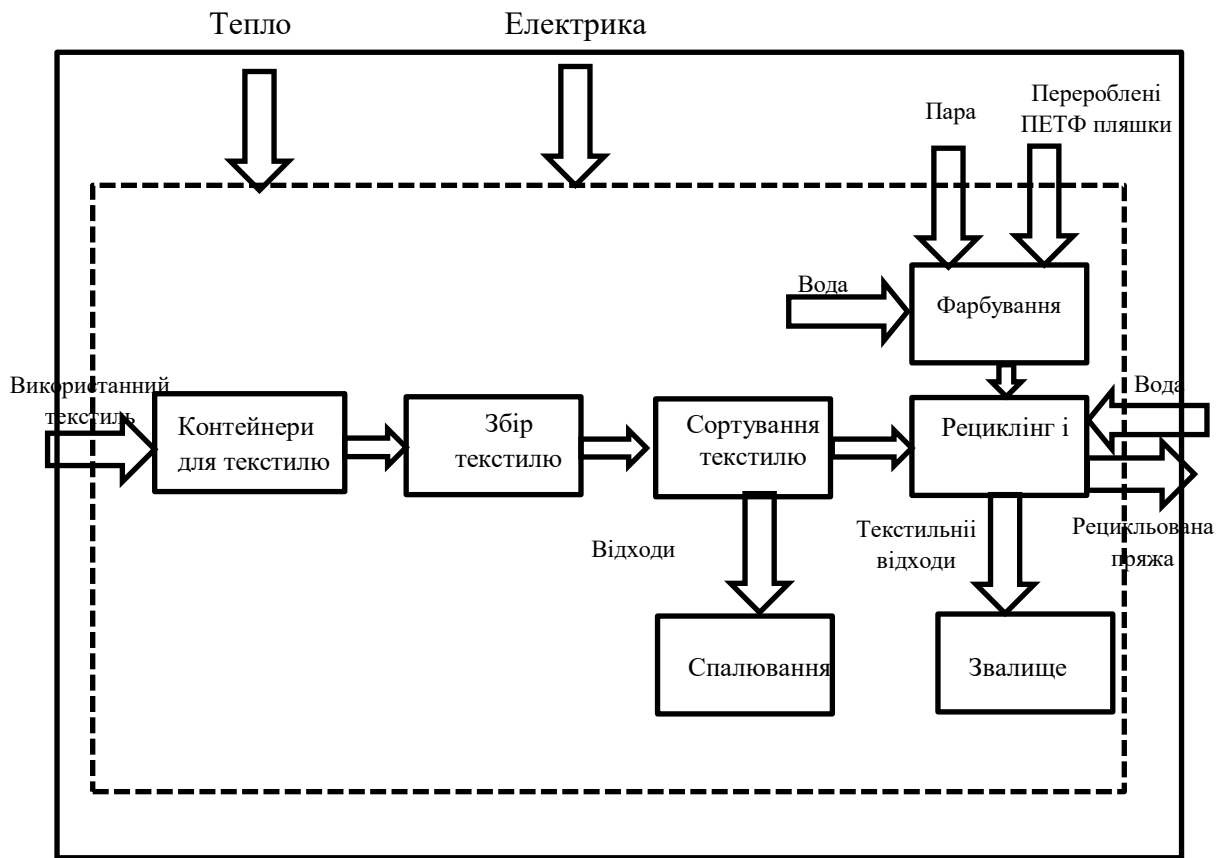


Рисунок 19 - Блок-схема процесу виробництва переробленої пряжі для ВЛП 1

Перероблена альтернатива: 1 км білої переробленої пряжі 25 Нм (або 400 дтекс) із складом 61,25 % бавовни та 38,75 % поліестеру з 70 % перероблених волокон із текстилю та 30 % перероблених ПЕТФ- волокон із використаних пляшок (таблиця 9).

Результати порівняльного аналізу життєвого циклу для механічної переробки використаного одягу в новий одяг у порівнянні з тим самим процесом із первинних матеріалів наведено в таблиці 10.

Таблиця 9 - Композиції пряжі для альтернатив у змішаному випадку

Вхідні матеріали		Альтернативи	
		Віргінська пряжа	Перероблена пряжа
Віргінська бавовна		61,25 %	-
Virgin PET		38,75 %	-
Споживчий матеріал	П- Бавовна	-	87,5 %
	П-ПЕТФ	-	12,5 %
	Добавки	-	70 %
ПЕТФ від пляшки до волокна		-	30

Таблиця 10 - Вплив на навколишнє середовище для змішаного випадку

Категорії впливу	Virgin Yarn	Перероблена пряжа	Різниця (%)
Підкислення, кг SO <sub>2</sub> -екв.	0,000788	0,000272	65,5
Евтрофікація, кг PO <sub>4</sub> -екв	0,000135	0,0000665	50,7
Глобальне потепління, кг CO <sub>2</sub> -екв	0,184	0,122	33,7
Споживання води, кг	0,725	1,41	98,0

Для збору та сортування вплив на навколишнє середовище було розподілено на основі маси. Таким чином, 21% переробленого текстилю відповідає 21% загальних викидів для збору та сортування, оскільки інші продукти продаються для інших цілей. Фотохімічне утворення озону було виключено як категорію через невизначеність даних. Як видно з таблиці 10 і рисунка 20, перероблена пряжа має менший вплив на навколишнє середовище в усіх категоріях. Перероблена пряжа демонструє зниження підкислення та евтрофікації на 65,5 % та 50,7 % порівняно з пряжею первинного еквівалента. Він також має третину впливу на навколишнє середовище, тоді як споживання води на 98,0 % менше, що очікується через усунення введення первинної бавовни.

Аналіз внеску для випадку з механічної переробкою відходів.

Виробництво звичайної бавовни є найбільшим фактором, що сприяє підкисленню (48 %), за ним йдуть фарбування (19 %), виробництво ПЕТФ-волокна (18 %) та електроенергія (15 %). У випадку вторинної переробки електроенергія (від прядіння) створює найбільший вплив (52 %), а також фарбування (17 %) і переробка волокон ПЕТФ (14 %). Це узгоджується зі спостереженнями Русата, щодо виробництва одягу. Однак загальний вплив майже на дві третини менший, ніж у первинній пряжі, що пояснюється видаленням первинних волокон, і 70 % з яких не потребують фарбування. У категорії кліматичних змін ПЕТФ-волокна домінують у викидах первинної пряжі (41 %), за якою йдуть звичайна бавовна (20 %), електроенергія (головним чином прядіння) (23 %) і фарбування (14 %). У разі вторинної переробки електроенергія від прядіння має найбільший вплив (53 %), потім йдуть перероблені ПЕТФ волокна з пляшок (18 %). Фарбування, збір і сортування та захоронення відходів прибирання (що становить 17 % порівняно з іншими дослідженнями, які становлять близько 30-35 %) інші сприяючі фактори (таблиці 11-12, рисунок 21). Висновки полягають у тому, що заміна ПЕТФ та бавовняних волокон переробленим матеріалом зменшує викиди, навіть якщо включимо енергію, необхідну для збору, сортування та переробки текстилю після споживання.

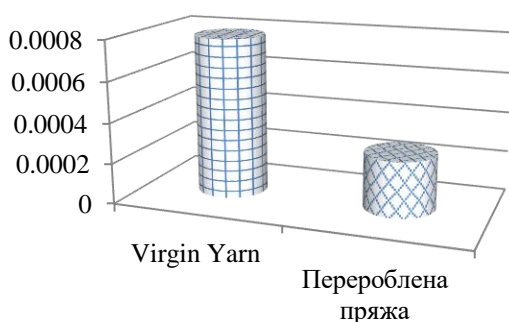
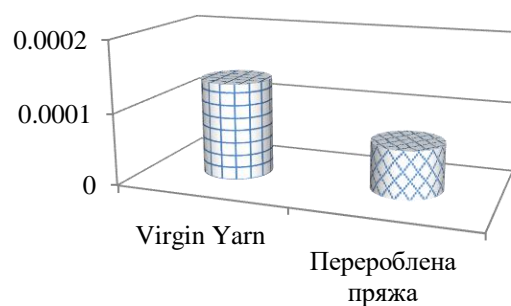
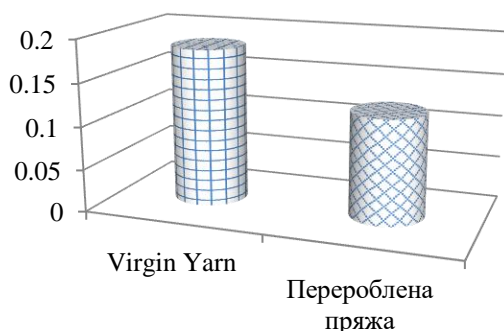
Таблиця 11 - Фактори, що сприяють глобальному потеплінню

Virgin Yarn		Перероблена пряжа	
Фактор	Внесок, %	Фактор	Внесок, %
Фарбування	14	Фарбування	8
Енергія	23	Енергія	53
Звичайна бавовна	20	Збір і сортування	6
ПЕТФ волокна	41	Перероблені ПЕТФ волокна	18
Полігон: Відходи прядіння	1	Полігон: Відходи очищення	6
Решта	1	Решта	9

Таблиця 12 - Фактори, що сприяють підкисленню

Virgin Yarn		Перероблена пряжа	
Фактор	Внесок, %	Фактор	Внесок, %
Фарбування	19	Фарбування	17
Енергія	15	Енергія	52
Звичайна бавовна	48	Збір і сортування	7
ПЕТФ волокна	18	Перероблені ПЕТФ волокна	14
Процеси з використанням води	0	Транспорт	7
Решта	0	Решта	4

Примітка: «Збір і сортування» стосується переміщення текстильних відходів з метою переробки. «Транспортування» означає переміщення решти матеріалів (текстильні відходи прядіння, первинна бавовна тощо)

Підкислення, кг SO<sub>2</sub>-екв.Евтрофікація, кг PO<sub>4</sub>-екв.Глобальне потепління, кг CO<sub>2</sub>-екв.

Споживання води, кг

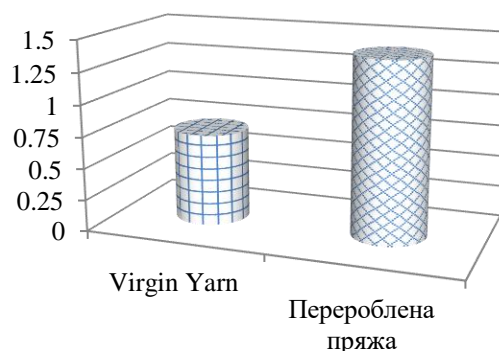


Рисунок 20- Вплив на навколишнє середовище для змішаного випадку

У змішаному випадку (100 % перероблена суміш ПЕТФ- бавовни, механічна переробка (таблиця 11 і рисунок 20), перероблена пряжа має

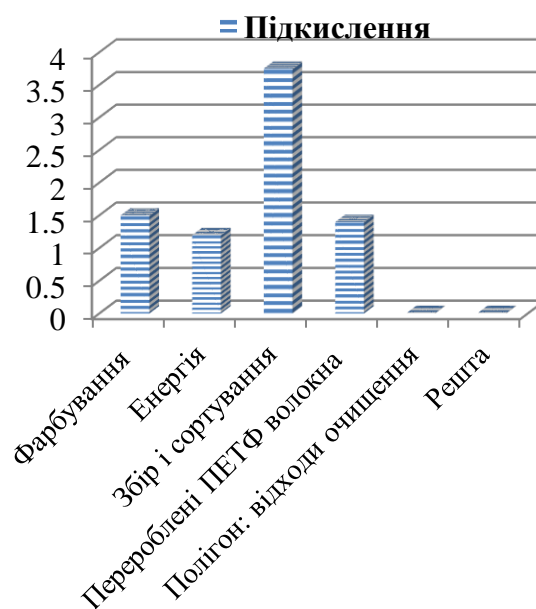
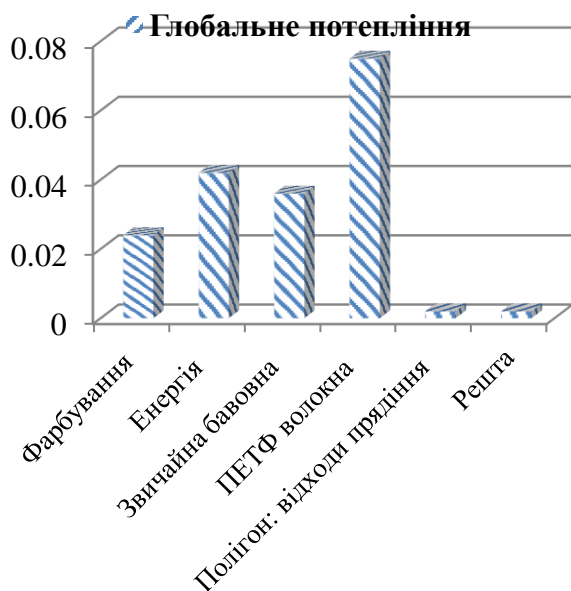
менший вплив на навколишнє середовище в усіх категоріях. Перероблена пряжа демонструє зниження кислотності та евтрофікації на 65 % і 50 % у порівнянні з первинною еквівалентною пряжею. На нього також припадає третина впливу на зміну клімату.

Що стосується глобального потепління, еквівалент первинної пряжі має на третину менший вплив, ніж перероблена пряжа, якщо споживання води зменшиться на 74 % у переробленій пряжі. У випадку переробки (80 % переробленої суміші ПЕТФ- бавовни, механічна переробка (таблиця 12 і рисунок 21) результати порівняльної характеристики показують, що перероблена пряжа має менший вплив у всіх категоріях. Найбільше скорочення спостерігається у споживанні води (97 %), а потім підкислення (65,9 %). Глобальне потепління на 36% менше. В обох випадках вплив зміни клімату був приблизно на третину меншим. Відмінності в трьох перших категоріях можна пояснити заміною виробництва натуральної бавовни на перероблену бавовну, а зниження глобального потепління можна пояснити зменшенням споживання первинного ПЕТФ на користь переробленого. У двох інших випадках зменшення впливу було меншим для більшості категорій. Основні фактори впливу на навколишнє середовище

Звичайні бавовняні волокна вносять значний внесок у підкислення пряжі первинного виробництва: 48 % у змішаному варіанті з 61 % первинної бавовни та 33 % у випадку переробки і 40 % первинної бавовни. З точки зору глобального потепління, бавовна має менший внесок, ніж електроенергія, на 20 % у змішаному випадку.

Нарешті, бавовна робить значний внесок у споживання води. Його заміна у відповідних випадках призвела до очікуваного скорочення споживання води до 98 %, завдяки водоемності вирощування культури. На 1 кг бавовняного волокна 2610 м<sup>3</sup> води необхідні згідно з даними, використаними в цій роботі. Навпаки, відсоток волокон ПЕТФ більше впливає на зміну клімату, що також очікувано, оскільки він виробляється з

викопного палива. Вони домінують у викидах у первинних нитках у змішаному випадку з вмістом первинного ПЕТФ 41 % і 38 %.



Перероблена пряжа

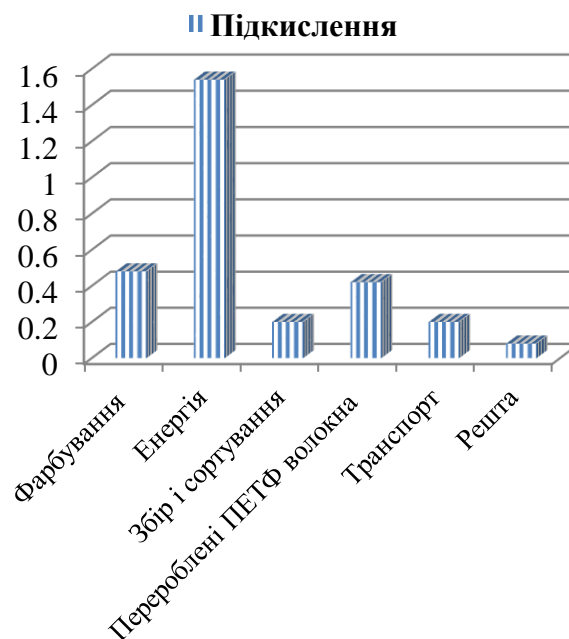
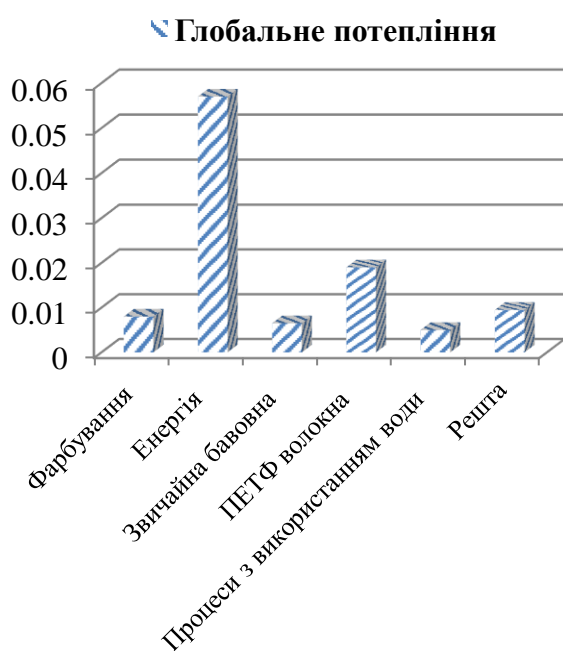


Рисунок 21 - Фактори, що сприяють підкисленню (кг SO<sub>2</sub>-екв.) і глобальному потеплінню (кг CO<sub>2</sub>-екв.)

Виробництво ПЕТФ волокна має менший внесок у підкислення, 18 % у змішаному випадку. Впровадження переробленої бавовни призвело до зменшення кислотності та споживання води. Збільшення відсотка переробленого ПЕТФ зменшило вплив на зміну клімату в змішаному випадку до 33 %. Комбіновані переваги підкислення були помічені у випадках змішаного циклу та переробки, які склалися з 80-100 % переробленої суміші бавовни та ПЕТФ.

Виробництво електроенергії слідувало за виробництвом первинного волокна за впливом на навколишнє середовище для первинної пряжі та в більшості випадків домінувало над впливом на навколишнє середовище для переробленого життєвого циклу. У прикладах механічної переробки електроенергія постачалася з електромережі, яка використовує вугілля, вуглецевмісне паливо для виробництва електроенергії. З аналізу внеску, у первинних джерелах електроенергія внесла 15 % у змішаному випадку. У перероблених нитках впливи переважали для тих самих випадків у межах від 43 % до 62 %. Що стосується глобального потепління, вплив первинної пряжі коливався від 11 % до 37 %, а для переробленої пряжі вони домінували в усіх категоріях від 42 % до 53 %.

Збір, транспортування, сортування та автоматичне сортування. У більшості випадків транспорт не відіграє суттєвої ролі, оскільки він впливає на зміну клімату та підкислення менше ніж на 10 %. Вплив підкислення коливається від 1% до 8% у всіх випадках, а зміна клімату однакова, від 2 до 9%. Ручне сортування та автоматичне сортування мають незначний вплив на це, тому для покращення потрібно дивитися на ефективність логістики. Нарешті, автоматизоване сортування допомагає зменшити витрати або сортування за матеріалом і мало незначний вплив на навколишнє середовище.

Управління текстильними відходами. Технології механічної переробки утворюють досить багато текстильних відходів, оскільки вони не можуть обробити частини одягу з нетекстильними матеріалами, такі як значки,

блискавки та гудзики. У результаті їх потрібно викидати вручну, розрізаючи значну частину одягу. Внесок у зміну клімату коливається від 6 % для відходів сортування у змішаному випадку з 17 % відходів після очищення до 16 % у випадку переробки, коли більше 35 % матеріалу викидається.

Фарбування. У змішаному випадку первинна пряжа вимагала фарбування, якого уникали або скорочували у випадках перероблених матеріалів завдяки належному змішуванню використаного текстилю. Фарбування спричинило приблизно 20 % підкислення пряжі первинного виробництва, уникнення чи зменшення якого разом з іншими факторами призвело до зниження на понад 60 % цієї категорії впливу.

#### Вплив переробки на ланцюг постачання

Межі системи для цього дослідження закінчуються пряжею, тому що решта ланцюга постачання залишається незмінною. Однак, щоб зрозуміти масштаби переваг використання перероблених матеріалів для виробництва одягу, важливо оцінити їх, враховуючи весь ланцюжок поставок, включаючи використання, виробництво тканини та інші процеси.

### 3.2.2 Допоміжні речовини у легкій промисловості на основі вторинної сировини

Однією з галузей легкої промисловості є взуттєва промисловість, яка теж вимагає застосування великої кількості первинної сировини. Важливо підкреслити, що виробництво взуття характеризується потенційним впливом на довкілля в межах життєвого циклу [41]. Це відбувається в основному через потреби в енергії на багатьох етапах виробництва взуття, включаючи висихання клеїв і ґрунтовок, що призводить до іншого тягаря для навколишнього середовища - органічних викидів. За даними [42] взуттєва промисловість тісно пов'язана з промисловістю клеїв, використовуючи методи склеювання для з'єднання різних матеріалів, що використовуються для складання взуття. Однак для цих досліджень не проводили повної оцінки

життєвого циклу. Важливо враховувати вплив на навколишнє середовище за допомогою підходу життєвого циклу з самого початку на екологічний профіль системи взуттєвих продуктів.

Клей на основі розчинників (КОР) у взуттєвій промисловості є технологією, яка використовується для довговічності продукту. Однак використання розчинників створює велику шкоду для навколишнього середовища та працівників. Працівники регулярно стикаються зі складними сумішами розчинників у знежирювачах, очисниках, ґрунтовках і клеях. Крім того, органічні розчинники можуть бути пов'язані зі збільшенням ризику появи деяких видів раку. Визнання потенційної небезпеки КОР для здоров'я призвело до розробки клеїв без органічних розчинників, наприклад, клеїв на водній основі.

Клей на водній основі (КОВ) — це хімічний матеріал із гарними характеристиками для склеювання взуття, який легко та швидко наноситься. КОВ можна наносити на з'єднувані поверхні вручну, але під час процесів склеювання потрібне нагрівальне обладнання для випаровування води, подібно до клею на основі розчинників.

Були досліджені новітні технології, такі як клеї-розплави на основі полімер містких (ПЕТФ) відходів (КРВ). Ця технологія базується на використанні клеїв-розплавів, які являють собою термопластичний матеріал, що не містить розчинників і нагрівається для плавлення та нанесення на робочу поверхню. Клей-розплав являє собою гранули. Ця технологія потребує невеликої кількості клею, оскільки використовує автоматичне обладнання, яке повторно використовує весь порошок матеріал (переробка), вимагає низької температури для розплавлення клею і основним є те, що для їх виробництва використовується вторинна полімерна сировина, яка дуже часто потрапляє на звалище та створює в подальшому екологічну небезпечну ситуацію.

Процеси з використанням клеїв-розплавів на основі відходів та води є складними порівняно з процесами для клеїв на основі розчинників. Однак вони можуть мати менший вплив на навколишнє середовище, оскільки

зменшують викиди летких органічних речовин (ЛОС), наприклад, зменшуючи ризики для здоров'я працівників і навіть займистість. Підсумовуючи, окрім відмінностей у виробництві, клеї на основі води та розчинників відрізняються від КРВ, головним чином щодо етапів нанесення. Перш за все, клеї на основі води та розчинників не потребують використання енергії, тому що вони зазвичай наносяться вручну, тоді як КРВ вимагає використання електроенергії, оскільки це здійснюється спецобладнанням, а це стандартний промисловий процес.

З іншого боку, клеї на основі води та розчинників вимагають значної кількості клею порівняно з КРВ.

Проведено порівняльну оцінку життєвого циклу між трьома різними адгезивними технологіями та з використанням у якості основного компоненту клеїв як первинної, так і вторинної сировини але однієї полімерної складової.

Для оцінки середніх впливів було застосовано базовий метод Impact 2002+. Категорії впливу були визначені на основі досліджень, пов'язаних з виробництвом взуття. Були проаналізовані основні потоки, які об'єднують найбільш використовувані методології впливу. Визначені основні категорії впливу: глобальне потепління (GW), руйнування озонового шару (OL), невідновлювані джерела енергії (NR), органічні речовини, які потрапляють через органи дихання (RO) і водний слід (WF). Хоча Milàet ін. сказав, що потенційно токсичні речовини, що виділяються під час виробництва взуття, походять в основному від використовуваних клеїв, у цій роботі було обрано вплив органічних речовин на органи дихання замість потенційного впливу токсичності на людину, внаслідок того, що основним викидом визначеним інвентаризацією є ацетон.

Важливо підкреслити, що клеї на водній основі та на основі розчинників наносяться однаково, тобто наносити потрібно двома частинами, а КРВ тільки однією таблиця 13. Таким чином, екологічна оцінка може

знадобитися, щоб розглянути, яка адгезивна технологія буде найкращим вибором з екологічної точки зору в підході життєвого циклу.

Таблиця 13 – Витрати матеріалів

Вид адгезиву	Речовини	Витрати, г/м <sup>2</sup>	Опис
КОР	КОР	300	Термопластичний поліестерний клей на основі розчинника
	Речовини для обробки поверхні склеювання 1	20	Суміш розчинників
КОВ	КОВ	120	Термопластична поліестерна дисперсія
	Речовини для обробки поверхні склеювання 2	20	Суміш розчинників
КРВ	КРВ	30	Термопластичний поліестерний клей-розплав на основі рециклатів ПЕТФ
	Речовини для обробки поверхні склеювання 3	20	Суміш розчинників

Мета та сфера застосування.

Дослідження розглядало межі потоку, починаючи з видобутку ресурсів для виробництва сировини (для порівняння первинної та вторинної сировини) до фази, коли використовувалися клеї (Додаток Б, рисунок Б.1). Для моделювання процесу та визначення характеристик впливу, які використовувалися обрано бази даних Ecoinvent v3.0 і програмне забезпечення Simapro. На рисунку Б2, Додатку Б представлені елементарні потоки, пов'язані з трьома технологіями.

Функціональна одиниця: один квадратний метр склеєної поверхні відповідно до стандарту ABNT NBR:2012 Полімерна основа – поліестер.

Розглядаючи кожну технологію, важливо підкреслити, що в той час як у технології клею-розплаву використовувався термопластичний поліестер у

формі гранул, сольвентна технологія працює з поліестером, розчиненим в органічних розчинниках, а клей на водній основі працює з поліестером у емульсії. Це універсальний і гнучкий полімер для використання у взуттєвій промисловості, оскільки він забезпечує хорошу сумісність з різними матеріалами, що використовуються у виробництві взуття, демонструючи бажані властивості міцності до склеювання.

Виробництво КОР. Процес починається із суміші розчинників, після чого вводяться полімери та добавки. Потім всі ці компоненти змішуються. Нарешті, кінцевий продукт упаковується, як правило, в металеву тару.

Процес виробництва КОВ більш складний порівняно з КОР, оскільки включає хімічну реакцію, пов'язану з полімеризацією. Після полімеризації вводять деякі спеціальні добавки з метою контролю в'язкості та вмісту твердих речовин.

Крім того, для кожної партії необхідно очищати зону змішування реактора після виготовлення. Це робиться за допомогою води, а стічні води, що утворюються, направляються на завод з очищення промислових відходів.

Виробництво КРВ. Запропонована модель отримання клеїв-розплавів з відходів ПЕТФ, яка передбачає таку послідовність реакцій: деструкція вихідного полімеру, синтез олігомерів, внаслідок обмінних реакцій; утворення розгалужених сполук [17]. На відміну від механічної переробки відходів, кінцевий продукт призводить до отримання продуктів широкого спектру, які можна використати у різних галузях промисловості і для різних процесів формування виробів легкої промисловості.

Нарешті, технологія хімічного рециклінгу відходів ПЕТФ на 100% складається з твердого матеріалу, і він складається лише з твердої сировини у формі частинок. На блок-схемі, рисунок 22 пояснюється процес виробництва переробленого ПЕТ із використаних пляшок.

Клей працює в певному розмірі, відповідаючи за скорочений і дешевий процес склеювання.

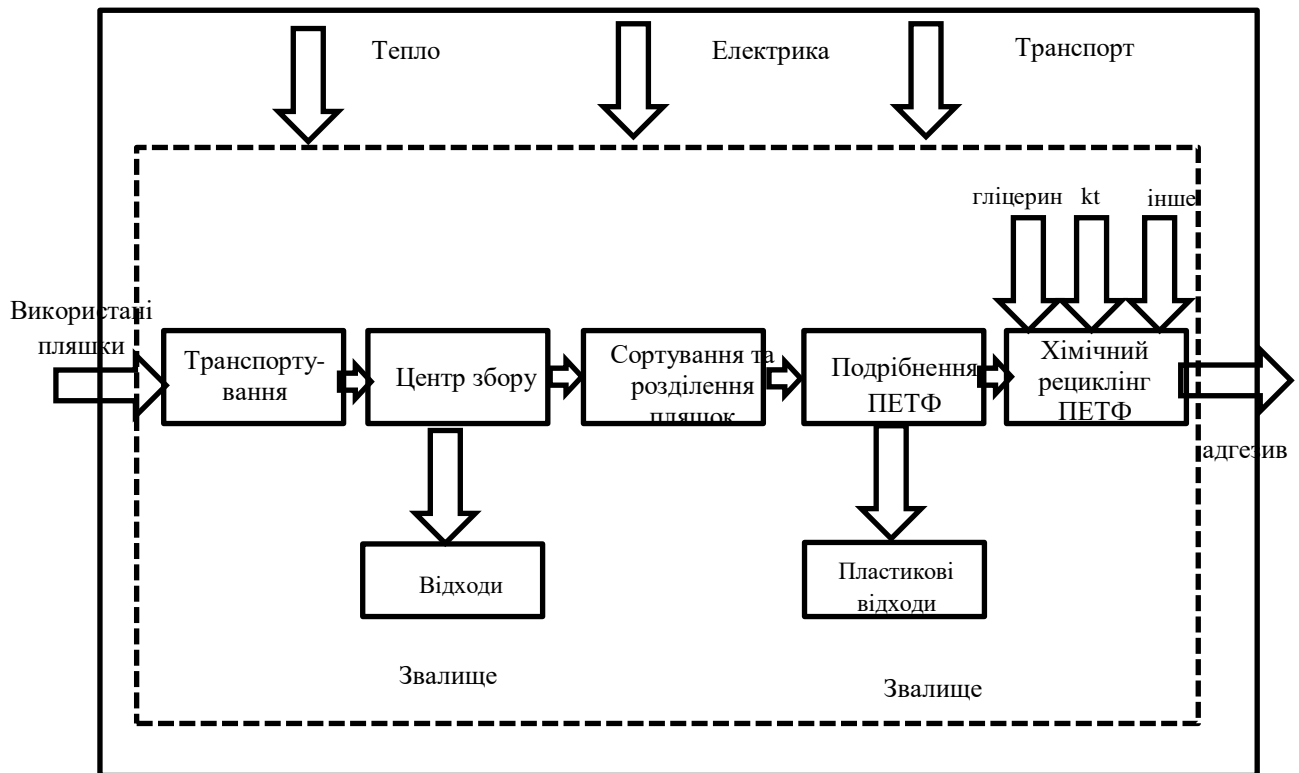


Рисунок 22 - Блок-схема процесу хімічного рециклінгу відходів ПЕТФ

КОВ та КОР представляють подібний процес використання. Спочатку необхідно очистити поверхню, яка буде склеюватися, потім наноситься спеціальна грунтовка, після чого вручну наноситься клей. Після завершення цих етапів адгезійна плівка знову активується за допомогою тепла, і, нарешті, поверхні, які необхідно склеїти, пресуються. Що стосується КРВ, перший крок подібний до КОР та КОВ; однак на третьому етапі використовується спеціальна машина (автоматизована система) для нанесення клею. Важливо підкреслити, що ця система має переваги, оскільки, наприклад, вона використовує клей лише на одній поверхні взуття, а композиція не містить розчинників.

Інвентаризація життєвого циклу була зроблена з використанням первинних даних, зібраних на підприємстві з виробництва клеїв, пов'язаних із двома технологіями: КОВ та КОР. Усі потоки, пов'язані з виробництвом, обладнанням, що використовується протягом життєвого циклу технології, були виключені з цього дослідження. Таким чином, інфраструктура не розглядається в цій роботі з двох причин: бракує доступних даних LCA щодо

всієї інфраструктури, пов'язаної з життєвим циклом усіх клеїв, оцінених у цій роботі. Потоки, пов'язані з виробництвом упаковки та її транспортуванням, були виключені, оскільки вони становили менше 1% від загальної маси або енергії системи.

Тому на основі елементарних потоків процесів кількісно визначено всі необхідні потоки та процес для скріплення одного квадратного метра жіночого взуття. Це кількісне визначення призвело до інвентаризації життєвого циклу (LCI) трьох технологій.

Дані про технологію виробництва КРВ були отримані з літературних джерел [16, 17]. Кількісні дані, пов'язані з стадією нанесення (використаний клей і знежирювач), вимірювалися в лабораторних тестах, як показано в таблиці 14.

Таблиця 14 – Обладнання, яке використовується в технологіях

Обладнання/процес	Вид адгезиву	Продуктивність	Тривалість процесу, год.
Виробництво клеїв			
Реактор змішування, 20 кВт	КОВ	1000кг/партія	6
Реактор змішування, 30 кВт	КОР	3500 кг/ партія	8
Змішування, 150 кВт	КРВ	40 кг/партія	1
Клей-розплав, 150 кВт	КРВ	40 кг/год.	-
Використання клеїв			
Гаряче повітря, 18 кВт	Всі системи	100 пар/год.	-
Енергія активатору нагрівання, 5 кВт	Всі системи	100 пар/год.	-
Пристрій для нанесення клею-розплаву, 5 кВт	КРВ	400 пар/год.	-
Прес, 2 кВт	Всі системи	100 пар/год.	-

LCI оцінюваних технологій було розділено на два етапи:

- ✓ виробництво: стадія змішування сировини, виготовлення клею та застосування клею;
- ✓ визначено необхідні етапи під час використання клею для складання взуття.

Лабораторні дослідження враховували розмір досліджуваних зразків; усі випробувані зразки були зважені; в технологіях склеювання КОР та КОВ наносився безпосередньо; для знежирювачів, які використовуються для технологій клеїв на основі розчинників і води, необхідно було виконати кроки 1-2, після чого він наносився; в кінці суху масу помножили на фракцію розчинника, зазначену в офіційній рецептурі, а потім розрахували кількість кожної речовини, необхідної для адгезії, на основі таблиці 14.

Енергія, яка споживалася для виробництва та застосування. У цьому розрахунку враховувалися потужність і ефективність машини, як представлено в таблиці 14. Потоки, пов'язані зі споживанням енергії на стадіях виробництва та застосування, були оцінені за допомогою рівняння:

$$E_{i,n} = \left( \frac{P_{i,n} \cdot T_{i,n}}{Ef_{i,n}} \right) \cdot Ad_{i,n}$$

де  $E_{i,n}$  - енергія, що витрачається на виробництво необхідної кількості клею, щоб склеїти один квадратний метр двох підкладок за допомогою машини та/або обладнання  $n$ , кВт-год;

$P_{i,n}$  - потужність обладнання  $n$ , яке використовується у виробництві клею, кВт;

$T_{i,n}$  - час виготовлення партії клею, год/партію;

$Ef_{i,n}$  - ефективність обладнання на партію для виробництва клею, кг/партію;

$Ad_{i,n}$  - кількість клею  $i$  необхідна для склеювання одного квадратного метра двох підкладок (кг/м<sup>2</sup>)

$i$  - це адгезивна технологія;

$n$  - машини та/або обладнання, що використовується у виробництві клею:

$$E_{i,n} = \left( \frac{P_{i,n}}{Ef_{i,n}} \right) \cdot 2A$$

де  $A$  площа стандартного середнього жіночого взуття,  $m^2$ , вважається рівною  $0,0099 m^2$ ; коефіцієнт 2 враховувався для розрахунку загальної площі на пару).

Викиди від виробництва води та розчинників були оцінені за допомогою аналізу масового потоку на основі різниці між вихідною сировиною та кінцевим продуктом, отриманим у партії змішування. Вихід змішування (співвідношення маси вхідних речовин до кількості виробленого клею) було оцінено як 96,71% для КОР та 96,99% для технології КОВ. Використовуючи цю інформацію, утворені відходи були оцінені з урахуванням пропорційності речовини у складі клею. Таким чином, 3,29% КОР і 3,01% КОВ у випадку поставок вважаються виробничими втратами. Викиди від процесу виробництва клею-розплаву не враховувалися через їх відсутність.

Під час етапу нанесення загальна частка розчинника у складі клею, що наноситься, розглядалася як викиди. Ці викиди вважалися повітрям у приміщенні.

Вважалося, що місцеве транспортування поставок здійснюється вантажівками вантажопідйомністю 16 тонн на середню відстань 1000 км. Що стосується відходів, вважалося, що відстань між фабрикою з виробництва клею та місцем обробки відходів становила 10 км.

База даних Ecoinvent була застосована для всіх процесів, які знаходяться за межами елементарного потоку. Через складність роботи та хімічні характеристики деяких речовин, перелічених в інвентаризації, деякі з них були недоступні в базі даних Ecoinvent v.3, в основному допоміжні речовини, такі як деякі добавки. Щоб подолати це обмеження, шукали загальні та аналогічні дані, пов'язані з речовинами, переліченими в реєстрі. Якщо одна з цих альтернатив не може бути задоволена, тоді кількість пов'язаної речовини додається разом з іншою речовиною, яка представляє потенційний вплив. Таким чином, «органічний невизначений» загальний набір даних Ecoinvent розчинника, який передбачався з набором даних «метилетилкетон», він вважався підходом найгіршого випадку.

Щоб забезпечити енергетичні потоки з хорошою репрезентативністю та відповідністю до економічних та географічних умов України – це дослідження розглядало українську електромережу 2020 року.

Використовуючи описану розраховану методологію, можна було визначити матеріали, необхідні для з'єднання двох підкладок площею один квадратний метр.

Результати, щодо цього етапу, представлені в таблицях 15-17, і можна було визначити різницю між системами продукту для виконання однакових функціональних одиниць. На основі цієї інформації було проведено LCI. Вхідні та вихідні потоки для кожної технології пов'язані з достатньою кількістю для виробництва клею на один квадратний метр склеєної поверхні.

Таблиця 15 – Результати LCI для КОР

Виробництво			
Вхідні потоки		Вихідні потоки	
Показники	Значення	Показники	Значення
Ацетон	0,26 кг	КОР	0,3 кг
Неорганічні добавки	0,00246 кг	Ацетон	0,00855 кг
Термпластична полімерна складова	0,044 кг	Неорганічні добавки	0,0000809 кг
Органічні добавки	0,000923 кг	Органічні добавки	0,00145 кг
Транспорт	308 км		
Енергія	0,0135 кВт/год		
Використання			
Вхідні потоки		Вихідні потоки	
Показники	Значення	Показники	Значення
КОР	0,297 кг	Ацетон	0,269 кг
Енергія гарячого повітря	7,58 кВт/год		
Енергія активатору нагрівання	2,1 кВт/год		
Ацетон (речовини для обробки поверхні склеювання 1)	0,0171 кг		
Термопластичний полієфір (речовини для обробки поверхні склеювання 1)	0,00218 кг		
Транспорт	95 км		

Таблиця 16 – Результати LCI для КОВ

Виробництво			
Вхідні потоки		Вихідні потоки	
Показники	Значення	Показники	Значення
Водна полімерна дисперсія	0,112 кг	КОВ	0,117 кг
Минеральні масла	0,000242 кг	Водна полімерна дисперсія	0,00338 кг
Вода	0,00284 кг	Минеральні масла	0,00000727 кг
Неорганічні добавки	0,00206 кг	Вода	0,0000854 кг
Органічні добавки	0,00308 кг	Неорганічні добавки	0,0000438 кг
Біоцид	0,000242 кг	Органічні добавки	0,0000927 кг
Вода (для очистки реактора)	0,00748 кг	Біоцид	0,00000727 кг
Транспорт (враховуючи стічні води)	119 км	Вода (для очистки реактора)	0,00748 кг
Енергія	0,0138 кВт/год		
Використання			
Вхідні потоки		Вихідні потоки	
Показники	Значення	Показники	Значення
КОВ	0,117 кг	Вода	0,00284 кг
Енергія гарячого повітря	7,58 кВт/год	Органічні добавки	0,000695 кг
Енергія активатора нагрівання	2,1 кВт/год		
Поліеферна дисперсія (речовини для обробки поверхні склеювання 2)	0,0167 кг		
Вода (речовини для обробки поверхні склеювання 2)	0,000860 кг		
органічні добавки (речовини для обробки поверхні склеювання 2)	0,000732 кг		
мінеральні масла (речовини для обробки поверхні склеювання 2)	0,0000128 кг		
біоцид (речовини для обробки поверхні склеювання 2)	0,0000366 кг		
Транспорт	40 км		

Таблиця 17 – Результати LCI для КРВ

Виробництво			
Вхідні потоки		Вихідні потоки	
Показники	Значення	Показники	Значення
Відходи ПЕТФ	0,024 кг	КРВ	0,0356 кг
гліцерин	0,016 кг	Етиленгліколь	0,0044 кг
каталізатори	0,00004 кг	Рідкий азот	0,000000178 кг
рідкий азот	0,000000178 кг		
Транспорт	20 км		
Енергія	0,0135 кВт/год		
Використання			
Вхідні потоки		Вихідні потоки	
Показники	Значення	Показники	Значення
КРВ	0,297 кг	Ацетон (речовини для обробки поверхні склеювання 3)	0,0171 кг
Енергія обладнання для нанесення	0,4 кВт/год	Органічні добавки (речовини для обробки поверхні склеювання 3)	0,0015 кг
Енергія гарячого повітря	7,58 кВт/год		
Енергія активатору нагрівання	2,1 кВт/год		
Ацетон (речовини для обробки поверхні склеювання 3)	0,0171 кг		
Органічні добавки (речовини для обробки поверхні склеювання 3)	0,00218 кг		
Транспорт	25 км		

Результати оцінки життєвого циклу.

Після того, як усі вхідні та вихідні потоки та їх обсяги були визначені, наступним кроком було визначення впливу, пов'язаного з кожною технологією життєвого циклу. Результати абсолютного впливу наведені в

таблиці 18. Результати порівняння цих трьох доступних адгезивних технологій представлені на рисунку 23.

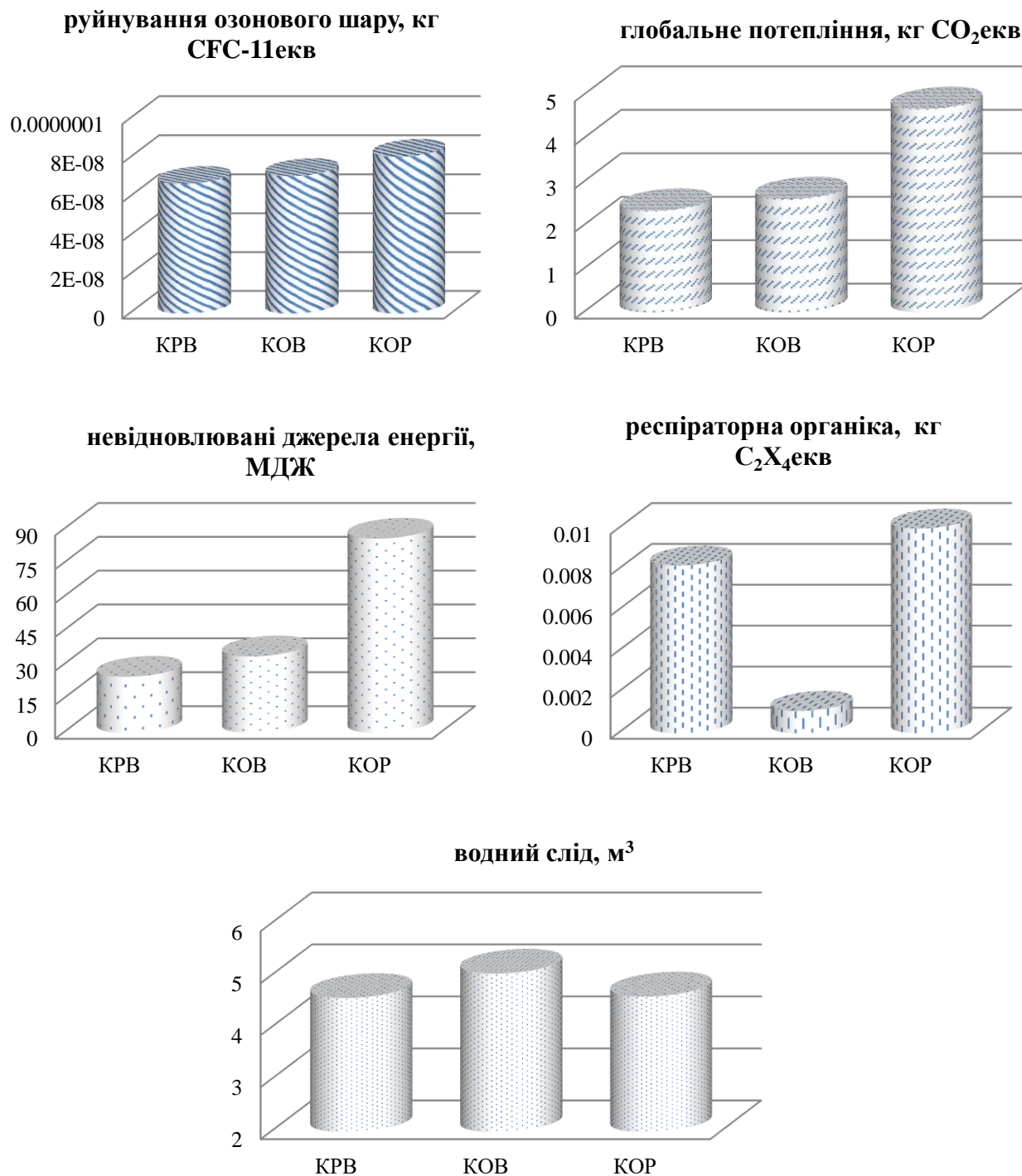


Рисунок 23 – Порівняння результатів оцінки впливу за категоріями для трьох видів адгезивів

Таблиця 18 – Результати оцінки впливу трьох клейових технологій

Категорія впливу	КРВ	КОВ	КОР
руйнування озонового шару, кг CFC-11екв	$6,68 \cdot 10^{-8}$	$7,08 \cdot 10^{-8}$	$8,07 \cdot 10^{-8}$
глобальне потепління, кг CO <sub>2</sub> екв	2,34	2,61	4,68
невідновлювані джерела енергії, МДЖ	24,8	33,8	86,0
респіраторна органіка, кг C <sub>2</sub> H <sub>4</sub> екв	$8,19 \cdot 10^{-03}$	$1,09 \cdot 10^{-03}$	$2,95 \cdot 10^{-2}$
водний слід, м <sup>3</sup>	4,58	5,05	4,61

Загалом КОР мав найбільший вплив у чотирьох категоріях: руйнування озонового шару, глобальне потепління, не відновлювані джерела енергії та респіраторні органічні речовини. Проте КОР демонструє кращі результати в категорії впливу на водний слід.

Можна відзначити, що категорії невідновлюваних джерел енергії та респіраторної органіки мали найбільші відмінності серед технологій, тоді як руйнування озонового шару та водний слід продемонстрували мінімальні відмінності в результатах впливу серед аналізованих технологій (рисунок 23 і таблиця 18). Навпаки, КРВ зменшує вплив у чотирьох із п'яти оцінених категорій впливу порівняно з КОР:  $-17\%$  до руйнування озонового шару,  $-50\%$  до глобального потепління,  $-71\%$  до невідновлюваних джерел енергії та приблизно  $1\%$  до водного сліду.

Однією з причин пом'якшення навколишнього середовища може бути впровадження нових технологій, заснованих на наукових дослідженнях, активна діяльність, яка шукає інноваційні матеріали та технології.

Аналіз внеску з метою інтерпретації це обчислення сумарних внесків у декілька факторів, які брали участь у навантаженні на довкілля. Ці результати показані у відсотках від загальної кількості, іншими словами, мета на цьому етапі полягає в тому, щоб визначити, який процес або речовини мають найбільший вплив серед усіх оцінених продуктів (рисунок 24).

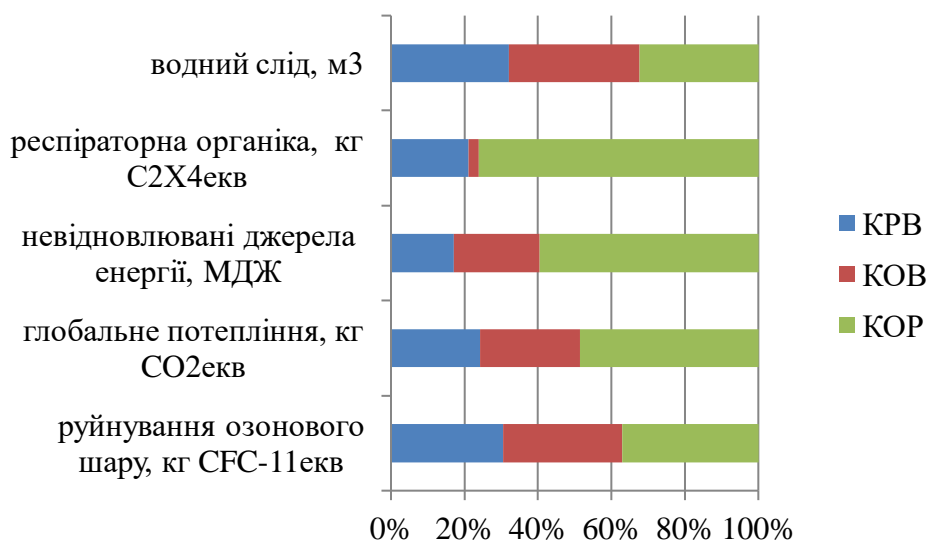


Рисунок 24 – Порівняння відносних результатів оцінки впливу за категоріями для трьох видів адгезивів

Важливо підкреслити, що на стадії виробництва клею, обладнання, яке використовується для їх нанесення є основним фактором для з'єднання різних деталей взуття.

Це дослідження показує, що вплив на навколишнє середовище, продемонстрований на етапі виробництва, тісно пов'язаний із функцією склеювання, а отже, і з системою виробництва клею.

Таким чином, покращення навколишнього середовища можна досягти двома шляхами: розробкою нових технологій синтезу клею на основі вторинної сировини, які вимагають менше часу на обладнання та вдосконалення обладнання, з точки зору енергоефективності.

Технологію КРВ можна вважати більш привабливою, оскільки вона представляє менші респіраторні викиди органічних речовин на етапі застосування. У цій технології 66% викликані викидами неметанових летких органічних сполук, пов'язаних зі споживанням енергії електромережею під час виробництва та застосування.

## ВИСНОВКИ

В рамках оцінки впливу на навколишнє середовище за останні роки LCA став цінним інструментом підтримки прийняття рішень для осіб, які приймають рішення, як у політичній, так і в промисловій сферах.

Оцінено життєві цикли двох прикладів у порівнянні з їхніми еквівалентами, зробленими з первинних матеріалів. Вибрані категорії впливу: зміна клімату, підкислення, евтрофікація та споживання води.

У результаті аналізу внесків було визначено найбільш впливові етапи процесу переробки. Дослідження включало первинні дані з різних процесів у життєвому циклі, включаючи механічну переробку, збір текстилю та ручне та автоматизоване сортування. За результатами досліджень, які включають механічну переробку та високий відсоток переробленої сировини, перероблена пряжа мала потенціал для зменшення впливу, включаючи підкислення, евтрофікацію та споживання води. В обох випадках вплив зміни клімату був приблизно на третину меншим. Відмінності в трьох перших категоріях можна пояснити заміною виробництва натуральної бавовни на перероблену бавовну, а зниження глобального потепління можна пояснити зменшенням споживання первинного ПЕТФ на користь переробленого.

Згідно з проведеним аналізом, найбільшим впливом виявлено вміст первинних волокон, виробництво електроенергії, процес збору текстилю, управління текстильними відходами та фарбування. Незначний внесок внесли сам процес переробки, ручне та автоматичне сортування. Порівняно із загальним ланцюгом постачання, життєві цикли перероблених матеріалів принесли переваги для навколишнього середовища щодо категорій евтрофікації, але мінімально зменшили кліматичні зміни, оскільки, окрім витіснення виробництва первинного волокна, решта ланцюга постачання залишається незмінною.

Що стосується збору текстилю, більш ефективне планування маршруту може допомогти зменшити викиди вуглекислого газу, а також знизити витрати для компаній.

Автоматизоване сортування використаного текстилю за матеріалом дозволяє переробляти одяг до одягу, оскільки це скорочує витрати, таким чином зменшуючи економічні бар'єри, в той час як вплив є незначним. В деяких випадках механічна переробка може привести до 50% текстильних відходів.

Досліджено вплив полімерних покриттів на основі рециклатів на життєвий цикл деталей.

Встановлено, що основними характеристиками адгезивів, які впливають на життєвий цикл виробів легкої промисловості є їх фізико-хімічні та експлуатаційні характеристики, а саме - в'язкість, температура розм'якшення, термостабільність, еластичність клейових плівок, відкритий час витримки, швидкість схоплення, міцність клейових з'єднань на зсув, водопоглинання, відносну густину, а також водостійкість, морозостійкість, теплостійкість, опір швидкому старінню, прискорене старіння при гідротермічній обробці.

Показано, що температура розм'якшення та в'язкість клею-розплаву на основі відходів ПЕТФ набагато менша, ніж у клеїв-аналогів. Експлуатаційними характеристиками клейові з'єднання не поступаються, а в деяких випадках мають вищі значення показників в порівнянні із закордонними клеями-аналогами.

Для отримання клейових з'єднань з нормативними показниками міцності в'язкість клею-розплаву повинна знаходитись в межах від  $5,5 \text{ м}^3/\text{г}$  до  $6 \text{ м}^3/\text{г}$ ; в'язкість за Брукфільдом – від  $1 \text{ Па}\cdot\text{с}$  до  $3,5 \text{ Па}\cdot\text{с}$ , молекулярна маса олігомеру – від 1158 до 1281. Температурні показники клею-розплаву: температура розм'якшення від  $55 \text{ }^\circ\text{C}$  до  $65 \text{ }^\circ\text{C}$ ; температура плавлення – від  $65 \text{ }^\circ\text{C}$  до  $75 \text{ }^\circ\text{C}$ .

Проведено порівняння LCA трьох клейових технологій і всіх основних процесів і речовин (вхідних і вихідних) для отримання достатньої кількості клею для склеювання 1 м<sup>2</sup> двох поверхонь.

Виходячи з результатів, можна стверджувати, що технологія КРВ продемонструвала найбільший вплив на зменшення (5 з 5 оцінених категорій) потреба в енергії для його застосування була знижена саме завдяки використанню рециклів ПЕТФ, які дозволили зменшити температуру нанесення таких адгезивів. Крім того, було виявлено, що технологія КРВ не показала таких же хороших показників у категорії впливу органічних речовин на органи дихання. У цьому випадку КОВ буде вважатися найкращою технологією, тому що цей клей продемонстрував лише незначне навантаження для категорії впливу органіки на органи дихання, головним чином через його низькі органічні викиди на етапі використання.

Основу для встановлення пріоритетів щодо того, які прогалини в даних ОЖЦ потрібно заповнити, створюється шляхом перенесення перспективи ОЖЦ текстилю з рівня одягу на рівень промислового сектора, таким чином, що враховуючи загальне річне споживання одягу в усій країні, у даному випадку в Україні. На рівні промислового сектора вдалося визначити найбільш поширені текстильні процеси та систематично розробити репрезентативні дані LCI для них.

Наступне дослідження ОЖЦ може оцінювати технологію чи хімічну речовину за межами охоплення. Тому, крім заповнення поточних прогалин у даних за допомогою тематичних досліджень, важливо розробити методи збору даних на основі досвіду попередніх ситуацій.

## ПЕРЕЛІК ДЖЕРЕЛ ПОСИЛАННЯ

1. Левицький В.О. Історія та перспективи сучасного розвитку легкої промисловості / В.О. Левицький // Актуальні задачі сучасних технологій: матеріали IV Міжнародної науково-технічної конференції молодих учених та студентів, (25-26 листопада 2015). – Тернопіль, 2015. - С. 206-207.
2. LIFE CYCLE ANALYSIS OF TEXTILES. Режим доступу: <https://textilevaluechain.in/in-depth-analysis/articles/textile-articles/%C2%AClife-cycle-analysis-of-textiles/> (дата звернення 1.09.2022).
3. Бойченко К. С. Розвиток підприємств легкої промисловості через призму інтегрованості / К. С. Бойченко // Науковий вісник Ужгородського національного університету Серія: Міжнародні економічні відносини та світове господарство. – 2020. - № 31. - С.7-11. – Режим доступу: [http://visnyk-econom.uzhnu.uz.ua/archive/31\\_2020ua/3.pdf](http://visnyk-econom.uzhnu.uz.ua/archive/31_2020ua/3.pdf) (дата звернення 10.09.2022).
4. Особливості виробничого процесу та чинники розміщення підприємств з виробництва тканин, одягу, взуття. Режим доступу: <https://geografiamozil2.jimdofree.com/%D0%B3%D0%BE%D0%BB%D0%BE%D0%B2%D0%BD%D0%B0/%D0%B2%D0%B8%D1%80%D0%BE%D0%B1%D0%BD%D0%B8%D1%86%D1%82%D0%B2%D0%BE-%D1%82%D0%BA%D0%B0%D0%BD%D0%B8%D0%BD-%D0%BE%D0%B4%D1%8F%D0%B3%D1%83-%D1%82%D0%B0-%D0%B2%D0%B7%D1%83%D1%82%D1%82%D1%8F-%D0%B2-%D1%83%D0%BA%D1%80%D0%B0%D1%97%D0%BD%D1%96-%D1%82%D0%B0-%D1%83-%D1%81%D0%B2%D1%96%D1%82%D1%96/> (дата звернення 10.09.2022)
5. Complete Textile Manufacturing Process in Details Access mode: <https://textiledetails.com/textile-manufacturing-process/> (date of appeal: 12.09.2022)/

6. Production-control-and-plant-considerations. Access mode: <https://www.britannica.com/topic/clothing-and-footwear-industry>. (date of appeal: 12.09.2022).
7. Матеріалознавство швейного виробництва. Режим доступу: <https://subject.com.ua/technology/clothing/164.html> (дата звернення 10.09.2022).
8. Неткані матеріали. Режим доступу: <https://rt82.ru/uk/in-everyday-life/netkanye-materialy-netkanye-materialy-klassifikaciya-i-sposoby-primeneniya/> (дата звернення 10.09.2022).
9. Sayfullayev S. The Effectiveness of the Use of Secondary Material Resources of the Textile and Light Industry / S.Sayfullayev, K.Solikh ugli, Sh.Sherkul //Texas Journal of Multidisciplinary Studies. A Bi-Monthly, Peer Reviewed International Journal. – 2022. - №9. - P.108-113. Access mode: <https://zienjournals.com> (date of appeal: 12.09.2022).
10. Alternative Materials for Sustainable Clothing <https://www.adecesg.com/resources/blog/alternative-materials-for-sustainable-clothing/>. Access mode: <https://www.adecesg.com/resources/blog/alternative-materials-for-sustainable-clothing/> (date of appeal: 15.09.2022).
11. Tatariants M. A new strategy for using textile waste as a sustainable source of recovered cotton / M. Tatariants, M.Tichonovas, Z. SarwarbIlona, J. LinasKliucininkas // Resources, Conservation and Recycling. – 2019. - № 145. – P.359-369, Access mode: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0921344919300941>. (date of appeal: 15.09.2022).
12. Langley K.D. Manufacturing nonwovens and other products in recycled fibres containing spandex. / K.D. Langley, Y.K. Kim // Recycling in Textiles. – 2006. - P. 137-164.
13. Zamani B. A Carbon Footprint of Textile Recycling A Case Study in Sweden./ B.Zamani, M.Svanstrom, G.Peters, T. Rydberg //Journal of Industrial Ecology. – 2015. - № 19. – P. 676–687.
14. Fletcher K. Sustainable fashion and textiles: design journeys./ Fletcher K. London: Earth scan. - 2008

15. Payne A. Open- and closed-loop recycling of textile and apparel products. Queensland University of Technology, Brisbane, Queensland, Australia. – 2014.
16. Мандзюк І. А. Розвиток наукових основ технологій рециклінгу полімерних відходів у матеріалбі і деталі взуття та інші виробы легкої промисловості.- Дисертація д-ра техн. наук: 05.18.18, Київ. нац. ун-т технологій і дизайну. - К., 2012.- 400 с. : рис., табл.
17. Іванішена Т. В. Розробка технології виготовлення та використання клеїв-розплавів на основі відходів поліетилентерефталату у взуттєвому виробництві : Дис... канд. наук: 05.18.18 - 2008.
18. Декл. патент 60710А Україна, МПК7 7С 08 J11/00. Спосіб переробки відходів поліетилентерефталату / І. А. Мандзюк, В. М. Голоджко, Т. В. Іванішена ; заявник і патентовласник Хмельницький державний університет. – № 2003021112 ; заявл. 07.02.03 ; опубл. 15.10.03, Бюл. № 10. – 3 с.
19. Spathas T. The Environmental Performance of High Value Recycling for the Fashion Industry: LCA for four case studies / T. Spathas // Department of Energy and Environment, Chalmers university of technology. Gothenburg, Sweden, 2017.
20. Hauschild M.Z. Life Cycle Impact Assessment, Life Cycle Impact Assessment./ M.Z.Hauschild, M.A.J. Huijbregts // Springer, Dordrecht Heidelberg New York London, 2015.
21. Sala S. Chemical footprint: a methodological framework for bridging life cycle assessment and planetary boundaries for chemical pollution. / S.Sala , M.Goralczyk // Integr. Environ. Assess. Manag. – 2013 - № 9. - P. 623–632.
22. LCA of textile industry. Access mode: [www.brs.org](http://www.brs.org) (date of appeal: 12.10.2022).
23. Hellweg, S. Emerging approaches, challenges and opportunities in life cycle assessment./ S.Hellweg, L.Milà i Canals // Science. - 2014.- № 344. – P. 1109–1113.
24. Suh S. Methods for life cycle inventory of a product. / S.Suh, G.Huppes // J. Clean. Prod. - 2005- №13. – P. 687–697.

25. Rosenbaum R.K. USEtox human exposure and toxicity factors for comparative assessment of toxic emissions in life cycle analysis: sensitivity to key chemical properties./ R.K.Rosenbaum, M. a. J.Huijbregts, A.D.Henderson, Margni, M., T.E.McKone, D.Meent, M.Z.Hauschild, S.Shaked, D.S.Li, L.S.Gold, O.Jolliet, // Int. J. Life Cycle Assess. - 2011. - №16. - P. 710–727.
26. Goedkoop M. A life cycle impact assessment method which comprises harmonised category indicators at the midpoint and the endpoint level. / M. Goedkoop, R.Heijungs, M. Huijbregts, A.De Schryver, J.Struijs, R.van Zelm // 1st ed. VROM. The Hague, The Netherlands. - ReCiPe - 2008.
27. Sandra Roos. Advancing life cycle assessment of textile products to include textile chemicals Inventory data and toxicity impact assessment. - Department of Energy and Environment, Chalmers University of technology. - Gothenburg, Sweden. – 2016
28. Askham C. Combining, reach, environmental and economic performance indicators for strategicsustainable product development. / C.Askham, A.L.Gade, O.J.Hanssen // J. Clean. Prod. - 2012.- №35. - P. 71–78.
29. Shrikant P. Athavale Hand Book of Pressure Sensitive Adhesives and Coatings: Pressure Sensitive Adhesives Technology. - Notion Press, 2018. – 488 с.
30. ГОСТ 30535 – 2017. Клеи полимерные. Номенклатура показателей. – Введ. 01.01.97. – М.: Издательство стандартов. 2017. – 16 с.
31. Мельник Л.І. Хімія і фізика полімерів: Навч. посібник – Київ: НТУУ "КПІ" 2016. – 161 с.
32. Kogg, B. Responsibility in the Supply Chain Interorganisational management of environmental and social aspects in the supply chain Case studies from the textile sector. III, Lund University, Lund - Sweden. - 2009.
33. The Fiber Year. World Survey on Textile & Nonwovens. Speicher, Switzerland. - 2014.
34. Beton A., Dias D., Farrant L., Gibon T., Le Guern Y., Desaxce M., Perwuelz A., Boufateh I., Wolf O., Kougoulis J., Cordella M., Dodd N.

Environmental Improvement Potential of textiles (IMPRO Textiles). European Union, Luxembourg: Publications Office of the European Union. - 2014.

35. Agnhage T. Eco-innovative coloration and surface modification of woven polyester fabric using bio-based materials and plasma technology. / T. Agnhage, A.Perwuelz, N.Behary // *Ind. Crops Prod.* - 2016. - №86. - P.334–341.

36. Hafrén J. Heterogeneous “organoclick”derivatization of polysaccharides. / J. Hafrén, W. Zou, A. Córdova. // *Macromol. Rapid Commun.* - 2006. - №27, P . 1362–1366.

37. IES, 2015. EPD WRSD Fabrics (spun dyed and piece dyed versions)

38. Mahltig B. Modified silica sol coatings for water-repellent textiles. / B. Mahltig, H. Böttcher // *J. Sol-Gel Sci. Technol.* - 2003. - № 27- P. 43–52.

39. Reddy N. Reducing environmental pollution of the textile industry using keratin as alternative sizing agent to poly(vinyl alcohol). / N. Reddy, L. Chen, Y. Zhang, Y. Yang // *J. Clean. Prod.* - 2014. - № 65. - P. 561–567.

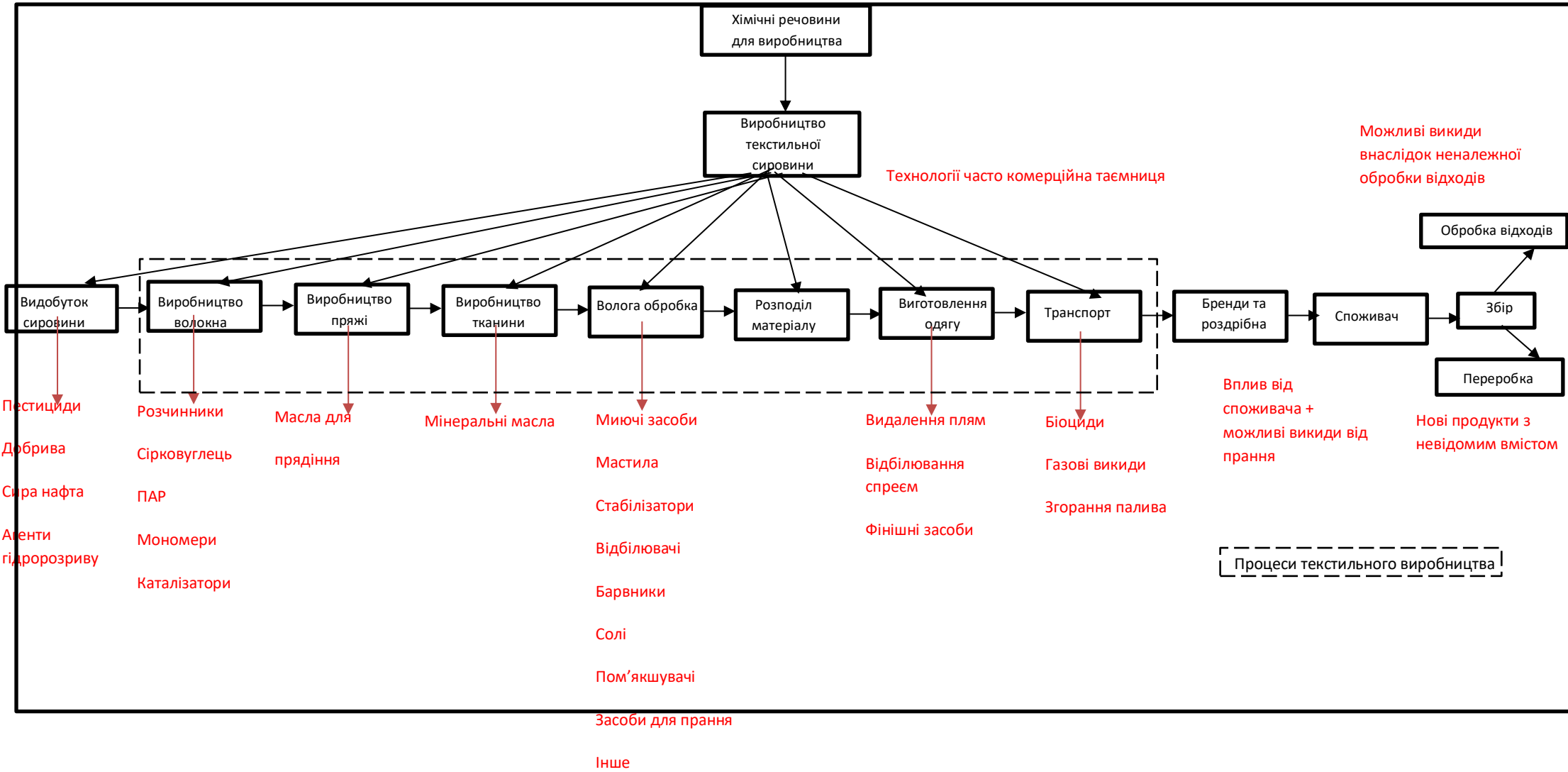
40. Terinte N. Environmental assessment of coloured fabrics and opportunities for value creation: spin-dyeing versus conventional dyeing of modal fabrics. / N.Terinte, B.M.K.Manda, J.Taylor, K.C.Schuster, M.K.Patel // *J. Clean. Prod.* . - 2014. - № 72. - P. 127–138.

41. Comparative Life Cycle Assessment among Three Polyurethane Adhesive Technologies for the Footwear Industry Vinícius Gonçalves Maciel, Geovana Bockorny, Nei Domingues, Moara Britz Scherer, Rafael Batista Zortea, and Marcus Seferin. Access mode: <https://pubs.acs.org/doi/pdf/10.1021/acssuschemeng.7b02516> (date of appeal: 22.10.2022).

42. Paiva R. M. Adhesives in the footwear industry. / R. M. Paiva; E. A. Marques; L. F.da Silva; C. A.Antonio; F.Aran-Ais // *Proc. Inst. Mech. Eng., Part L.* – 2016. № 230 (2). - P.357–374.

## ДОДАТОК А

Схема викликів, пов'язаних з хімічними речовинами, у життєвому циклі виробів легкої промисловості



## ДОДАТОК Б

## Оцінка життєвого циклу допоміжних речовин у взуттєвій промисловості

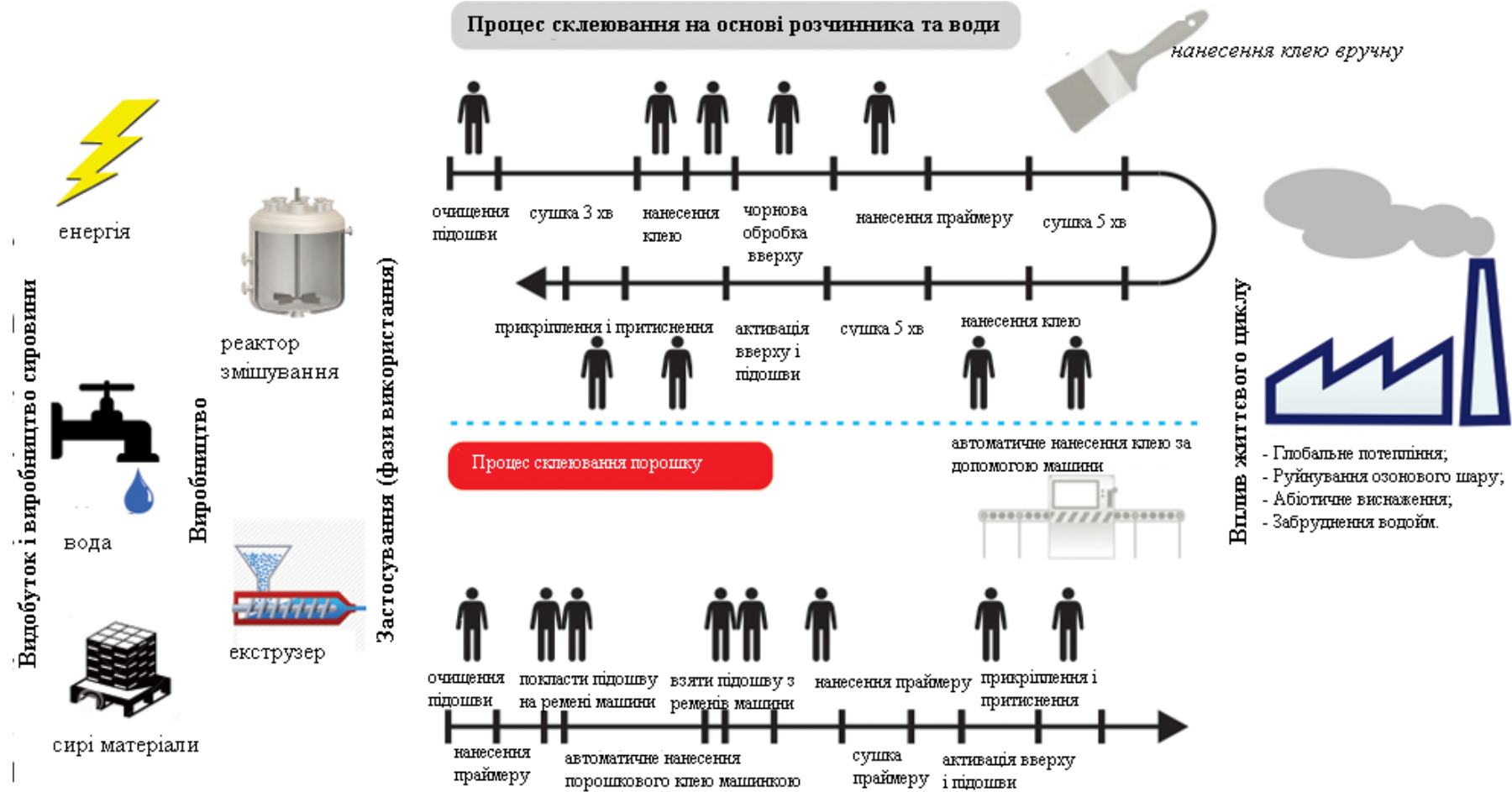


Рисунок Б 1 – Схема ОЖЦ адгезивних матеріалів у взуттєвій промисловості

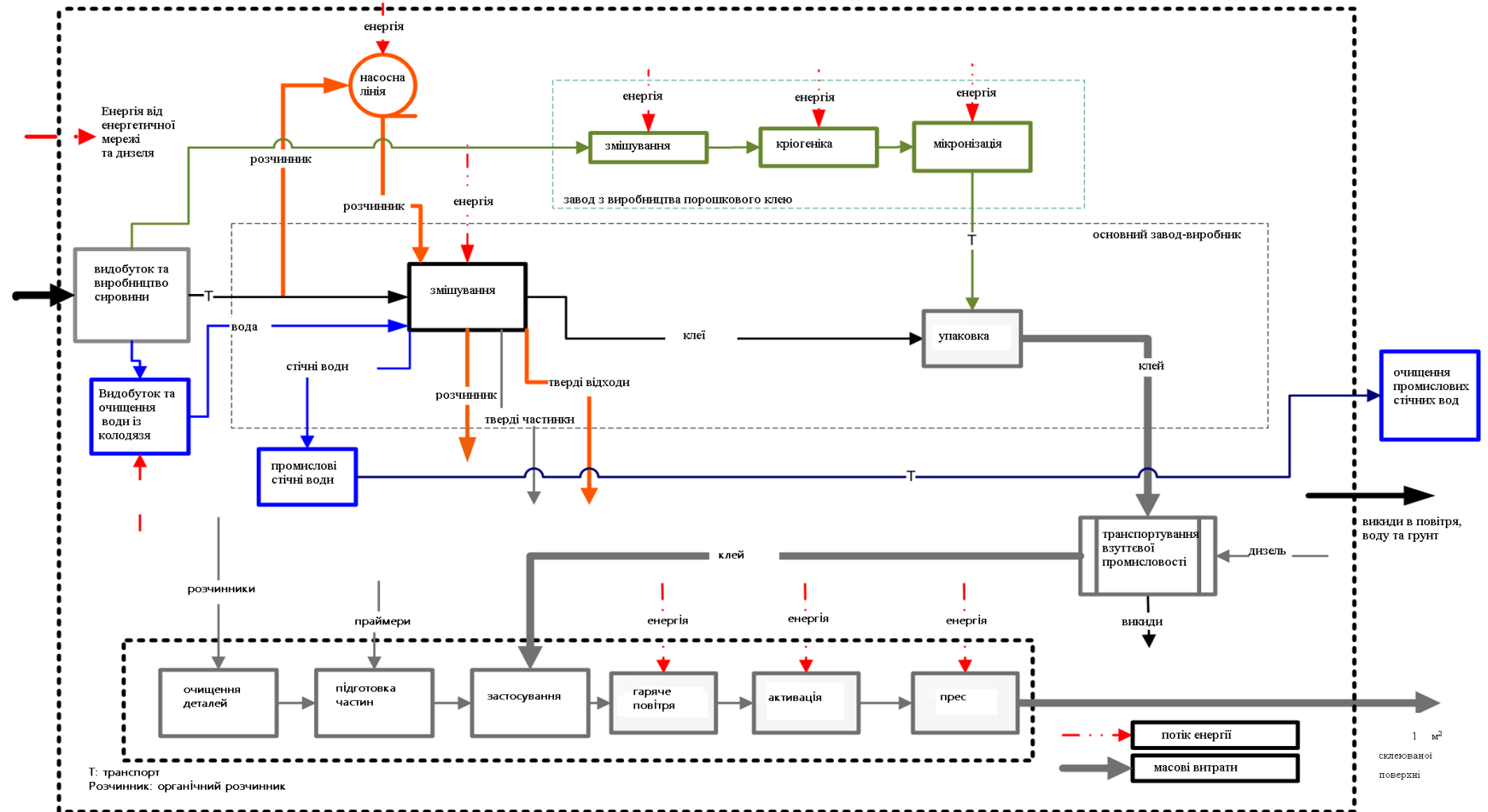


Рисунок Б 2 – Межі системи трьох технологій адгезивних матеріалів

Примітка: процес та/або потік помаранчевого кольору: система продуктів KOP; процес та/або потік синього кольору: система продуктів KOB; процес та/або потік зеленого кольору: система продуктів УРОВ; процес і/або потік у чорному кольорі процес і/або потік є спільними для систем KOP і KOB; процес і/або потік сірого кольору є спільними для всіх систем продуктів).