

ІВАНІШЕНА ТЕТЯНАХмельницький національний університет
<https://orcid.org/0000-0002-3206-9307>
e-mail: ivanishenat@khmnu.edu.ua**МАНДЗЮК ІГОР**Хмельницький національний університет
<https://orcid.org/0000-0002-1899-9778>
e-mail: mandziukih@khmnu.edu.ua**ТРУХІНА ОКСАНА**Хмельницький національний університет
oksana.ivanishena2014@gmail.com**ПЕКАРСЬКА ВАЛЕРІЯ**Хмельницький національний університет
lera20001706@gmail.com

ОЦІНКА ЖИТТЄВОГО ЦИКЛУ МАТЕРІАЛІВ ЯК ІНСТРУМЕНТ УДОСКОНАЛЕННЯ ПРОЦЕСІВ ЛЕГКОЇ ПРОМИСЛОВОСТІ ТА ВПРОВАДЖЕННЯ ПРИНЦИПІВ КРУГОВОЇ ЕКОНОМІКИ ВИРОБНИЦТВ

В роботі проаналізовано спектр матеріалів, які використовують для виготовлення виробів легкої промисловості. Для покращення екологічних характеристик матеріалів та удосконалення виробничих процесів легкої промисловості проведено оцінку життєвого циклу виробів легкої промисловості, виготовлених на основі первинної та вторинної сировини. Встановлено інвентаризаційні потоки при виготовленні матеріалів, визначено вплив процесів виробництва на екологічні класи, запропоновані основні механізми для менеджменту таких процесів.

Ключові слова: оцінка життєвого циклу, виробу легкої промисловості, переробка відходів, менеджмент відходів.

IVANISHENA TETIANA, MANDZYUK IGOR, TRUKNINA OKSANA, PEKARSKA VALERIY
Khmelnyskyi National University

ASSESSMENT OF THE LIFE CYCLE OF MATERIALS AS A TOOL FOR THE IMPROVEMENT OF LIGHT INDUSTRY PROCESSES AND THE IMPLEMENTATION OF THE PRINCIPLES OF THE CIRCULAR ECONOMY OF MANUFACTURING

The article analyzes the range of materials that are used for the manufacture of light industry products. In order to improve the environmental characteristics of materials and improve production processes of light industry, a life cycle assessment (LCA) of light industry products made on the basis of primary and secondary raw materials was carried out. Inventory flows during the production of materials were established, the impact of production processes on environmental classes was determined, and the main mechanisms for the management of such processes were proposed.

As a result of the analysis of the contributions (LCA) of light industry products based on primary and secondary raw materials, the most influential stages of the processing process were determined. The study included primary data from various processes in the life cycle, including mechanical processing, textile collection, and manual and automated sorting. Based on studies involving mechanical processing and a high percentage of recycled raw materials, the recycled yarn had the potential to reduce impacts including acidification, eutrophication and water consumption. In both cases, the impact of climate change was about a third smaller.

According to the analysis, primary fiber content, electricity production, textile collection process, textile waste management and dyeing were found to be the most affected. A small contribution was made by the processing process itself, manual and automatic sorting. In the analysis of textile collection, more efficient route planning can help reduce carbon emissions and reduce costs for companies.

Keywords: life cycle assessment, light industry products, waste processing, waste management.

Постановка проблеми

Питання, пов'язані зі збереженням довкілля, 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 (рис. 1), використання енергії та вплив на навколишнє середовище кожного етапу виробництва.

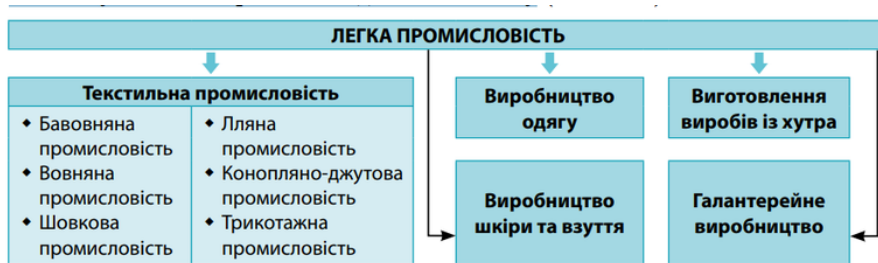
Промисловість має переглянути шляхи використання екологічних матеріалів і технологій, а також покращення стану переробки в цій галузі [1]. Комплексний підхід ОЖЦ зменшує ризик того, що нові рішення як для технологій виробництва текстилю, так і в цілому для легкої промисловості, які спрямовані на зменшення забруднення, просто перенесуть вплив на навколишнє середовище з однієї фази життєвого циклу на іншу або з одного типу впливу на навколишнє середовище на інший.



Рис. 1. Схема оцінки життєвого циклу виробу

Аналіз останніх джерел

Легка промисловість включає виробництво текстилю, одягу, шкіри та взуття, виготовлення виробів із хутра та галантерейне виробництво (рис. 2) і тому матиме декілька видів кінцевих продуктів, які відносяться до виробів легкої промисловості.



Склад легкої промисловості

Рис. 2. Основні складові галузі легкої промисловості

Кінцевою продукцією текстильного виробництва є тканини. Швейна промисловість з тканин виробляє готовий одяг, 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. Галантерейне виробництво виготовляє сотні дрібних побутових товарів повсякденного попиту [2]. Широкий асортимент виробів легкої промисловості пов'язаний і з різноманіттям сировини (матеріалів), які використовуються для їх виготовлення.

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

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 (рис. 3).



Сировина для легкої промисловості

Рис. 3. 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. 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.

До натуральної сировини зазвичай додають якусь частку хімічної та отримують штучні та синтетичні волокна. Синтетичне волокно є продукцією хімічної промисловості, його одержують в результаті переробки природного газу, нафти. 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.

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.

Вторинні матеріальні ресурси можуть використовуватися як сировина або як доповнення до неї в господарстві. Як і первинні вони являють собою природні, хімічні і змішані речовини (суміш природних та хімічних в різних включеннях і пропорціях).

На теперішній час найбільш перспективним і економічно ефективним для легкої промисловості є використання отриманих вторинних матеріальних ресурсів у вигляді волокнистих відходів та подальше використання їх, наприклад, 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.

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, сортуванні, пресуванні, упакуванні і маркуванні. Для багатьох видів вторинної текстильної сировини така попередня обробка буде недостатньою і доповнюватиметься процесами прання та насичення. Для нових випадів, 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 промисловості [3]. Зазвичай первинна переробка являє собою механічний рециклінг.

Типовий процес механічного рециклінгу виглядає наступним чином [4]: 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», «втягування» 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 за потреби - змішування з первинними волокнами [5].

Метою роботи є дослідження та порівняльна оцінка життєвого циклу виробів легкої промисловості, а саме, тканин на основі первинної та вторинної сировини для покращення екологічних характеристик матеріалів та удосконалення виробничих процесів легкої промисловості.

Виклад основного матеріалу

Дослідження життєвого циклу тканин на основі різної сировини обрано з метою обґрунтування потенційних переваг механічної переробки текстильних відходів для навколишнього середовища та удосконалення процесів легкої промисловості.

Текстильне виробництво, включає в себе безліч виробничих процесів, кожен з яких виконується різними учасниками [6]. 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.

Оскільки акцентом, який обумовлює негативний вплив виробів легкої промисловості в рамках ОЖЦ є саме хімічні речовини та матеріали, які там використовуються. Це можуть бути чисті речовини або, частіше, сумішами речовин. Найбільша кількість таких речовин використовується у текстильному виробництві. Такі текстильні хімікати також включають продукти перетворення, які являють собою речовини, що утворюються в результаті основних або побічних хімічних реакцій за участю текстильних

хімікатів, або їх продукти розкладання 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.

В межах цього дослідження текстильні хімічні речовини визначаються як хімічні речовини в життєвому циклі текстилю, які безпосередньо застосовуються до текстилю в будь-якій частині його виробничого процесу.

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, води та зменшення забруднення в текстильній промисловості. Новітні технології описані і в останньому дослідженні Європейської комісії щодо покращення навколишнього середовища продукції для текстилю [7], а також у роботах інших вчених [8–13]. До таких технологій відносять нанотехнології нетканних матеріалів, вихрове і струменеве прядіння пряжі, фрикційне прядіння пряжі, багатозафазне ткацтво на верстаті, ферментативна, ультразвукова і електронно-променева обробки, використання озонування при відбілюванні, надкритичного CO₂ при фарбуванні, струменевий друк, плазмова технологія, технологія піни для обробки текстилю, водовідштовхувальні покриття на основі кремнію та вуглеводнів та ін.

ОЖЦ 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 ОЖЦ.

Модель USEtox була обрана для розрахунку впливу токсичності. Дослідження проводилися у відповідності до класичної схеми дослідження ОЖЦ [14].

Для цього було обрано два об'єкти дослідження: вироби на основі первинної та вторинної сировини, отримані механічною переробкою поліестерних відходів. В якості функціональної одиниці було обрано 1 км переробленої пряжі 25 м/г (400 дтекс).

Дані про збір і сортування використаного текстилю та відходів були зібрані за допомогою серії інтерв'ю з переробними виробництвами та підприємствами легкої промисловості. Це включало дані про походження текстилю, енергію, спожиту транспортуванням, і загальну кількість текстилю, зібраного та відсортованого за рік (таблиці 1).

Таблиця 1

Потоки енергії та матеріалів в рамках продукту - текстиль

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

В Україні система збору використаного 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. Це відповідає близько 75 % спожитого текстилю, тоді як 25 % купується у компанії, включаючи невелику частину збору від «дверей до дверей». У сортувальних цехах не текстильні вироби з спожитого текстилю вилучають і відправляють на спалювання. Решту текстилю відправляють на сортувальні потужності, де кваліфікований персонал сортує за допомогою обладнання і близько 21 % таких відходів підлягає механічній переробці в подальшому (таблиця 2).

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

У наведеній блок-схемі (рисунок 4) описано процес механічної переробки, яка відображається у трьох етапах. Частина одягу, які не підлягають переробці, такі як блискавки та гудзики, видаляються, потім очищений матеріал розрізають і розтягують на волокна. Після цього перероблені волокна можна змішувати з первинними волокнами. Повністю гомогенізовані волокна прочесують і переробляють в пряжу.

Матеріальні та енергетичні потоки механічної переробки

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

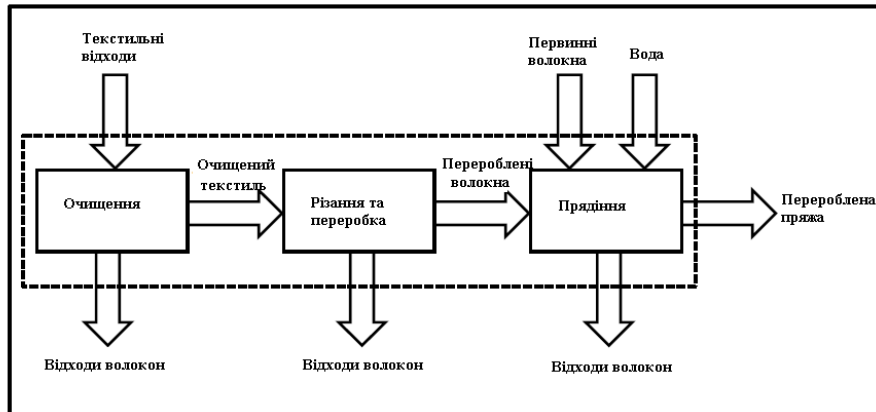


Рис. 4. Блок-схема процесу механічної переробки

Для порівняння при ОЖЦ виробів легкої промисловості у якості базового було обрано виробництво пряжі з первинної сировини (рисунок 5).

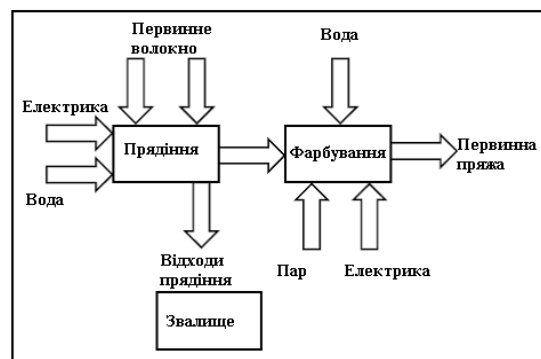


Рис. 5. Блок-схема процесу виробництва первинної пряжі

Виробництво первинної пряжі в усіх прикладах було змодельовано за тим самим підходом 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.

На блок-схемі (рис. 6) пояснюється процес виробництва переробленого поліетилентерефталату (ПЕТФ) із використаних пляшок.

Енергетичні та матеріальні дані для процесів механічної переробки та прядіння були зібрані у виробництв з механічної переробки шляхом серії інтерв'ю. Відходи не спалюються, і через відсутність іншої інформації ввелось припущення, що переробка передбачає захоронення без відновлення енергії. Для роботи були використані дані з бази даних GaVi для полігону

У випадку виробів на основі вторинної сировини (механічна переробка), то передбачається, що буде здійснюватися переробка 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 пряжі складається з 70 % споживчої

пряжі (87,5 % бавовни, 10,2 % поліестеру та 2,2 % інших) і 30 % переробленої. Нарешті, пряжа транспортується для виробництва різних видів виробів легкої промисловості.

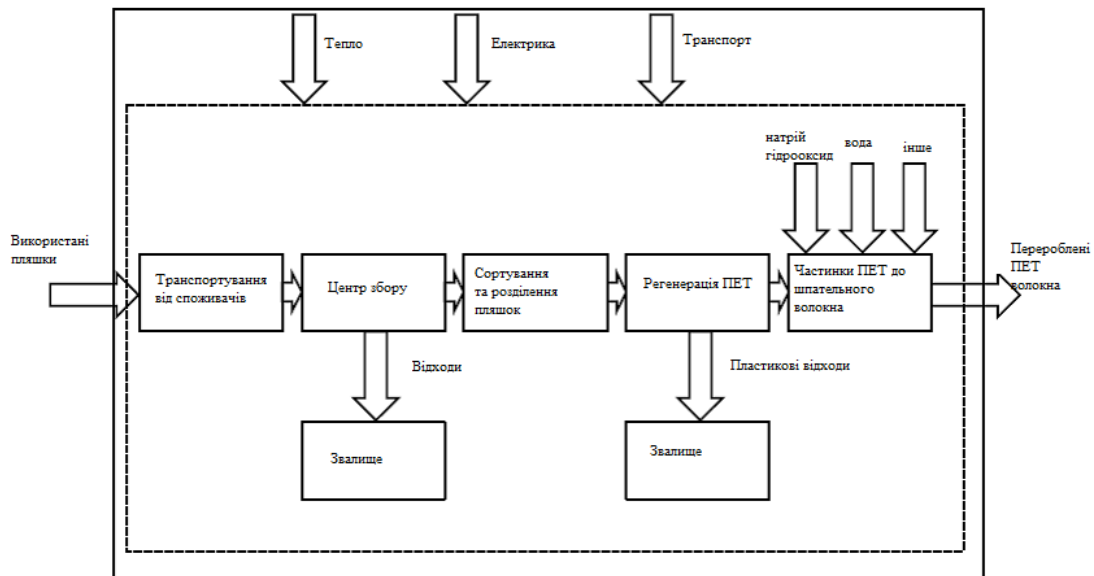


Рис. 6. Блок-схема процесу механічної переробки ПЕТФ пляшок

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

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

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

Блок-схема оцінки життєвого циклу для виробу легкої промисловості (ВЛП) наведено на рисунку 7.

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.

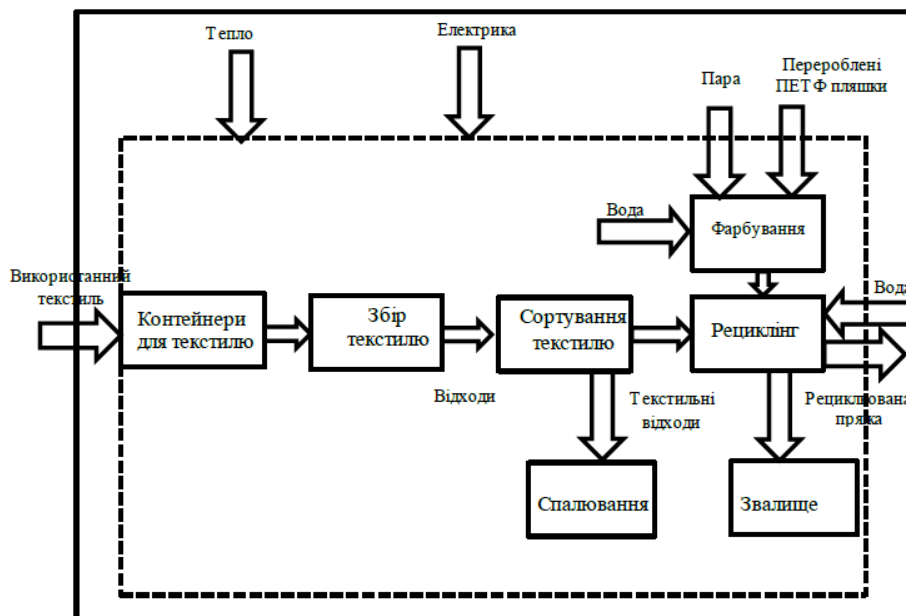


Рис. 7. Блок-схема процесу виробництва переробленої пряжі для ВЛП.

Результати порівняльного аналізу життєвого циклу для механічної переробки вживаного текстилю у новий одяг у порівнянні з тим самим процесом із первинних матеріалів показано на рис. 8.

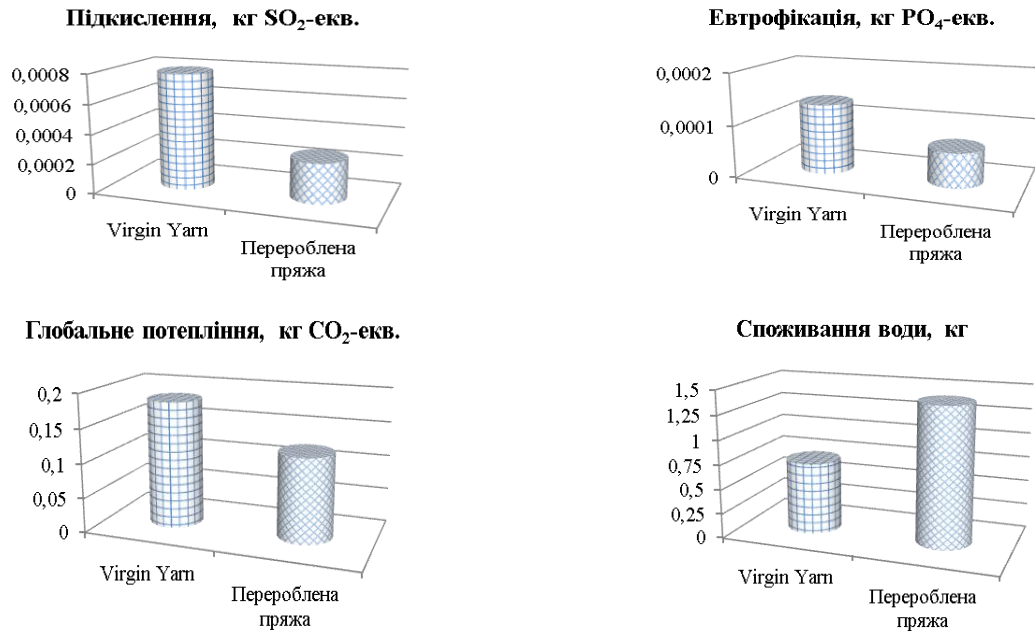


Рис. 8. Вплив на навколишнє середовище для змішаного випадку

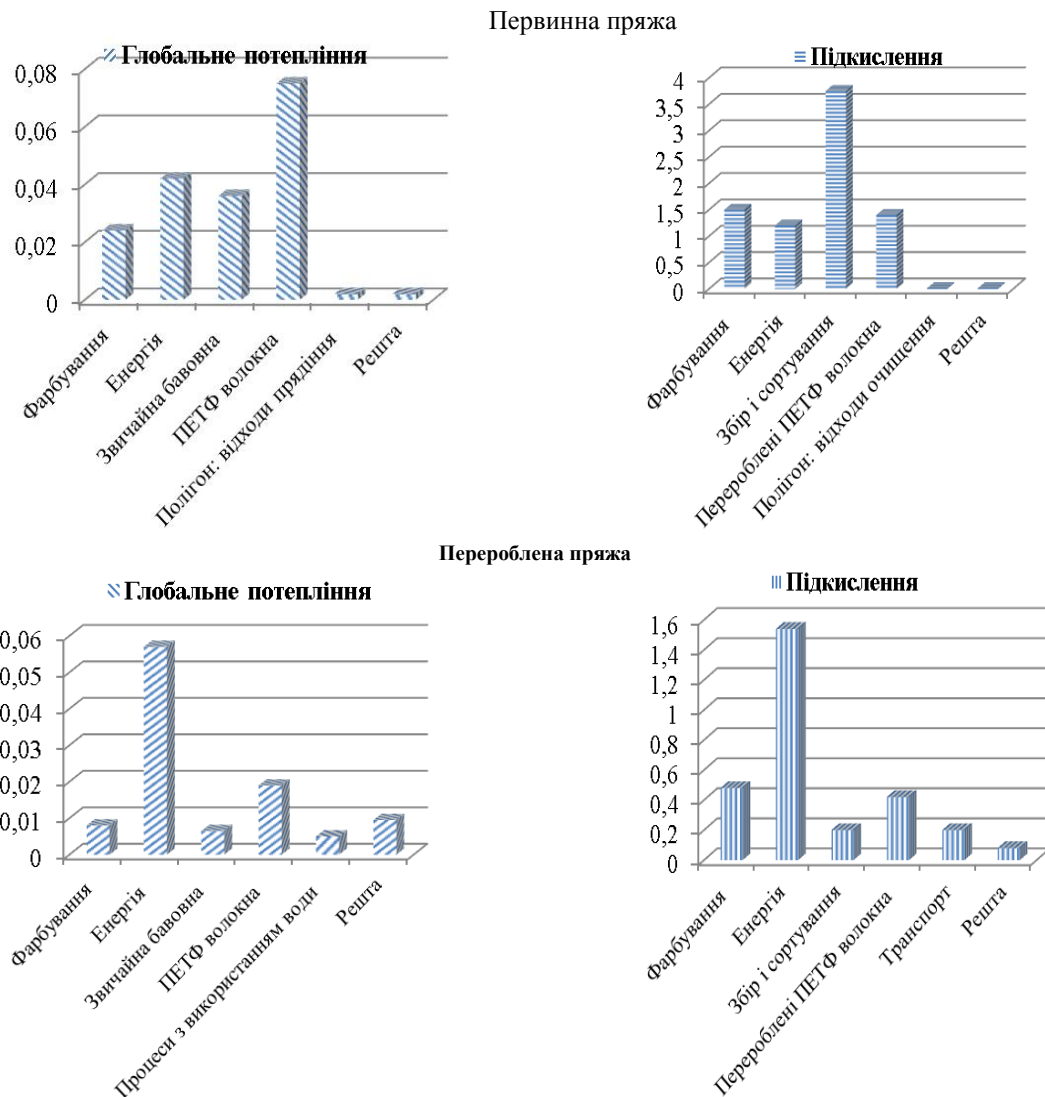


Рис. 9. Фактори, що сприяють підкисленню (кг SO₂-екв.) і глобальному потеплінню (кг CO₂-екв.)

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 рисунка 9, 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.

Виробництво звичайної бавовни є найбільшим фактором, що сприяє підкисленню (48 %) (рис. 9), 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 %). 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. 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.

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 (рисунок 10) 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.

Процеси отримання бавовни значно впливають на споживання води. Заміна сировини у відповідних випадках призведе до очікуваного скорочення споживання води до 98 %, завдяки водоемності вирощування культури. На 1 кг бавовняного волокна використовується близько 2610 м³ води. В той же час процеси отримання ПЕТФ волокон найбільше впливають на зміну клімату, що також очікувано, оскільки він виробляється з вичерпного палива. Вони домінують у викидах при виробництві первинної сировини, так і у змішаному випадку з вмістом первинного ПЕТФ 41 % і 38 %.

Впровадження переробленої бавовни призводить до зменшення кислотності та споживання води. Збільшення відсотка переробленого ПЕТФ зменшило вплив на зміну клімату у змішаному випадку до 33 %.

Виробництво електроенергії за впливом на довкілля йде за виробництвом первинного волокна та в більшості випадків домінує над впливом на навколишнє середовище. З аналізу внеску, у первинній сировині внесок використання електроенергії складає 15 % у змішаному випадку. У переробленій сировині впливи переважали для тих самих випадків у межах від 43 % до 62 %. По глобальному потеплінню вплив первинної пряжі коливався від 11 % до 37 %, а для переробленої пряжі вони домінували в усіх категоріях від 42% до 53%.

При аналізі підготовчих операцій, встановлено, що 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.

Технології механічної переробки утворюють досить багато текстильних відходів, оскільки в таких процесах неможливо використати частини одягу з не текстильних матеріалів, 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.

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 для пряжі первинного виробництва, уникнення чи зменшення якого разом з іншими факторами призвело до зниження на понад 60 % цієї категорії впливу.

Висновки

У результаті аналізу внесків при ОЖЦ виробів легкої промисловості на основі первинної та вторинної сировини 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.

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. В розрізі аналізу збору текстилю, більш ефективно планування маршруту може допомогти зменшити викиди вуглекислого газу, а також знизити витрати для компаній.

References

1. Life cycle analysis of textiles. <https://textilevaluechain.in/in-depth-analysis/articles/textile-articles/%C2%AClife-cycle-analysis-of-textiles>
2. Peculiarities of the production process and factors of location of enterprises for the production of fabrics, clothing, footwear. URL: <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/>
3. Sayfullayev S., Solikhugli K., Sherkul Sh. The Effectiveness of the Use of Secondary Material Resources of the Textile and Light Industry. Texas Journal of Multidisciplinary Studies. A Bi-Monthly, Peer Reviewed International Journal. 2022. № 9. P. 108-113.
4. Langley K.D., Kim Y.K. Manufacturing nonwovens and other products in recycled fibres containing spandex. Recycling in Textiles. 2006. P. 137-164.
5. Zamani B., Svanstrom M., Peters G., Rydberg T. A Carbon Footprint of Textile Recycling A Case Study in Sweden. Journal of Industrial Ecology. 2015. № 19. P. 676–687.
6. 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.
7. 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.
8. Agnhage T., Perwuelz A., Behary N. Eco-innovative coloration and surface modification of woven polyester fabric using bio-based materials and plasma technology. Ind. Crops Prod. 2016. № 86. P. 334–341.
9. Hafrén J., Zou W., Córdova A. Heterogeneous “organoclick”derivatization of polysaccharides. Macromol. Rapid Commun. 2006. № 27, P. 1362–1366.
10. IES, 2015. EPD WRSD Fabrics (spun dyed and piece dyed versions)
11. Mahltig B., Böttcher H. Modified silica sol coatings for water-repellent textiles. J. Sol-Gel Sci. Technol. 2003. № 27. P. 43–52.
12. Reddy N., Chen L., Zhang Y., Yang Y. Reducing environmental pollution of the textile industry using keratin as alternative sizing agent to poly(vinyl alcohol). J. Clean. Prod. 2014. № 65. P. 561–567.
13. Terinte N., Manda B.M.K., Taylor J., Schuster K.C., Patel M.K. Environmental assessment of coloured fabrics and opportunities for value creation: spin-dyeing versus conventional dyeing of modal fabrics. J. Clean. Prod. 2014. № 72. P. 127–138.
14. Sala S., Goralczyk M. Chemical footprint: a methodological framework for bridging life cycle assessment and planetary boundaries for chemical pollution. Integr. Environ. Assess. Manag. 2013. № 9. P. 623–632.