

СХІДНОУКРАЇНСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
ІМЕНІ ВОЛОДИМИРА ДАЛЯ

Факультет інженерії
Кафедра дизайну та індустрії моди

ПОЯСНЮВАЛЬНА ЗАПИСКА

до кваліфікаційної роботи
освітнього рівня магістр

спеціальності 182 «Технології легкої промисловості»
(шифр і назва спеціальності)

на тему ДОСЛІДЖЕННЯ ЕКОЛОГІЧНИХ ПРОБЛЕМ ВИРОБНИЦТВА ТА
ЕКСПЛУАТАЦІЇ СПОРТИВНИХ ШКАРПЕТОК ДЛЯ
ЗАНЯТЬ В ЕКСТРЕМАЛЬНИХ УМОВАХ

RESEARCH OF ENVIRONMENTAL PROBLEMS OF
PRODUCTION AND USE OF SPORTS SOCKS FOR
EXTREME CONDITIONS

Виконав: здобувач вищої освіти групи ТЛП-23дм

Ушакова О. П.

(прізвище, ініціали)


(підпис)

Керівник к.т.н. Ріпка Г.А.

(науковий ступінь, прізвище, ініціали)


(підпис)

Завідувачка кафедри к.т.н. Ріпка Г.А.

(науковий ступінь, прізвище, та ініціали)


(підпис)

Рецензент к.т.н. Кудрявцев С.О.

(науковий ступінь, прізвище, ініціали)


(підпис)

Київ, 2026

СХІДНОУКРАЇНСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
ІМЕНІ ВОЛОДИМИРА ДАЛЯ

Факультет інженерії

Кафедра дизайну та індустрії моди

Освітній рівень магістр

Спеціальність 182 Технології легкої промисловості
(шифр і назва)

освітня програма Технології легкої промисловості

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри

 **Галина РІПКА**

«13» травня 2026 року

ЗАВДАННЯ

НА ДИПЛОМНУРОБОТУ ЗДОБУВАЧУ ВИЩОЇ ОСВІТИ

Ушаковій Ользі Павлівні

(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема проєкту (роботи)

ДОСЛІДЖЕННЯ ЕКОЛОГІЧНИХ ПРОБЛЕМ ВИРОБНИЦТВА ТА ЕКСПЛУАТАЦІЇ
СПОРТИВНИХ ШКАРПЕТОК ДЛЯ ЗАНЯТЬ В ЕКСТРЕМАЛЬНИХ УМОВАХ

спеціальне завдання:

Дослідження та обґрунтування застосування екологічної й вторинної
сировини з метою зменшення екологічного впливу виробництва та експлуатації
спортивних шкарпеток для екстремальних умов.

керівник роботи Ріпка Галина Анатоліївна, к.т.н., доцент

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

2. Вихідні дані до проєкту (роботи):

Функціональні та конструктивні особливості спортивних шкарпеток для
екстремальних умов; види волокон і пряжі (натуральні, синтетичні, змішані,
біобазовані та вторинні); технології виробництва панчішно-шкарпеткових виробів;
екологічні стандарти та сертифікаційні системи; сучасні світові практики сталого
виробництва.

3. Зміст розрахунково-пояснювальної записки (перелік питань, які
потрібно розробити):

1. Сучасний стан виробництва спортивних шкарпеток для занять в екстремальних умовах, визначити основні сфери застосування, конструктивні та функціональні особливості виробів.
2. Матеріальний склад спортивних шкарпеток, охарактеризувати властивості натуральних, синтетичних і змішаних волокон та оцінити їх вплив на експлуатаційні показники і довкілля.
3. Екологічні проблеми виробництва та експлуатації спортивних шкарпеток, зокрема вплив технологічних процесів, енергоспоживання, водокористування, хімічних речовин, прання, зносу та утворення мікропластику.
4. Дослідити проблеми утилізації спортивних шкарпеток та тривалого розкладання матеріалів, що використовуються у їх виробництві.
5. Обґрунтувати шляхи зменшення екологічного впливу виробництва та експлуатації спортивних шкарпеток, зокрема шляхом застосування екологічної, біобазованої та вторинної сировини, удосконалення технологічних процесів і впровадження сталих практик світового досвіду в умовах локального виробництва в Україні.

4. Перелік графічного матеріалу (з точним зазначенням обов'язкових креслеників):

Класифікація спортивних шкарпеток для екстремальних умов;

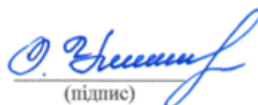
структура та функціональні зони виробу; класифікація волокон і матеріалів;

схема технологічного процесу виробництва; модель життєвого циклу спортивних шкарпеток.

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів дипломного проектування	Строк виконання етапів	Примітка
1	Вибір та затвердження теми магістерської роботи		
2	Аналіз наукової літератури відповідно до обраної теми		
3	Написання та затвердження плану магістерської роботи		
4	Вступ		
5	Розділ 1		
6	Розділ 2		
7	Розділ 3		
8	Формулювання та оформлення загальних висновків		
9	Анотація до роботи		
10	Подача оформленої роботи на перевірку		

Здобувач ВО


(підпис)

Ушакова О.П.
(прізвище та ініціали)

Керівник роботи
(підпис)



Ріпка Г.А.
(прізвище та ініціали)

ЗМІСТ

АНОТАЦІЯ.....	6
ANNOTATION.....	7
ВСТУП.....	8
РОЗДІЛ 1. АНАЛІЗ СПОРТИВНИХ ШКАРПЕТОК ДЛЯ ЗАНЯТЬ В ЕКСТРЕМАЛЬНИХ УМОВАХ.....	11
1.1. Сфера застосування спортивних шкарпеток в екстремальних умовах(гірський туризм, трекінг, військові умови, ультрамарафони, зимові види спорту).....	11
1.2. Конструктивні та функціональні особливості спортивних шкарпеток для екстремальних навантажень.....	15
1.3. Матеріальний склад спортивних шкарпеток та його вплив на експлуатаційні властивості.....	18
1.4. Аналіз екологічного впливу використовуваних волокон і матеріалів	21
1.5. Світові бренди спортивних шкарпеток та сучасні технологічні тенденції.....	24
ВИСНОВКИ ДО РОЗДІЛУ 1.....	28
РОЗДІЛ 2. ЕКОЛОГІЧНІ ПРОБЛЕМИ ВИРОБНИЦТВА ТА ЕКСПЛУАТАЦІЇ СПОРТИВНИХ ШКАРПЕТОК	30
2.1. Технологія виробництва спортивних шкарпеток та її екологічні аспекти.....	30
2.2. Вплив виробничих процесів на довкілля (енергоспоживання, водокористування, хімічні речовини).....	32
2.3. Проблема утворення мікропластику при виробництві та експлуатації шкарпеток.....	35
2.4. Екологічні аспекти експлуатації спортивних шкарпеток (прання, знос, довговічність).....	39
2.5. Утилізація спортивних шкарпеток та проблема тривалого розкладання матеріалів.....	41
ВИСНОВКИ ДО РОЗДІЛУ 2.....	45
РОЗДІЛ 3. ШЛЯХИ ЗМЕНШЕННЯ ЕКОЛОГІЧНОГО ВПЛИВУ ТА ПЕРСПЕКТИВИ СТАЛОГО ВИРОБНИЦТВА СПОРТИВНИХ ШКАРПЕТОК.....	47

3.1. Використання екологічної та біобазованої сировини у виробництві спортивних шкарпеток.....	47
3.2. Доцільність застосування вторинної сировини та перероблених волокон.....	50
3.3. Удосконалення технологічних процесів з метою зменшення екологічного сліду виробництва.....	52
3.4. Досвід сталого виробництва спортивних шкарпеток у світових брендів.....	55
3.5. Перспективи впровадження сталих рішень у локальне виробництво спортивних шкарпеток в Україні.....	58
ВИСНОВКИ ДО РОЗДІЛУ 3.....	62
ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ.....	64
СПИСОК ЛІТЕРАТУРНИХ ДЖЕРЕЛ.....	66

АНОТАЦІЯ

Магістерська робота присвячена дослідженню екологічних проблем, пов'язаних з виробництвом та експлуатацією спортивних шкарпеток, призначених для використання в екстремальних умовах (гірський туризм, трекінг, військові умови, ультрамарафони, зимові види спорту тощо).

Актуальність теми зумовлена зростанням попиту на високофункціональні спортивні вироби, які поєднують підвищені експлуатаційні властивості з вимогами сталого розвитку та зменшення негативного впливу на довкілля. Виробництво спортивних шкарпеток характеризується значним споживанням енергії, водних ресурсів і застосуванням синтетичних матеріалів, що ускладнює процеси утилізації та сприяє утворенню мікропластику під час експлуатації.

У роботі проаналізовано асортимент спортивних шкарпеток для екстремальних умов, їх конструктивні та функціональні особливості, а також матеріальний склад виробів. Досліджено властивості натуральних, синтетичних і змішаних волокон та оцінено їх вплив на експлуатаційні характеристики і навколишнє середовище. Розглянуто основні технологічні етапи виробництва спортивних шкарпеток і визначено ключові джерела екологічного навантаження, пов'язані з енергоспоживанням, водокористуванням і використанням хімічних речовин.

Окрему увагу приділено екологічним аспектам експлуатації виробів, зокрема проблемі утворення та поширення мікропластику під час носіння і прання, а також питанню утилізації та тривалого розкладання матеріалів. На основі аналізу світового досвіду сталого виробництва обґрунтовано можливості застосування біобазованої та вторинної сировини, удосконалення технологічних процесів і адаптації передових екологічно орієнтованих рішень до умов локального виробництва в Україні.

Отримані результати мають практичне значення для підприємств панчішно-шкарпеткової промисловості та можуть бути використані при розробці і вдосконаленні асортименту спортивних шкарпеток для екстремальних умов з урахуванням принципів сталого розвитку.

Ключові слова: спортивні шкарпетки, екстремальні умови, екологічний вплив, сталий розвиток, біобазовані волокна, вторинна сировина.

ANNOTATION

The master's thesis is devoted to the study of environmental problems associated with the production and use of sports socks designed for operation under extreme conditions, including mountain tourism, trekking, military use, ultramarathons, and winter sports.

The relevance of the topic is determined by the growing demand for high-performance sports products that combine advanced functional properties with the principles of sustainable development and reduced environmental impact. The production of sports socks involves significant consumption of energy and water resources, as well as the use of synthetic materials, which complicates waste management and contributes to microplastic release during product use.

The thesis analyzes the range of sports socks for extreme conditions, their structural and functional features, and material composition. The properties of natural, synthetic, and blended fibers are studied, and their influence on performance characteristics and the environment is assessed. The main technological stages of sports socks manufacturing are examined, and key sources of environmental impact related to energy consumption, water use, and chemical treatments are identified.

Special attention is paid to the environmental aspects of product use, including the formation and spread of microplastics during wearing and washing, as well as the issues of disposal and long-term degradation of materials. Based on the analysis of global sustainable manufacturing practices, the feasibility of using bio-based and recycled materials, improving technological processes, and adapting advanced eco-oriented solutions to local production conditions in Ukraine is substantiated.

The results of the study have practical significance for hosiery manufacturing enterprises and can be used in the development and improvement of sports socks for extreme conditions in accordance with sustainable development principles.

Keywords: sports socks, extreme conditions, environmental impact, sustainability, bio-based fibers, recycled materials.

ВСТУП

Актуальність теми. У сучасних умовах розвитку легкої промисловості питання екологічної безпеки текстильних виробів набуває особливої актуальності у зв'язку зі зростанням обсягів виробництва, інтенсифікацією споживання та посиленням вимог до функціональних характеристик продукції. Значну увагу в цьому контексті привертають спортивні шкарпетки для занять в екстремальних умовах, які використовуються під час гірського туризму, трекінгу, військової служби, ультрамарафонів, зимових видів спорту та інших видів діяльності з підвищеним фізичним навантаженням.

Особливості експлуатації таких виробів зумовлюють необхідність застосування спеціальних конструктивних рішень і високоінженерних матеріалів, що забезпечують зносостійкість, терморегуляцію, вологовідвідні властивості та комфорт. Водночас використання переважно синтетичних і змішаних волокон, енерго- та водоемні технологічні процеси, застосування хімічних речовин, а також утворення мікропластику під час експлуатації створюють суттєвий негативний вплив на довкілля.

У межах глобального переходу текстильної галузі до принципів сталого розвитку та циркулярної економіки особливого значення набуває пошук екологічно безпечних матеріалів, зокрема біобазованої та вторинної сировини, а також удосконалення технологій виробництва з метою зменшення екологічного сліду продукції. Для України ці питання є особливо актуальними з огляду на необхідність модернізації виробництв, адаптації до європейських екологічних стандартів і підвищення конкурентоспроможності вітчизняної панчішно-шкарпеткової продукції. У зв'язку з цим дослідження екологічних проблем виробництва та експлуатації спортивних шкарпеток для занять в екстремальних умовах є своєчасним і практично значущим.

Метою кваліфікаційної роботи є дослідження екологічних проблем виробництва та експлуатації спортивних шкарпеток для занять в екстремальних умовах і обґрунтування шляхів зменшення їх негативного впливу на довкілля шляхом

застосування екологічної й вторинної сировини та удосконалення технологічних процесів.

Об'єктом дослідження є спортивні шкарпетки для занять в екстремальних умовах як виробу панчішно-шкарпеткової промисловості.

Предметом дослідження є екологічні аспекти виробництва та експлуатації спортивних шкарпеток, зокрема матеріальний склад, технологічні процеси виготовлення, експлуатаційні характеристики, утворення мікропластику та проблеми утилізації.

Для досягнення поставленої мети у роботі визначено такі **завдання**:

- проаналізувати сучасний стан виробництва спортивних шкарпеток для занять в екстремальних умовах, їх сфери застосування, конструктивні та функціональні особливості;
- дослідити матеріальний склад спортивних шкарпеток, охарактеризувати властивості натуральних, синтетичних і змішаних волокон та оцінити їх вплив на експлуатаційні показники й довкілля;
- проаналізувати екологічні проблеми виробництва та експлуатації спортивних шкарпеток, пов'язані з технологічними процесами, енергоспоживанням, водокористуванням, застосуванням хімічних речовин і утворенням мікропластику;
- дослідити проблему утилізації спортивних шкарпеток та тривалого розкладання матеріалів;
- обґрунтувати шляхи зменшення екологічного впливу виробництва та експлуатації спортивних шкарпеток з урахуванням світового досвіду сталого виробництва та можливостей його адаптації до умов локального виробництва в Україні.

Практичне значення роботи полягає в можливості використання отриманих результатів і сформульованих рекомендацій у діяльності підприємств панчішно-шкарпеткової промисловості з метою зменшення екологічного навантаження, оптимізації вибору матеріалів і впровадження сталих технологічних рішень у виробництві спортивних шкарпеток для екстремальних умов.

Структура кваліфікаційної роботи складається зі вступу, трьох розділів, загальних висновків, списку використаних джерел.

У **першому розділі** проведено аналіз спортивних шкарпеток для занять в екстремальних умовах, розглянуто сфери їх застосування, конструктивні та функціональні особливості, матеріальний склад і сучасні світові технологічні тенденції.

У **другому розділі** досліджено екологічні проблеми виробництва та експлуатації спортивних шкарпеток, проаналізовано вплив технологічних процесів, використання ресурсів, утворення мікропластику, а також проблеми утилізації виробів.

У **третьому розділі** обґрунтовано шляхи зменшення екологічного впливу виробництва та експлуатації спортивних шкарпеток, запропоновано застосування екологічної й вторинної сировини, удосконалення технологій та можливості впровадження сталих рішень у локальному виробництві в Україні.

РОЗДІЛ 1. АНАЛІЗ СПОРТИВНИХ ШКАРПЕТОК ДЛЯ ЗАНЯТЬ В ЕКСТРЕМАЛЬНИХ УМОВАХ

1.1. Сфера застосування спортивних шкарпеток в екстремальних умовах(гірський туризм, трекінг, військові умови, ультрамарафони, зимові види спорту)

Спортивні шкарпетки для занять в екстремальних умовах є невід’ємним елементом функціонального спортивного одягу, що безпосередньо впливає на комфорт, працездатність і безпеку людини під час тривалих фізичних навантажень у складних кліматичних та експлуатаційних умовах. На відміну від повсякденних виробів, такі шкарпетки розробляються з урахуванням підвищених вимог до зносостійкості, терморегуляції, управління вологістю, амортизації та стабільної фіксації на стопі.

Сфера застосування спортивних шкарпеток в екстремальних умовах охоплює широкий спектр видів діяльності, що характеризуються різними типами навантажень, кліматичних чинників і режимів експлуатації. До основних напрямів використання належать гірський туризм, трекінг, військові умови, ультрамарафонські забіги та зимові види спорту.

У гірському туризмі та трекінгу спортивні шкарпетки експлуатуються в умовах тривалого пересування пересіченою місцевістю, значних перепадів температур і підвищеної вологості. У таких умовах вироби зазнають інтенсивного механічного навантаження, особливо в ділянках п’яти та носка, а також постійного тертя у взаємодії з жорстким туристичним взуттям. Відповідно, шкарпетки повинні забезпечувати ефективне відведення вологи, амортизацію та підтримання стабільного мікроклімату стопи, що наочно демонструють приклади використання таких виробів у гірських умовах (рис. 1.1).

Військові умови експлуатації спортивних шкарпеток відзначаються тривалим безперервним носінням, обмеженими можливостями для заміни та прання, а також впливом бруду, вологи й механічних чинників.



Рис. 1.1. Спортивні шкарпетки

У таких умовах ключового значення набувають зносостійкість, антибактеріальні властивості матеріалів, здатність до швидкого висихання та збереження функціональних характеристик протягом усього терміну експлуатації. Особливості використання шкарпеток у військовому спорядженні та їх функціональне зонування представлені на рис. 1.1.2.



Рис. 1.2. Спеціалізовані моделі

Під час ультрамарафонських забігів спортивні шкарпетки зазнають надтривалих циклічних навантажень у поєднанні з інтенсивним потовиділенням. Навіть незначні конструктивні або матеріальні недоліки можуть призводити до натирань, утворення мозолів і зниження працездатності спортсмена. Тому вироби для ультрамарафонів орієнтовані на мінімізацію тертя, ефективну вентиляцію та підтримання комфорту стопи протягом тривалого часу, що відображено на прикладах спеціалізованих моделей (рис. 1.2).

Для зимових видів спорту, зокрема лижного спорту, альпінізму та зимового трекінгу, характерними є низькі температури, підвищена вологість і обмежена вентиляція у взутті. У таких умовах спортивні шкарпетки виконують подвійну функцію: теплоізоляційну та вологорегулюючу. Конструктивні особливості зимових моделей, які поєднують підвищену щільність полотна з зонами відведення вологи, також проілюстровані на рис. 1.3.



Рис. 1.3. Подвійні функції шкарпеток

Узагальнення умов експлуатації спортивних шкарпеток в екстремальних середовищах і відповідних функціональних вимог подано в таблиці 1.1, тоді як

взаємозв'язок між умовами використання та конструктивними рішеннями виробів наведено в таблиці 1.2.

Таблиця 1.1

Сфери застосування спортивних шкарпеток в екстремальних умовах

Сфера застосування	Основні умови експлуатації	Ключові функціональні вимоги
Гірський туризм	Тривале ходіння, перепади температур, волога	Амортизація, терморегуляція, зносостійкість
Трекінг	Пересічена місцевість, підвищене тертя	Вологовідвід, захист від натирання
Військові умови	Тривале безперервне носіння, бруд, волога	Довговічність, антибактеріальні властивості
Ультрамарафони	Надтривалі навантаження, інтенсивне потовиділення	Комфорт, мінімізація тертя, вентиляція
Зимові види спорту	Низькі температури, обмежена вентиляція	Теплоізоляція, контроль вологості

Таблиця 1.2

Вплив умов експлуатації на конструктивні рішення спортивних шкарпеток

Умови експлуатації	Конструктивні особливості
Високе механічне навантаження	Посилені зони п'яти та носка
Підвищена вологість	Зони вентиляції, сітчасті структури
Низькі температури	Збільшена щільність полотна, термошари
Тривале носіння	Анатомічна форма, еластичні зони фіксації

Сфера застосування спортивних шкарпеток в екстремальних умовах характеризується значною різноманітністю експлуатаційних чинників, що зумовлюють підвищені вимоги до конструкції та матеріального складу виробів. Залежно від виду діяльності змінюється характер навантажень, температурний режим і рівень вологості, що потребує диференційованого підходу до проектування спортивних шкарпеток. Виявлені особливості створюють основу для подальшого

аналізу конструктивних і функціональних рішень, а також матеріалів, що застосовуються у виробництві таких виробів.

1.2. Конструктивні та функціональні особливості спортивних шкарпеток для екстремальних навантажень

Спортивні шкарпетки для занять в екстремальних умовах є складними трикотажними виробами, конструкція яких формується з урахуванням анатомічних особливостей стопи, характеру фізичних навантажень та умов експлуатації. На відміну від стандартних панчішно-шкарпеткових виробів, такі шкарпетки мають багатозонну структуру, у якій кожна зона виконує чітко визначену функцію.

Конструктивні рішення спортивних шкарпеток для екстремальних навантажень спрямовані на зменшення ризику травм, підвищення комфорту, стабілізацію стопи у взутті та збереження працездатності людини протягом тривалого часу. Основні функціональні зони виробу, їх конструктивні особливості та призначення систематизовано в таблиці 1.3, а схема функціонального зонування наведена на рис. 1.4.

Таблиця 1.3

Основні функціональні зони спортивних шкарпеток

Функціональна зона	Конструктивні особливості	Основне призначення
Носок	Посилене або махрове переплетення	Захист від стирання, амортизація
П'ята	Збільшена щільність полотна	Зносостійкість, стабільність
Підйом стопи	Еластичні та сітчасті структури	Фіксація, вентиляція
Підошва	Амортизуючі структури	Зменшення ударних навантажень
Гомілка	Еластичні переплетення	Стабілізація та комфорт

Функціональне зонування спортивних шкарпеток

Однією з ключових особливостей спортивних шкарпеток є функціональне зонування, яке передбачає використання різних типів переплетень, щільності полотна

та матеріального складу в окремих частинах виробу. Найбільш навантаженими є носкова та п'яткова зони, які зазнають постійного тертя й ударних навантажень під час ходьби, бігу або стрибків. Тому ці ділянки, як правило, посилюються додатковими шарами трикотажу або махровими переплетеннями, що підвищує зносостійкість і амортизаційні властивості виробу, що відображено в таблиці 1.3 та проілюстровано на рис. 1.4.



Рис. 1.4 Особливості спортивних шкарпеток

Зони підйому стопи та гомілки виконують стабілізуючу функцію. Тут застосовуються еластичні переплетення, які забезпечують щільне прилягання шкарпетки до ноги та запобігають її сповзанню під час руху. Особливості конструкції стабілізуючих зон і їх функціональне призначення узагальнено в таблиці 1.3.

Для ефективного управління вологістю у спортивних шкарпетках передбачаються вентиляційні зони, які зазвичай розміщуються в ділянці підйому стопи або бокових поверхонь. Такі зони виконуються з використанням сітчастих або менш щільних переплетень, що сприяє циркуляції повітря та швидкому відведенню вологи. Взаємозв'язок між умовами експлуатації та необхідністю формування вентиляційних зон наведено в таблиці 1.4, а приклади реалізації таких рішень подано на рис. 1.4.

Залежність конструктивних рішень від умов експлуатації

Вид екстремальної діяльності	Основні конструктивні особливості
Гірський туризм, трекінг	Амортизаційні зони, вентиляція
Військові умови	Підвищена щільність, мінімум швів
Ультрамарафони	Легкі матеріали, тонкі переплетення
Зимові види спорту	Теплоізоляційні зони, контроль вологості



Рис.1.5. Конструктивні рішення для різних екстремальних умов

Конструкція спортивних шкарпеток змінюється залежно від умов використання. Для гірського туризму та трекінгу характерне поєднання амортизаційних і вентиляційних зон, що дозволяє підтримувати баланс між захистом стопи та її терморегуляцією. Основні конструктивні особливості шкарпеток для цих видів діяльності наведено в таблиці 1.4.

У військових моделях акцент робиться на довговічності, підвищеній щільності полотна та мінімізації кількості швів, що знижує ризик подразнення шкіри під час тривалого носіння. Такі конструктивні рішення узагальнено в таблиці 1.4.

Ультрамарафонські шкарпетки мають полегшену конструкцію з мінімальною кількістю ущільнених зон, що дозволяє зменшити масу виробу та забезпечити максимальну вентиляцію. Для зимових видів спорту, навпаки, конструкція передбачає збільшену теплоізоляцію в поєднанні з зонами відведення вологи, що запобігає переохолодженню стопи. Порівняльні конструктивні характеристики шкарпеток для різних екстремальних умов систематизовано в таблиці 1.4.

Конструктивні та функціональні особливості спортивних шкарпеток для екстремальних навантажень визначаються специфікою умов їх експлуатації та характером фізичних навантажень. Функціональне зонування виробів, застосування різних типів переплетень і диференційована щільність полотна, узагальнені в таблицях 1.3 та 1.4, дозволяють поєднати комфорт, зносостійкість і ефективну терморегуляцію. Зазначені конструктивні рішення формують основу для подальшого аналізу матеріального складу спортивних шкарпеток і оцінки їх екологічного впливу.

1.3. Матеріальний склад спортивних шкарпеток та його вплив на експлуатаційні властивості

Матеріальний склад є одним із ключових чинників, що визначає експлуатаційні властивості спортивних шкарпеток для занять в екстремальних умовах. Вибір волокон безпосередньо впливає на зносостійкість, здатність до відведення вологи, терморегуляцію, гігієнічні властивості виробу та його довговічність. Крім того, матеріальний склад формує екологічний профіль виробу, що є особливо важливим у контексті сталого розвитку текстильної промисловості.

У сучасному виробництві спортивних шкарпеток застосовуються натуральні, синтетичні та змішані волокна, кожна з яких має свої експлуатаційні особливості. Основні види волокон, що використовуються у спортивних шкарпетках, їх властивості, переваги та обмеження систематизовано в таблиці 1.5.

Основні волокна, що застосовуються у спортивних шкарпетках

Вид волокна	Основні властивості	Переваги	Обмеження
Бавовна	Гігроскопічність, повітропроникність	Комфорт, натуральність	Повільне висихання
Вовна (меринос)	Терморегуляція, антибактеріальність	Тепло навіть у вологому стані	Менша зносостійкість
Поліамід	Висока міцність, зносостійкість	Довговічність	Синтетичне походження
Поліестер	Вологовідвід, швидке висихання	Легкість, стабільність	Утворення мікропластику
Еластан	Еластичність	Фіксація, комфорт	Низька термостійкість

Натуральні волокна та їх експлуатаційні властивості

Натуральні волокна традиційно застосовуються у спортивних шкарпетках завдяки їх високим гігієнічним властивостям і комфортності при контакті зі шкірою. Бавовна характеризується доброю повітропроникністю та гігроскопічністю, однак має низьку здатність до швидкого висихання, що обмежує її використання в умовах інтенсивного потовиділення, як це характерно для ультрамарафонів і трекінгу.

Вовна, зокрема мериносова, широко використовується у спортивних шкарпетках для гірського туризму та зимових видів спорту. Вона забезпечує ефективну терморегуляцію та зберігає тепло навіть у вологому стані, що підтверджується її експлуатаційними характеристиками, наведеними в таблиці 1.5.

Синтетичні волокна у спортивних шкарпетках

Синтетичні волокна відіграють провідну роль у виробництві спортивних шкарпеток для екстремальних умов. Поліамід і поліестер забезпечують високу міцність, стійкість до стирання та ефективне відведення вологи від поверхні шкіри, що є критично важливим для військових умов і тривалих фізичних навантажень.

Еластан використовується у невеликих кількостях для надання виробу еластичності та стабільної посадки на стопі. Його функціональне призначення та вплив на експлуатаційні характеристики виробу узагальнено в таблиці 1.5.

Змішані матеріали як оптимальне рішення

Для забезпечення балансу між комфортом і довговічністю у спортивних шкарпетках переважно застосовуються змішані волокнисті склади, які поєднують натуральні та синтетичні компоненти. Такі матеріальні композиції дозволяють компенсувати недоліки окремих волокон і досягти оптимальних експлуатаційних характеристик.

Вплив матеріального складу на основні експлуатаційні показники спортивних шкарпеток, зокрема вологовідвід, терморегуляцію та зносостійкість, систематизовано в таблиці 1.6.

Таблиця 1.6

Вплив матеріального складу на експлуатаційні властивості спортивних шкарпеток

Матеріальний склад	Вологовідвід	Терморегуляція	Зносостійкість
100% натуральні волокна	Низький–середній	Висока	Низька
100% синтетичні волокна	Високий	Середня	Висока
Змішані волокна	Високий	Висока	Висока

Порівняльний аналіз експлуатаційних властивостей спортивних шкарпеток залежно від типу волокон наочно представлено на рис. 1.6, де показано співвідношення показників вологовідведення, терморегуляції та зносостійкості для натуральних, синтетичних і змішаних матеріалів.

Порівняльна характеристика експлуатаційних властивостей спортивних шкарпеток залежно від матеріального складу



Рис.1.6. Графічне узагальнення впливу матеріального складу

Матеріальний склад спортивних шкарпеток є визначальним чинником формування їх експлуатаційних властивостей. Аналіз властивостей натуральних і синтетичних волокон, наведених у таблиці 1.5, свідчить про доцільність використання змішаних матеріальних композицій, експлуатаційні переваги яких узагальнено в таблиці 1.6. Це створює підґрунтя для подальшого дослідження екологічного впливу використовуваних волокон, що буде розглянуто у наступному підрозділі.

1.4. Аналіз екологічного впливу використовуваних волокон і матеріалів

Екологічний вплив спортивних шкарпеток для занять в екстремальних умовах значною мірою визначається типом волокон і матеріалів, що застосовуються у їх виробництві. Вибір сировини формує рівень навантаження на довкілля на всіх етапах життєвого циклу виробу – від отримання та переробки сировини, процесів виготовлення та експлуатації до завершення терміну служби й утилізації. У контексті сталого розвитку текстильної промисловості аналіз екологічних характеристик матеріалів є необхідною умовою для обґрунтування доцільних конструктивно-технологічних рішень.

У панчішно-шкарпетковій промисловості для виготовлення спортивних шкарпеток найчастіше застосовуються натуральні, синтетичні та змішані волокна, які істотно відрізняються за екологічними показниками. Порівняльну характеристику основних екологічних проблем і позитивних аспектів використання цих груп матеріалів узагальнено в таблиці 1.7, що дозволяє системно оцінити їх вплив на довкілля.

Екологічні характеристики натуральних волокон

Натуральні волокна, зокрема бавовна та вовна, традиційно сприймаються як екологічно прийнятні матеріали, однак їх виробництво супроводжується значним ресурсним навантаженням. Вирощування бавовни характеризується високим рівнем водоспоживання та використанням агрохімікатів, що призводить до виснаження

ґрунтів і забруднення водних ресурсів. Виробництво вовни пов'язане з екологічними проблемами тваринництва, зокрема викидами парникових газів, а також застосуванням мийних і хімічних засобів на етапах очищення та обробки волокна.

Таблиця 1.7

Порівняльна оцінка екологічного впливу основних типів волокон

Тип волокна	Основні екологічні проблеми	Позитивні екологічні аспекти
Натуральні	Високе водоспоживання, агрохімія, викиди від тваринництва	Біорозкладність, відсутність мікропластику
Синтетичні	Використання нафтохімічної сировини, утворення мікропластику	Довговічність, висока зносостійкість
Змішані	Складність утилізації	Зменшення частки синтетики, баланс властивостей

Водночас натуральні волокна мають важливу екологічну перевагу – біорозкладність. За природних умов бавовняні та вовняні матеріали здатні розкладатися протягом періоду від кількох місяців до кількох років без утворення стійких токсичних залишків і без накопичення мікропластику. Саме ця особливість зумовлює їх відносно низький екологічний вплив на етапі завершення життєвого циклу виробів, що відображено в таблиці 1.8.

Таблиця 1.8

Основні джерела екологічного впливу волокон на різних етапах життєвого циклу

Тип волокна	Виробництво сировини	Експлуатація	Кінець життєвого циклу
Натуральні	Високе водоспоживання	Мінімальний вплив	Біорозклад
Синтетичні	Висока енергоємність	Мікропластик	Тривалий розклад
Змішані	Середній рівень впливу	Залежить від складу	Обмежена переробка

Синтетичні волокна, такі як поліамід і поліестер, виробляються з нафтохімічної сировини та характеризуються високою енергоємністю виробничих процесів. Їх застосування пов'язане зі значними викидами вуглекислого газу та залежністю від невідновлюваних ресурсів. Однією з ключових екологічних проблем синтетичних матеріалів є надзвичайно тривалий період їх розкладання у навколишньому середовищі, що відображено на рис.1.7.

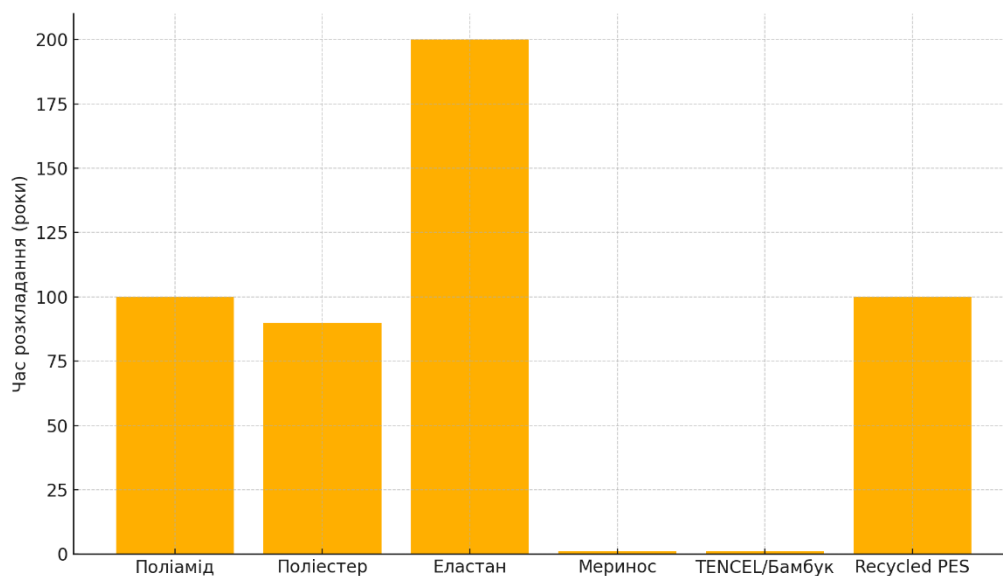


Рис.1.7. Екологічний вплив синтетичних волокон і тривалість їх розкладання

За узагальненими даними екологічних і матеріалознавчих досліджень, поліестер і поліамід можуть зберігатися в природному середовищі від 50 до 200 років, поступово фрагментуючись на дрібні частинки, але не зазнаючи повного біологічного розкладання. У процесі експлуатації та багаторазового прання виробів із синтетичних волокон відбувається вивільнення мікропластикових частинок, які потрапляють у водні екосистеми та накопичуються в біосфері.

Таким чином, незважаючи на високу зносостійкість і довговічність спортивних шкарпеток із синтетичних матеріалів, їх екологічний вплив є суттєвим і довготривалим, особливо на етапі утилізації, що чітко простежується в таблиці 1.8.

Змішані волокна як компромісне екологічне рішення

Змішані волокнисті композиції, які поєднують натуральні та синтетичні компоненти, широко застосовуються у виробництві спортивних шкарпеток для екстремальних умов з метою досягнення оптимального балансу між експлуатаційними та екологічними характеристиками. Такі матеріали дозволяють зменшити частку синтетичних волокон у виробі, водночас зберігаючи необхідний рівень зносостійкості, еластичності та функціональності.

Разом з тим, змішані матеріали ускладнюють процеси утилізації та повторної переробки через різнорідний волокнистий склад. В екологічному контексті вони розглядаються як перехідне рішення, що знижує негативний вплив порівняно з повністю синтетичними виробами, але не усуває проблему повністю. Узагальнена оцінка екологічного навантаження змішаних матеріалів на різних етапах життєвого циклу також наведена в таблиці 1.8.

Проведений аналіз екологічного впливу використовуваних волокон і матеріалів показав, що жоден з типів волокон не є екологічно нейтральним. Натуральні волокна характеризуються біорозкладністю та відсутністю мікропластику, але мають значне ресурсне навантаження на етапі виробництва. Синтетичні матеріали забезпечують високу довговічність спортивних шкарпеток, проте мають тривалий період розкладання (до 200 років) і є джерелом мікропластикового забруднення. Змішані волокна формують компромісне рішення, що підкреслює необхідність подальшого розвитку біобазованих і вторинних матеріалів, які будуть детально розглянуті у наступних розділах роботи.

1.5. Світові бренди спортивних шкарпеток та сучасні технологічні тенденції

Сучасний ринок спортивних шкарпеток для занять в екстремальних умовах розвивається під впливом підвищених вимог до функціональності виробів, зростання екологічної свідомості споживачів і активного впровадження інноваційних технологій у легкій промисловості. Провідні світові виробники зосереджують увагу не лише на експлуатаційних характеристиках продукції, але й на зменшенні її

екологічного впливу шляхом оптимізації матеріального складу, технологічних процесів та подовження життєвого циклу виробів.

Аналіз світового та локального досвіду дозволяє виокремити низку ключових технологічних тенденцій, які формують сучасний напрям розвитку спортивних шкарпеток для екстремальних навантажень. Узагальнення цих тенденцій, їх технологічної суті та екологічного значення наведено в таблиці 1.9, що дає змогу системно оцінити їх вплив на галузь.

Таблиця 1.9

Основні сучасні технологічні тенденції у виробництві спортивних шкарпеток

Тенденція	Технологічна суть	Екологічне значення
Функціональне зонування	Диференціація переплетень і щільності	Підвищення довговічності
Використання вторинної сировини	Перероблені синтетичні волокна	Зменшення використання первинних ресурсів
Малошовні технології	Зменшення кількості швів	Скорочення відходів виробництва
Орієнтація на довгий термін служби	Підвищена зносостійкість	Зменшення текстильних відходів

Світові технологічні тенденції у виробництві спортивних шкарпеток

Однією з провідних тенденцій є ускладнення конструкції виробів за рахунок функціонального зонування, яке реалізується шляхом диференціації щільності полотна, використання різних типів переплетень і локального застосування спеціалізованих волокон. Такі рішення дозволяють підвищити комфорт, зносостійкість і стабільність виробу під час тривалих фізичних навантажень, що особливо важливо для гірського туризму, військових умов і ультрамарафонів. Зазначена тенденція детально систематизована в таблиці 1.9.

Іншою важливою тенденцією є орієнтація на довговічність спортивних шкарпеток, яка розглядається як один із ефективних шляхів зменшення екологічного навантаження. Збільшення ресурсу експлуатації виробів сприяє зниженню обсягів текстильних відходів і скороченню потреби у виробництві нової продукції. Цей підхід

також відображено в таблиці 1.9 як один із базових принципів сучасного сталого виробництва.

Інноваційні матеріали та технологічні рішення

У контексті екологізації виробництва спортивних шкарпеток світові виробники активно впроваджують перероблені синтетичні волокна, отримані з промислових і побутових відходів, а також біобазовані полімери, частково синтезовані з відновлюваної сировини. Хоча такі матеріали не забезпечують повної біорозкладності виробів, вони дозволяють зменшити використання первинної нафтохімічної сировини та скоротити вуглецевий слід продукції.

Важливе місце займають малошовні та безшовні технології в'язання, що знижують кількість операцій формування виробів, підвищують комфорт під час експлуатації та сприяють скороченню виробничих відходів. Сукупність цих інноваційних рішень та їх екологічне значення узагальнено в таблиці 1.9.

Українські виробники спортивних шкарпеток у контексті сучасних тенденцій

Українські виробники панчішно-шкарпеткової продукції поступово інтегрують світові технологічні тенденції у власні виробничі процеси, адаптуючи їх до локальних умов і доступної сировинної бази. Вітчизняні підприємства зосереджуються на застосуванні змішаних волокнистих складів, які забезпечують баланс між експлуатаційними характеристиками та економічною доцільністю виробництва.

Характерною особливістю українського виробництва є гнучкість у розробці конструкцій і здатність оперативно адаптувати продукцію під конкретні умови експлуатації, зокрема військові потреби, сезонні кліматичні навантаження та трекінгові маршрути. Впровадження сучасного круглов'язального обладнання дозволяє реалізовувати функціональне зонування та підвищувати якість виробів відповідно до тенденцій, наведених у таблиці 1.9.

Місце українського виробництва у глобальному контексті

Порівняльний аналіз світових і українських виробників свідчить про те, що вітчизняна панчішно-шкарпеткова галузь має значний потенціал розвитку у напрямі сталого виробництва. Локалізація виробництва дозволяє скорочувати логістичні

ланцюги та відповідно зменшувати вуглецевий слід продукції. Разом з тим, подальший розвиток потребує розширення доступу до інноваційної екологічної сировини та модернізації технологічної бази.

Аналіз світових брендів спортивних шкарпеток і сучасних технологічних тенденцій показав, що розвиток галузі орієнтований на підвищення функціональності та довговічності виробів, а також на поступове зменшення їх екологічного впливу. Ключові тенденції – функціональне зонування, використання вторинної сировини та оптимізація технологічних процесів – узагальнені в таблиці 1.9. Українські виробники, адаптуючи світовий досвід до локальних умов, формують перспективний напрям розвитку спортивних шкарпеток для екстремальних умов, що створює основу для подальшого аналізу екологічних проблем виробництва та експлуатації у наступному розділі роботи.

ВИСНОВКИ ДО РОЗДІЛУ 1

У першому розділі магістерської роботи здійснено комплексний аналіз спортивних шкарпеток для занять в екстремальних умовах як об'єкта дослідження з позицій функціональності, матеріалознавства та екологічної доцільності. Проведене дослідження дозволило систематизувати сучасні підходи до проектування, виготовлення та використання таких виробів, а також визначити ключові чинники, що формують їх експлуатаційні та екологічні характеристики.

У ході аналізу сфер застосування спортивних шкарпеток встановлено, що вироби для гірського туризму, трекінгу, військових умов, ультрамарафонів і зимових видів спорту експлуатуються в умовах підвищених механічних, кліматичних і фізіологічних навантажень. Це зумовлює необхідність спеціалізованих конструктивних рішень, орієнтованих на захист стопи, зниження ризику травматизації, стабілізацію положення ноги у взутті та забезпечення комфортного мікроклімату під час тривалого використання виробу.

Аналіз конструктивних і функціональних особливостей спортивних шкарпеток показав, що сучасні вироби характеризуються багатозонною структурою, у якій кожна функціональна зона виконує чітко визначене призначення. Функціональне зонування, застосування диференційованих переплетень і локальної зміни щільності полотна є базовими технологічними рішеннями, які безпосередньо впливають на довговічність виробів і ефективність їх експлуатації в екстремальних умовах. З технологічної точки зору саме ці рішення формують основу для подальшої оптимізації матеріального складу та зменшення екологічного навантаження.

Дослідження матеріального складу спортивних шкарпеток дозволило встановити, що жодна з груп волокон — натуральні, синтетичні чи змішані — не забезпечує повного комплексу експлуатаційних властивостей у чистому вигляді. Натуральні волокна забезпечують комфорт і терморегуляцію, але мають обмежену зносостійкість; синтетичні — характеризуються високою міцністю та стабільністю, проте формують значне екологічне навантаження; змішані волокнисті композиції є

технологічно доцільним компромісом, який домінує у сучасному виробництві спортивних шкарпеток для екстремальних умов.

Аналіз екологічного впливу використовуваних волокон і матеріалів показав, що ключовими екологічними проблемами є висока енергоємність виробництва синтетичних волокон, утворення мікропластику під час експлуатації та надзвичайно тривалий період розкладання синтетичної сировини у навколишньому середовищі. Водночас встановлено, що орієнтація на довговічність виробів і подовження їх життєвого циклу може частково компенсувати негативний екологічний вплив за рахунок зменшення обсягів текстильних відходів.

Окрему увагу у розділі приділено аналізу світових технологічних тенденцій і досвіду українських виробників спортивних шкарпеток. Встановлено, що розвиток галузі відбувається у напрямі поєднання функціональності виробів із поступовою екологізацією виробництва. Українські виробники, адаптуючи світові підходи до локальних умов, демонструють здатність реалізовувати функціональні конструктивні рішення та використовувати змішані матеріальні склади, що створює передумови для подальшого впровадження сталих технологій у вітчизняному виробництві.

Таким чином, результати дослідження, отримані у першому розділі, підтверджують актуальність комплексного підходу до аналізу спортивних шкарпеток для екстремальних умов, який поєднує конструктивно-технологічні, матеріалознавчі та екологічні аспекти. Сформульовані висновки створюють наукове підґрунтя для подальшого дослідження екологічних проблем виробництва та експлуатації спортивних шкарпеток, а також для розробки практичних шляхів зменшення їх екологічного впливу, що буде розглянуто у наступному розділі роботи.

РОЗДІЛ 2. ЕКОЛОГІЧНІ ПРОБЛЕМИ ВИРОБНИЦТВА ТА ЕКСПЛУАТАЦІЇ СПОРТИВНИХ ШКАРПЕТОК

2.1. Технологія виробництва спортивних шкарпеток та її екологічні аспекти

Технологія виробництва спортивних шкарпеток для занять в екстремальних умовах є багатостадійним процесом, який поєднує операції підготовки сировини, формування трикотажного полотна, надання виробу анатомічної форми та фінішної обробки. Кожен з технологічних етапів характеризується специфічними ресурсними витратами та формує певний рівень екологічного навантаження на довкілля. У контексті сталого розвитку текстильної промисловості систематизація екологічних аспектів технології виробництва спортивних шкарпеток є необхідною умовою для подальшої оптимізації виробничих процесів.

Основні етапи технології виготовлення спортивних шкарпеток, а також пов'язані з ними потенційні екологічні впливи, узагальнено в таблиці 2.1, що дозволяє комплексно оцінити екологічний профіль виробництва.

Таблиця 2.1

Основні етапи виробництва спортивних шкарпеток та їх екологічні аспекти

Технологічний етап	Основні операції	Потенційний екологічний вплив
Підготовка сировини	Фарбування, стабілізація	Високе водо- та енергоспоживання
В'язання	Формування полотна	Енергоспоживання, мінімальні відходи
Формування і шиття	Закриття миска, стабілізація	Теплові витрати, текстильні відходи
Фінішна обробка	Прання, сушіння	Забруднення стічних вод

Основні етапи технології виробництва спортивних шкарпеток

Технологічний процес виготовлення спортивних шкарпеток умовно поділяється на кілька взаємопов'язаних етапів: підготовку сировини, в'язання,

формування та шиття, а також фінішну обробку. Кожен із цих етапів має власні технологічні особливості та екологічні ризики, узагальнені в таблиці 2.1.

Підготовка сировини

Підготовка сировини включає процеси отримання волокон, виробництва пряжі, її фарбування та попередньої хімічної обробки. На цьому етапі формується значна частка екологічного впливу, пов'язана з інтенсивним використанням водних ресурсів, енергії та хімічних речовин. Згідно з даними, наведеними в таблиці 2.1, підготовка сировини належить до найбільш водо- та енергоємних етапів виробництва спортивних шкарпеток.

В'язання спортивних шкарпеток

В'язання здійснюється на сучасному круглов'язальному обладнанні з програмним керуванням, що дозволяє реалізувати складне функціональне зонування та багатокомпонентний матеріальний склад виробів. З екологічної точки зору цей етап характеризується передусім енергоспоживанням, при цьому рівень утворення відходів є порівняно низьким. Основні екологічні характеристики процесу в'язання наведено в таблиці 2.1.

Формування, шиття та стабілізація

Після в'язання спортивні шкарпетки проходять операції формування, які включають закриття миска, стабілізацію розмірів та термічну обробку. Використання малошовних і безшовних технологій дозволяє зменшити кількість допоміжних операцій і скоротити обсяги текстильних відходів. Як показано в таблиці 2.1, екологічний вплив цього етапу пов'язаний переважно з витратами електроенергії та теплових ресурсів.

Фінішна обробка

Фінішна обробка включає операції прання, сушіння та остаточного формування виробів. Саме на цьому етапі спостерігається інтенсивне використання води та мийних засобів, що зумовлює підвищене навантаження на системи очищення стічних вод. Потенційні екологічні ризики фінішної обробки, пов'язані із забрудненням водного середовища, систематизовано в таблиці 2.1.

Екологічні аспекти технології виробництва

Аналіз технології виробництва спортивних шкарпеток показує, що найбільше екологічне навантаження формується на етапах підготовки сировини та фінішної обробки, що підтверджується узагальненими даними таблиці 2.1. Процеси в'язання та формування виробів мають порівняно менший вплив на довкілля, проте потребують оптимізації енергоспоживання та зменшення кількості дефектної продукції.

Технологія виробництва спортивних шкарпеток для екстремальних умов є ресурсомістким багатостадійним процесом, екологічні аспекти якого формуються на кожному технологічному етапі. Як показано в таблиці 2.1, найбільший негативний вплив на довкілля пов'язаний із підготовкою сировини та фінішною обробкою виробів, тоді як процеси в'язання й формування мають потенціал для зниження енергоспоживання та мінімізації відходів. Отримані результати створюють наукове підґрунтя для детального аналізу окремих екологічних факторів виробництва, що буде здійснено у наступному підрозділі.

2.2. Вплив виробничих процесів на довкілля (енергоспоживання, водокористування, хімічні речовини)

Виробництво спортивних шкарпеток для занять в екстремальних умовах супроводжується суттєвим впливом на довкілля, який зумовлений інтенсивним використанням енергетичних ресурсів, води та хімічних речовин на різних етапах технологічного процесу. З огляду на складність конструкції виробів і багатокомпонентний матеріальний склад, екологічне навантаження у панчішно-шкарпетковому виробництві є вищим порівняно зі стандартними трикотажними виробами.

Для об'єктивної оцінки впливу виробничих процесів на навколишнє середовище доцільно розглядати енергоспоживання, водокористування та використання хімічних речовин як взаємопов'язані фактори, що формують загальний екологічний слід виробництва.

Вплив енергоспоживання на довкілля

Енергоспоживання є одним із ключових чинників екологічного навантаження у виробництві спортивних шкарпеток. Основними споживачами електроенергії є круглов'язальні машини, обладнання для термічної стабілізації, сушильні установки та допоміжні системи. Високий рівень автоматизації та точності сучасного обладнання, з одного боку, дозволяє зменшити кількість браку, а з іншого — призводить до зростання загального енергоспоживання.

Найбільш енергоємними є процеси термообробки та сушіння, що пов'язано з необхідністю стабілізації розмірів і форми виробів після в'язання та прання. Узагальнену характеристику енергоспоживання на різних етапах виробництва спортивних шкарпеток наведено в таблиці 2.2.

Таблиця 2.2

Характеристика енергоспоживання на етапах виробництва спортивних шкарпеток

Технологічний етап	Основні джерела споживання енергії	Рівень енергоспоживання
Підготовка сировини	Фарбувальні та обробні агрегати	Високий
В'язання	Круглов'язальні машини	Середній
Формування та стабілізація	Термічні камери	Високий
Фінішна обробка	Сушильне обладнання	Високий

Доцільно також розглянути графік розподілу енергоспоживання між основними технологічними етапами (рис. 2.1).

Водокористування у виробничих процесах

Водні ресурси відіграють ключову роль у виробництві спортивних шкарпеток, особливо на етапах фарбування, прання та фінішної обробки. Саме ці процеси формують найбільше навантаження на системи водопостачання та водовідведення підприємств легкої промисловості.

Надмірне споживання води у поєднанні з утворенням забруднених стічних вод є однією з найсерйозніших екологічних проблем галузі. Вміст барвників, поверхнево-активних речовин і допоміжних хімікатів у стічних водах ускладнює їх очищення та

може призводити до негативного впливу на водні екосистеми. Основні напрями водокористування у виробництві спортивних шкарпеток узагальнено в таблиці 2.3.

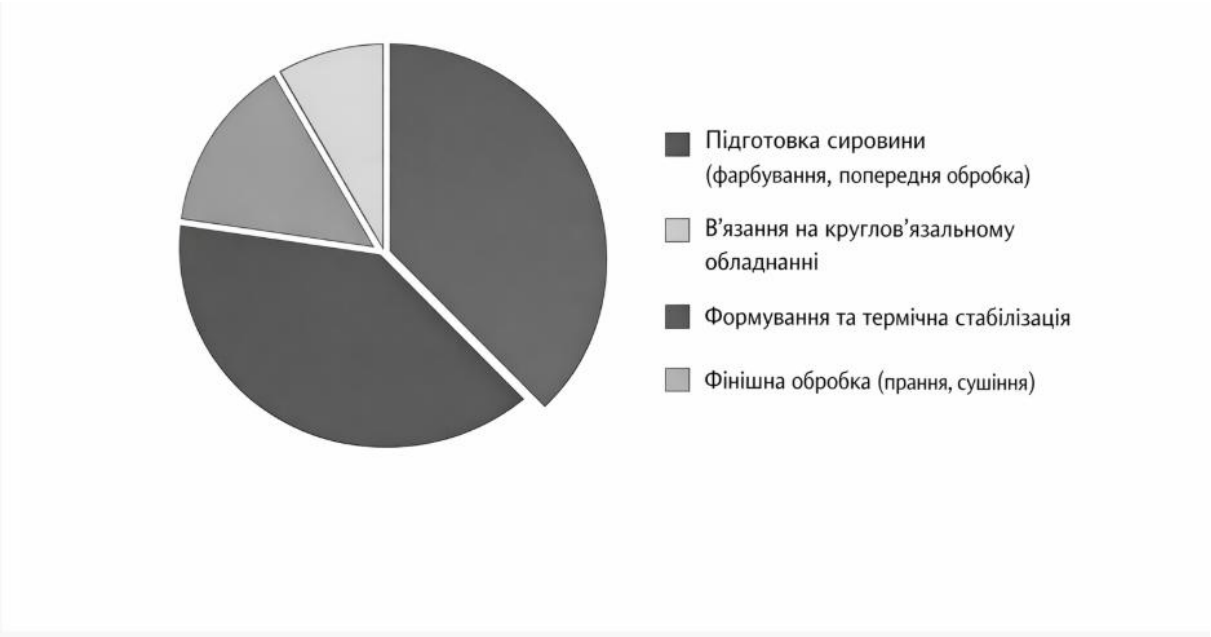


Рис. 2.1. Структура енергоспоживання у виробництві спортивних шкарпеток

Таблиця 2.3

Основні напрями водокористування у виробництві спортивних шкарпеток

Технологічний процес	Призначення води	Потенційний екологічний ризик
Фарбування	Розчинення барвників	Забруднення стічних вод
Прання	Видалення домішок	Підвищене споживання води
Фінішна обробка	Формування виробів	Хімічне навантаження

Використання хімічних речовин та їх екологічний вплив

Хімічні речовини широко застосовуються у виробництві спортивних шкарпеток на етапах підготовки сировини, фарбування та фінішної обробки. До них належать барвники, стабілізатори, мийні засоби, антибактеріальні та функціональні обробки. Неправильний вибір або надмірне використання таких речовин може

спричиняти накопичення токсичних сполук у стічних водах і негативно впливати на здоров'я людини та довкілля.

З технологічної точки зору особливу увагу слід приділяти контролю складу та дозування хімічних препаратів, а також відповідності використовуваних речовин міжнародним стандартам безпеки. Узагальнену характеристику основних груп хімічних речовин та їх екологічного впливу наведено в таблиці 2.4

Таблиця 2.4

**Основні хімічні речовини у виробництві спортивних шкарпеток
та їх екологічний вплив**

Група речовин	Призначення	Потенційний вплив на довкілля
Барвники	Надання кольору	Забруднення водних ресурсів
Мийні засоби	Очищення виробів	Піноутворення, токсичність
Функціональні обробки	Антибактеріальні властивості	Біоаккумуляція

Аналіз впливу виробничих процесів на довкілля показав, що найбільше екологічне навантаження у виробництві спортивних шкарпеток формують енергоспоживання, водокористування та застосування хімічних речовин. Як свідчать дані таблиць 2.2-2.4 та рис. 2.1, найбільш критичними з точки зору екології є процеси фарбування, прання, термічної стабілізації та фінішної обробки. Отримані результати обґрунтовують необхідність впровадження ресурсозберігаючих технологій і більш жорсткого контролю використання хімічних речовин, що буде детально розглянуто у наступному підрозділі.

2.3. Дослідження мікропластику у виробництві та експлуатації спортивних шкарпеток

Проблема утворення мікропластику є однією з найбільш актуальних екологічних загроз, пов'язаних із виробництвом і експлуатацією текстильних

виробів, зокрема спортивних шкарпеток для занять в екстремальних умовах. Мікропластик у текстильній галузі визначається як мікроскопічні частинки синтетичних полімерів, що утворюються внаслідок механічного зношування волокон або технологічних процесів і потрапляють у навколишнє середовище.

Спортивні шкарпетки, виготовлені з поліамідних, поліефірних та еластанових волокон, є потенційним джерелом мікропластику через специфіку їх експлуатації, що включає інтенсивні механічні навантаження, часте прання та контакт з вологою.

Джерела утворення мікропластику у виробничому циклі

У процесі виробництва спортивних шкарпеток мікропластикові частинки можуть утворюватися вже на технологічних етапах, пов'язаних з механічною обробкою синтетичної пряжі. До таких етапів належать в'язання, формування, обробка поверхні виробів і фінішне прання. Особливо інтенсивне виділення мікрОВОЛОКОН спостерігається під час первинного прання готових виробів на виробництві, коли відбувається видалення нестабільних волокон з поверхні трикотажу.

З технологічної точки зору кількість утворюваного мікропластику залежить від типу волокна, способу прядіння, структури полотна та параметрів обробки. Узагальнену характеристику джерел утворення мікропластику у виробництві спортивних шкарпеток наведено в таблиці 2.5.

Таблиця 2.5

Джерела утворення мікропластику у виробництві спортивних шкарпеток

Технологічний етап	Механізм утворення мікропластику	Екологічний ризик
В'язання	Термічне та механічне навантаження на волокна	Низький–середній
Формування	Механічне стирання волокон	Середній
Фінішне прання	Відрив нестабільних волокон	Високий

Утворення мікропластику під час експлуатації спортивних шкарпеток

Найбільший обсяг мікропластикових частинок утворюється не на стадії виробництва, а саме під час експлуатації виробів. Регулярне прання спортивних

шкарпеток у побутових і промислових пральних машинах супроводжується інтенсивним відокремленням мікрОВОЛОКОН, які разом зі стічними водами потрапляють у каналізаційні системи та, за відсутності ефективної фільтрації, у природні водойми.

Особливістю спортивних шкарпеток для екстремальних умов є поєднання щільних зон, еластичних вставок і синтетичних армувальних ниток, що підвищує механічне тертя волокон під час експлуатації. Це зумовлює вищий потенціал утворення мікропластику порівняно зі звичайними побутовими шкарпетками.

Для наочного відображення шляхів потрапляння мікропластику в довкілля доцільно використати схему процесу, представлену на рис. 2.2.



Рис. 2.2. Схема утворення та поширення мікропластику під час експлуатації спортивних шкарпеток

Екологічні наслідки потрапляння мікропластику

Мікропластикові волокна мають високу стійкість до біологічного розкладання та здатні акумулювати токсичні речовини. Потрапляючи у водні екосистеми, вони можуть включатися у трофічні ланцюги, створюючи загрозу для водних організмів і, опосередковано, для здоров'я людини.

З наукової точки зору проблема мікропластику у спортивних шкарпетках ускладнюється тим, що синтетичні волокна забезпечують критично важливі експлуатаційні властивості виробів, зокрема зносостійкість і стабільність форми. Це обмежує можливість повної відмови від синтетичної сировини на сучасному етапі розвитку технологій.

Технологічні підходи до зменшення утворення мікропластику

Зменшення утворення мікропластику у виробництві та експлуатації спортивних шкарпеток можливе шляхом оптимізації технологічних процесів, зокрема:

- застосування більш стабільних типів синтетичних волокон;
- удосконалення конструкції полотна з метою зменшення поверхневого стирання;
- оптимізації режимів фінішного прання;
- впровадження фільтраційних систем для очищення стічних вод.

Ці підходи розглядаються як проміжний етап на шляху до впровадження більш екологічно безпечних матеріалів, що буде детально обґрунтовано у третьому розділі роботи.

Проведений аналіз показав, що спортивні шкарпетки для екстремальних умов є значущим джерелом мікропластику як на етапі виробництва, так і під час експлуатації. Найбільше екологічне навантаження формується в процесі прання готових виробів, що підтверджує необхідність комплексного підходу до зменшення утворення мікропластикових частинок. Отримані результати підкреслюють актуальність пошуку технологічних і матеріалознавчих рішень, спрямованих на зниження негативного впливу мікропластику, що буде предметом подальшого дослідження.

2.4. Екологічні аспекти експлуатації та утилізації спортивних шкарпеток

Екологічний вплив спортивних шкарпеток для занять в екстремальних умовах не обмежується етапами виробництва, а значною мірою формується під час їх експлуатації та після завершення життєвого циклу. Саме на цих етапах виникають довготривалі екологічні наслідки, пов'язані зі зносом матеріалів, утворенням мікропластику, споживанням ресурсів під час догляду за виробами та проблемами утилізації.

З огляду на підвищені функціональні вимоги до спортивних шкарпеток для екстремальних умов, такі вироби, як правило, експлуатуються інтенсивніше та потребують частішого прання порівняно зі звичайними трикотажними виробами. Це зумовлює збільшення екологічного навантаження саме на етапі використання продукції.

Екологічні аспекти експлуатації спортивних шкарпеток

Під час експлуатації спортивних шкарпеток основними джерелами екологічного впливу є процеси прання, механічного зносу та скорочення терміну служби виробів у разі втрати експлуатаційних властивостей. Часте прання супроводжується підвищеним споживанням води, електроенергії та мийних засобів, а також вивільненням мікропластикових волокон зі складу синтетичних і змішаних матеріалів.

З технологічної точки зору саме параметри експлуатації – температура прання, інтенсивність механічного впливу, використання агресивних мийних засобів – істотно впливають на швидкість деградації волокон і знос виробів. У результаті спортивні шкарпетки можуть втрачати еластичність, формостійкість і функціональні властивості раніше, ніж завершиться їх потенційний термін служби, що призводить до збільшення обсягів текстильних відходів.

Вплив зносу та тривалості використання на екологічний слід

З точки зору сталого розвитку важливим чинником є тривалість використання виробу. Чим довше спортивні шкарпетки зберігають експлуатаційні властивості, тим менше одиниць продукції необхідно виготовляти протягом певного періоду, а отже,

зменшується сумарний екологічний слід. З цієї позиції підвищена зносостійкість виробів може розглядатися як екологічно доцільна характеристика, навіть за умови використання синтетичних волокон.

Водночас інтенсивний знос призводить до накопичення мікропластикових частинок у навколишньому середовищі та скорочення фактичного терміну служби виробів. Баланс між довговічністю та екологічною безпекою матеріалів є однією з ключових проблем сучасного виробництва спортивних шкарпеток.

Проблеми утилізації та розкладання матеріалів

Після завершення терміну експлуатації спортивні шкарпетки переважно потрапляють до потоку змішаних побутових відходів. Утилізація таких виробів ускладнюється їх багатокомпонентним матеріальним складом, що поєднує натуральні, синтетичні та еластичні волокна. Розділення цих компонентів для вторинної переробки є технологічно складним і економічно обмеженим.

Синтетичні волокна, що входять до складу спортивних шкарпеток, характеризуються надзвичайно тривалим періодом розкладання у природному середовищі, який може становити десятки або навіть сотні років. У процесі розкладання такі матеріали не зникають повністю, а фрагментуються на мікропластикові частинки, що зберігаються в екосистемах тривалий час.

Таблиця 2.6

Екологічні аспекти експлуатації та утилізації спортивних шкарпеток

Етап життєвого циклу	Джерело екологічного впливу	Потенційні наслідки
Експлуатація	Часте прання	Споживання води, енергії
Знос	Механічне стирання волокон	Утворення мікропластику
Утилізація	Змішаний матеріальний склад	Ускладнена переробка
Розкладання	Синтетичні волокна	Тривале забруднення довкілля

Узагальнену характеристику екологічних аспектів експлуатації та утилізації спортивних шкарпеток наведено в таблиці 2.6, яка дозволяє систематизувати основні джерела негативного впливу та їх наслідки.

Узагальнення екологічних наслідків на етапі завершення життєвого циклу

Завершення життєвого циклу спортивних шкарпеток є одним із найменш контрольованих етапів з точки зору екологічного впливу. Відсутність ефективних систем збору та переробки панчішно-шкарпеткових виробів зумовлює необхідність пошуку альтернативних рішень, орієнтованих на зменшення негативних наслідків ще на стадії проектування та вибору матеріалів.

Аналіз екологічних аспектів експлуатації та утилізації спортивних шкарпеток показав, що значна частина екологічного навантаження формується після завершення виробничого процесу. Часте прання, інтенсивний знос і складність утилізації багатокомпонентних матеріалів сприяють утворенню мікропластику та накопиченню текстильних відходів. Отримані результати підтверджують необхідність переходу до системних рішень, спрямованих на зменшення екологічного впливу спортивних шкарпеток на всіх етапах їх життєвого циклу, що буде предметом дослідження у третьому розділі роботи.

2.5. Утилізація спортивних шкарпеток та проблема тривалого розкладання матеріалів

Проблема утилізації спортивних шкарпеток для занять в екстремальних умовах є одним із найскладніших екологічних аспектів їх життєвого циклу. Після завершення терміну експлуатації такі вироби здебільшого потрапляють до потоку змішаних побутових відходів, оскільки спеціалізовані системи збору та переробки панчішно-шкарпеткової продукції практично відсутні. У результаті значна частина використаних спортивних шкарпеток підлягає захороненню або спалюванню, що зумовлює довготривале негативне навантаження на довкілля.

Особливу складність утилізації спортивних шкарпеток визначає їх

багатокомпонентний матеріальний склад, який включає синтетичні, натуральні та еластичні волокна, часто з різними фізико-хімічними властивостями. Така конструкція, необхідна для забезпечення функціональності та довговічності виробів, водночас унеможливорює ефективне механічне або хімічне розділення компонентів для вторинної переробки.

Основні способи утилізації спортивних шкарпеток

На сучасному етапі розвитку текстильної галузі для утилізації спортивних шкарпеток застосовуються переважно такі способи:

- захоронення на полігонах твердих побутових відходів;
- спалювання з енергетичним або безенергетичним відновленням;
- обмежена механічна переробка у вигляді подрібнення для отримання

вторинної сировини низької якості.

З технологічної та екологічної точки зору жоден із зазначених способів не є оптимальним. Захоронення призводить до накопичення синтетичних матеріалів у ґрунтах, спалювання — до викидів парникових газів і токсичних сполук, а механічна переробка обмежена через складність волокнистого складу виробів.

Тривалість розкладання матеріалів у складі спортивних шкарпеток

Однією з ключових екологічних проблем утилізації спортивних шкарпеток є надзвичайно тривалий період розкладання синтетичних волокон, які входять до їх складу. На відміну від натуральних матеріалів, синтетичні полімери не піддаються повноцінному біологічному розкладанню, а лише фрагментуються на мікропластикові частинки, що зберігаються в навколишньому середовищі десятиліттями.

Синтетичні волокна, зокрема поліестер і поліамід, можуть зберігатися у природному середовищі від 50 до 200 років, поступово деградуючи під впливом механічних і кліматичних факторів. У процесі такого розкладання утворюються мікро- та нанопластикові частинки, які здатні мігрувати у ґрунтові та водні екосистеми.

Порівняльну характеристику тривалості розкладання основних матеріалів, що застосовуються у виробництві спортивних шкарпеток, наведено в таблиці 2.7.

Орієнтовна тривалість розкладання матеріалів у складі спортивних шкарпеток

Тип матеріалу	Приклад волокон	Орієнтовна тривалість розкладання
Натуральні	Бавовна, вовна	Від кількох місяців до кількох років
Синтетичні	Поліестер, поліамід	50–200 років
Еластичні	Еластан	Понад 100 років
Змішані матеріали	Натуральні + синтетичні	Залежить від домінуючого волокна

Як видно з таблиці 2.7, саме синтетичні та еластичні компоненти визначають довготривалі екологічні наслідки утилізації спортивних шкарпеток.

Екологічні ризики тривалого накопичення текстильних відходів

Тривале накопичення відпрацьованих спортивних шкарпеток у навколишньому середовищі призводить до:

- поступового забруднення ґрунтів мікропластиком;
- вторинного забруднення водних ресурсів;
- утворення стійких полімерних залишків, що не включаються у природні біогеохімічні цикли.

З позиції інженерної екології особливо небезпечним є те, що процеси деградації синтетичних волокон є практично неконтрольованими та не супроводжуються повним руйнуванням полімерної структури.

Аналіз проблем утилізації спортивних шкарпеток показав, що багатокомпонентний матеріальний склад і тривалий період розкладання синтетичних волокон є ключовими чинниками екологічного навантаження на завершальному етапі життєвого циклу виробів. Відсутність ефективних систем збору та переробки зумовлює накопичення текстильних відходів і поширення мікропластику в навколишньому середовищі. Отримані результати підтверджують необхідність переходу до принципів сталого проектування, використання альтернативної

сировини та розробки технологій, спрямованих на зменшення екологічних наслідків утилізації, що буде детально розглянуто у третьому розділі роботи.

ВИСНОВКИ ДО РОЗДІЛУ 2

У другому розділі магістерської роботи здійснено комплексний аналіз екологічних проблем виробництва, експлуатації та утилізації спортивних шкарпеток для занять в екстремальних умовах з позицій технології легкої промисловості та інженерної екології. Дослідження охоплює всі ключові етапи життєвого циклу виробу — від виробничих процесів до завершення експлуатації, що дозволило об'єктивно оцінити джерела та масштаби екологічного навантаження.

У результаті аналізу технології виробництва встановлено, що спортивні шкарпетки для екстремальних умов є ресурсомістким продуктом, виготовлення якого супроводжується значним споживанням енергії, води та хімічних речовин. Найбільший екологічний вплив формується на етапах підготовки сировини, фарбування та фінішної обробки виробів, що підтверджує необхідність першочергової оптимізації саме цих технологічних процесів. Процеси в'язання та формування, хоча й менш водоемні, потребують удосконалення з точки зору енергоефективності та зменшення виробничих втрат.

Дослідження впливу виробничих процесів на довкілля показало, що енергоспоживання, водокористування та застосування хімічних речовин є взаємопов'язаними факторами, які формують сумарний екологічний слід виробництва спортивних шкарпеток. Надмірне використання водних ресурсів у поєднанні з утворенням забруднених стічних вод і високою енергоемністю термічних процесів створює значне навантаження на навколишнє середовище та інженерну інфраструктуру підприємств легкої промисловості.

Окрему увагу у розділі приділено проблемі утворення мікропластику, яка виявилася однією з ключових екологічних загроз, пов'язаних із використанням спортивних шкарпеток із синтетичних і змішаних волокон. Встановлено, що найбільший обсяг мікропластикових частинок утворюється не на стадії виробництва, а під час експлуатації виробів, зокрема в процесі прання та механічного зносу. Це свідчить про обмеженість суто виробничих заходів щодо зменшення

мікропластикового забруднення та необхідність комплексного підходу, який враховує умови використання продукції.

Аналіз екологічних аспектів експлуатації спортивних шкарпеток показав, що часте прання, інтенсивний знос і скорочення фактичного терміну служби виробів істотно збільшують їх екологічний слід. Водночас підвищена довговічність спортивних шкарпеток може розглядатися як екологічно доцільна характеристика, оскільки сприяє зменшенню обсягів текстильних відходів за рахунок подовження життєвого циклу виробів.

У ході дослідження проблем утилізації встановлено, що багатокomпонентний матеріальний склад спортивних шкарпеток суттєво ускладнює їх переробку після завершення експлуатації. Синтетичні та еластичні волокна, що входять до складу виробів, характеризуються тривалим періодом розкладання (від десятків до сотень років), у процесі якого відбувається накопичення мікропластику у ґрунтових і водних екосистемах. Відсутність ефективних систем збору та переробки панчішно-шкарпеткової продукції посилює довготривалі екологічні наслідки.

Таким чином, результати другого розділу підтверджують, що екологічні проблеми спортивних шкарпеток для екстремальних умов мають системний характер і не можуть бути вирішені лише шляхом локальних технологічних удосконалень. Вони потребують інтегрованого підходу, який поєднує оптимізацію виробничих процесів, зміну матеріального складу, подовження терміну експлуатації виробів і впровадження принципів сталого проєктування. Отримані наукові висновки створюють обґрунтовану основу для розробки практичних рішень зі зменшення екологічного впливу спортивних шкарпеток, які будуть запропоновані у третьому розділі магістерської роботи.

РОЗДІЛ 3. ШЛЯХИ ЗМЕНШЕННЯ ЕКОЛОГІЧНОГО ВПЛИВУ ТА ПЕРСПЕКТИВИ СТАЛОГО ВИРОБНИЦТВА СПОРТИВНИХ ШКАРПЕТОК

3.1. Застосування біобазованих аналогів поліестерів і поліамідів як передовий напрям зменшення екологічного впливу спортивних шкарпеток

Одним із найбільш перспективних і науково обґрунтованих напрямів зменшення екологічного впливу спортивних шкарпеток для занять в екстремальних умовах є заміна традиційних нафтохімічних синтетичних волокон на біобазовані аналоги, які зберігають необхідні експлуатаційні властивості, але мають істотно нижчий вуглецевий слід.

На відміну від повністю натуральних волокон, використання яких у спортивних шкарпетках обмежене через недостатню зносостійкість і стабільність форми, біобазовані полімери поєднують високі функціональні характеристики синтетичних матеріалів із частковим або повним походженням з відновлюваної сировини.

Біобазовані поліаміди на основі касторової рослини

Одним із найбільш технологічно зрілих прикладів біобазованих синтетичних волокон є поліаміди, отримані з касторової рослини (*Ricinus communis*). Сировиною для таких полімерів є касторова олія, яка не використовується у харчовій промисловості та може вирощуватися в регіонах з обмеженими водними ресурсами.

Біобазовані поліаміди цього типу є прямими функціональними аналогами традиційних поліамідів, що широко застосовуються у спортивних шкарпетках. З технологічної точки зору вони характеризуються:

- високою зносостійкістю;
- стабільністю розмірів;
- низьким водопоглинанням;
- хорошою сумісністю з еластичними волокнами.

Важливо підкреслити, що такі матеріали не потребують радикальної зміни технології в'язання, що є критично важливим для локального виробництва.

Біобазовані поліаміди можуть використовуватися у тих самих конструктивних зонах, що й традиційні поліаміди: у зоні стопи, п'яти, миска та ділянках підвищеного тертя.

З екологічної точки зору застосування поліамідів на основі касторової сировини дозволяє:

- зменшити залежність від нафтохімічної сировини;
- скоротити вуглецевий слід виробу;
- зберегти тривалий термін служби спортивних шкарпеток, що опосередковано зменшує утворення текстильних відходів.

Біобазовані поліестери з відновлюваної рослинної сировини

Іншим стратегічно важливим напрямом є використання **біобазованих поліестерів**, отриманих із відновлюваної рослинної сировини, зокрема цукрової тростини. Такі матеріали є функціональними аналогами традиційних поліефірних волокон і широко застосовуються у спортивному текстилі завдяки високій міцності та стабільності.

З технологічної точки зору біобазовані поліестери:

- зберігають механічні характеристики класичних поліестерів;
- придатні для використання у круглов'язальному обладнанні;
- забезпечують хорошу формостійкість виробів.

Особливо важливо, що біобазовані поліестери можуть застосовуватися у поєднанні з біобазованими поліамідами, формуючи нове покоління синтетичних, але частково відновлюваних матеріальних композицій для спортивних шкарпеток.

Порівняльна оцінка традиційної та біобазованої синтетичної сировини, яка наведена в таблиці 3.1.

Як видно з таблиці 3.1, біобазовані аналоги синтетичних волокон забезпечують збереження ключових експлуатаційних характеристик спортивних шкарпеток при одночасному зниженні екологічного навантаження.

Значення біобазованих синтетичних волокон для виробництва спортивних шкарпеток в Україні

Для локального виробництва в Україні застосування біобазованих аналогів поліамідів і поліестерів є реалістичним і технологічно обґрунтованим шляхом

екологізації, оскільки:

Таблиця 3.1.

Порівняльна характеристика традиційних і біобазованих синтетичних волокон для спортивних шкарпеток

Показник	Традиційні поліаміди та поліестери	Біобазовані аналоги
Походження сировини	Нафтохімічна	Відновлювана рослинна
Вуглецевий слід	Високий	Знижений
Зносостійкість	Висока	Висока
Сумісність з обладнанням	Повна	Повна
Перспективи сталості	Обмежені	Високі

- не потребує заміни основного обладнання;
- не змінює принципових схем в'язання;
- може впроваджуватися поетапно у преміальних або спеціалізованих лінійках продукції.

Такий підхід дозволяє українським виробникам інтегруватися у глобальні тенденції сталого розвитку без втрати конкурентоспроможності та функціональної якості виробів.

Заміна традиційних нафтохімічних поліестерів і поліамідів на біобазовані аналоги, отримані з касторової рослини та цукрової тростини, є одним із найбільш перспективних технологічних рішень для зменшення екологічного впливу спортивних шкарпеток. Такі матеріали забезпечують збереження високих експлуатаційних характеристик виробів і водночас сприяють скороченню вуглецевого сліду та залежності від невідновлюваних ресурсів. Отримані результати підтверджують доцільність використання біобазованих синтетичних волокон як базового елементу сталого розвитку панчішно-шкарпеткового виробництва.

3.2. Доцільність застосування вторинної сировини та перероблених волокон у виробництві спортивних шкарпеток

Одним із практично реалізованих напрямів зменшення екологічного впливу спортивних шкарпеток є використання вторинної сировини та перероблених синтетичних волокон, отриманих із промислових або споживчих полімерних відходів. На відміну від біобазованих матеріалів, застосування вторинної сировини спрямоване передусім на зменшення обсягів відходів та скорочення використання первинної нафтохімічної сировини, що є важливим чинником сталого розвитку текстильної галузі.

У виробництві спортивних шкарпеток для екстремальних умов вторинна сировина розглядається не як повна заміна традиційних матеріалів, а як функціонально обґрунтований компонент матеріальних композицій, використання якого потребує ретельної технологічної оцінки.

Види вторинної сировини, придатні для спортивних шкарпеток

Найбільш поширеними видами вторинної сировини у спортивному текстилі є перероблені поліефірні та поліамідні волокна, отримані шляхом механічної або хімічної переробки полімерних відходів. Такі волокна за своїми базовими фізико-механічними властивостями можуть бути наближені до первинних матеріалів, однак їх застосування у виробках з підвищеними експлуатаційними вимогами має певні обмеження.

З технологічної точки зору вторинні волокна доцільно використовувати:

- у зонах шкарпетки з помірним механічним навантаженням;
- у складі змішаних пряж з первинними або біобазованими волокнами;
- у виробках, де пріоритетом є зменшення екологічного сліду без критичного впливу на довговічність.

Технологічні особливості використання перероблених волокон.

Процеси переробки полімерних матеріалів можуть призводити до часткового зниження молекулярної маси полімерів, що відображається на міцності та зносостійкості волокон. У спортивних шкарпетках для екстремальних умов це має

принципове значення, оскільки вироби піддаються інтенсивному тертю, циклічним деформаціям і частому пранню.

З цієї причини вторинні волокна, як правило, не рекомендується застосовувати у критично навантажених зонах – у зоні п'яти, миска та підшви стопи. Натомість їх використання є доцільним у зоні пагомілка або у верхній частині стопи, де навантаження є менш інтенсивними.

Узагальнену характеристику доцільності застосування вторинних волокон у різних функціональних зонах спортивних шкарпеток наведено в **таблиці 3.2**.

Таблиця 3.2

Доцільність застосування вторинної сировини у функціональних зонах спортивних шкарпеток

Функціональна зона	Рівень навантаження	Доцільність застосування вторинних волокон
П'ята та мисок	Високий	Обмежена
Підшва стопи	Високий	Обмежена
Підйом стопи	Середній	Доцільна
Пагомілок	Низький	Висока

Як видно з таблиці 3.2, раціональне зонування матеріального складу дозволяє інтегрувати вторинну сировину без суттєвого погіршення експлуатаційних властивостей виробів.

Екологічні переваги та обмеження застосування вторинної сировини

З екологічної точки зору використання вторинної сировини у виробництві спортивних шкарпеток забезпечує:

- зменшення обсягів полімерних відходів;
- скорочення споживання первинної нафтохімічної сировини;
- зниження сумарного вуглецевого сліду продукції.

Водночас необхідно враховувати, що вторинні синтетичні волокна не вирішують проблему мікропластику, а лише перерозподіляють екологічне навантаження у часі. Тому їх застосування має розглядатися як перехідний етап на шляху до більш глибокої трансформації матеріальної бази спортивного текстилю.

Перспективи використання вторинної сировини в умовах локального виробництва

Для локального виробництва спортивних шкарпеток в Україні використання вторинної сировини є технологічно реалістичним рішенням, оскільки:

- не потребує кардинальної зміни обладнання;
- сумісне з існуючими схемами в'язання;
- може впроваджуватися поступово у межах окремих колекцій або серій.

Разом з тим ефективність такого підходу значною мірою залежить від якості вторинної сировини, стабільності постачання та контролю технологічних параметрів, що потребує підвищених вимог до управління виробничими процесами.

Застосування вторинної сировини та перероблених волокон у виробництві спортивних шкарпеток є доцільним з екологічної точки зору за умови раціонального зонування матеріального складу та обмеження їх використання у зонах максимального навантаження. Вторинні волокна дозволяють зменшити обсяги відходів і споживання первинної сировини, однак не можуть розглядатися як універсальне рішення екологічних проблем галузі. Отримані результати підтверджують доцільність комбінування вторинної, біобазованої та первинної синтетичної сировини у межах сталих конструктивно-технологічних рішень, що створює основу для подальшого вдосконалення виробничих процесів.

3.3. Удосконалення технологічних процесів з метою зменшення екологічного сліду виробництва спортивних шкарпеток

Екологічний слід виробництва спортивних шкарпеток для занять в екстремальних умовах формується не лише матеріальним складом виробів, але й сукупністю технологічних процесів, що реалізуються на етапах в'язання, формування та фінішної обробки. Для виробів, які експлуатуються в умовах інтенсивних механічних навантажень, підвищеної вологості та значних температурних коливань, технологія виготовлення повинна забезпечувати високу зносостійкість, стабільність форми та функціональність. Водночас традиційні виробничі схеми супроводжуються

значним споживанням енергії, води та хімічних речовин, що зумовлює необхідність їх удосконалення з позицій сталого розвитку.

Одним із ключових напрямів зменшення екологічного навантаження є оптимізація процесів в'язання спортивних шкарпеток на сучасному круглов'язальному обладнанні з програмним керуванням. Реалізація функціонального зонування виробів без додаткових швейних операцій дозволяє скоротити кількість технологічних переходів, зменшити втрати сировини та мінімізувати обсяги текстильних відходів. Як узагальнено в таблиці 3.3, удосконалення конструктивно-технологічних рішень позитивно впливає як на екологічні показники виробництва, так і на експлуатаційні властивості готових виробів.

Таблиця 3.3

Вплив удосконалення технологічних процесів на екологічний слід
виробництва спортивних шкарпеток

Технологічний процес	Традиційний підхід	Удосконалений підхід	Екологічний ефект
В'язання	Стандартна структура полотна	Функціональне зонування	Зменшення відходів пряжі
Формування	Додаткові швейні операції	Малошовні технології	Менше енергоспоживання
Термічна стабілізація	Високотемпературні режими	Оптимізовані режими	Зниження споживання енергії
Фінішне прання	Одноразове використання води	Частково замкнений цикл	Зменшення водокористування

Вагомий екологічний ефект забезпечує також удосконалення фінішних процесів, зокрема термічної стабілізації та прання готових виробів. Застосування оптимізованих температурних режимів і скорочення тривалості технологічних циклів дозволяє знизити енергоспоживання без погіршення експлуатаційних характеристик спортивних шкарпеток. Крім того, впровадження частково замкнених систем водокористування сприяє зменшенню обсягів стічних вод та навантаження на очисні споруди.

Для наочного відображення ефекту від удосконалення технологічних процесів доцільно використати графік зменшення екологічного навантаження, який демонструє зміну рівнів енергоспоживання та водокористування при переході від традиційної до оптимізованої технології виробництва (рис. 3.1).

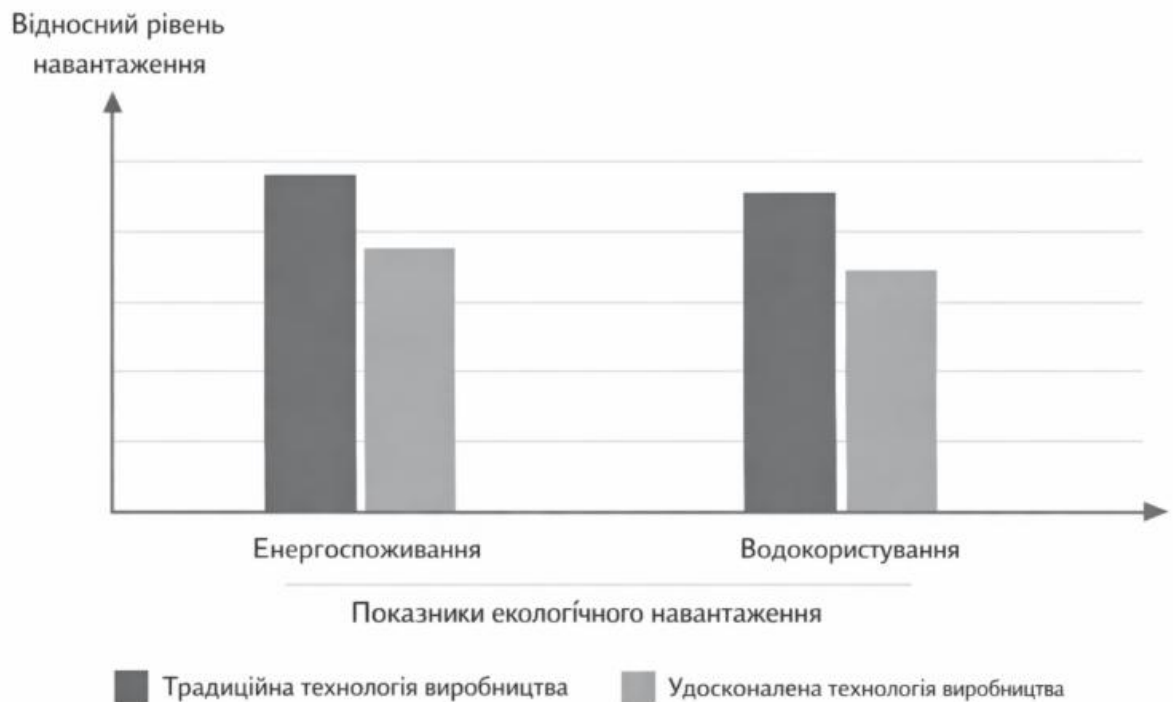


Рис. 3.1. Порівняльна характеристика екологічного навантаження традиційної та удосконаленої технології виробництва спортивних шкарпеток

Зменшення хімічного навантаження є ще одним важливим напрямом удосконалення технологічних процесів. Використання хімічних препаратів, сертифікованих відповідно до міжнародних екологічних стандартів (Oeko-Tex®, bluesign®, ISO 14001), дозволяє знизити токсичність стічних вод і підвищити безпечність продукції для споживача. Для спортивних шкарпеток, які перебувають у тривалому контакті зі шкірою та піддаються багаторазовому пранню, цей аспект має принципове значення.

Раціоналізація технологічних процесів повинна також враховувати вплив на тривалість життєвого циклу виробів. Підвищення точності формування, стабільності

розмірів і зносостійкості полотна сприяє подовженню терміну експлуатації спортивних шкарпеток, що з екологічної точки зору дозволяє зменшити сумарний обсяг вироблених і утилізованих виробів протягом життєвого циклу.

Узагальнення взаємозв'язку між технологічними процесами, ресурсоспоживанням і екологічним ефектом представлено в таблиці 3.4, що підтверджує доцільність поетапного впровадження удосконалених технологій у виробництві спортивних шкарпеток для екстремальних умов.

Таблиця 3.4

Взаємозв'язок технологічних удосконалень та екологічного ефекту

Напрямок удосконалення	Основний ресурс	Очікуваний ефект
Оптимізація в'язання	Сировина	Менше текстильних відходів
Зниження температур обробки	Енергія	Зменшення CO ₂ -викидів
Замкнені водні цикли	Вода	Скорочення водокористування
Контроль хімічних обробок	Хімічні речовини	Менше токсичних стоків

Таким чином, удосконалення технологічних процесів виробництва спортивних шкарпеток для екстремальних умов є ефективним інструментом зменшення екологічного сліду без втрати функціональних властивостей продукції. Поєднання технологічної оптимізації, скорочення ресурсоспоживання та підвищення довговічності виробів формує науково обґрунтовану основу для сталого розвитку панчішно-шкарпеткової галузі та логічно доповнює застосування біобазованої й вторинної сировини, розглянуте у попередніх підрозділах.

3.4. Досвід сталого виробництва спортивних шкарпеток у світових брендів

Розвиток сталого виробництва спортивних шкарпеток у світовій практиці зумовлений необхідністю поєднання високих експлуатаційних характеристик виробів із зменшенням їх негативного впливу на довкілля. Для продукції, призначеної для екстремальних умов експлуатації, це завдання є особливо складним, оскільки такі

вироби повинні забезпечувати підвищену зносостійкість, стабільність форми, ефективне відведення вологи та терморегуляцію. Саме тому провідні світові виробники спортивних шкарпеток зосереджують увагу не на відмові від синтетичних матеріалів як таких, а на системному впровадженні сталих технологічних і матеріальних рішень.

Аналіз досвіду світових брендів показує, що сталий підхід у виробництві спортивних шкарпеток формується на основі кількох взаємопов'язаних напрямів: використання біобазованої та вторинної сировини, оптимізація технологічних процесів, зменшення ресурсоспоживання та подовження життєвого циклу виробів. При цьому ключовим є збереження функціональної якості продукції, що визначає її придатність для тривалого використання в умовах підвищених навантажень.

У практиці світових виробників значна увага приділяється використанню альтернативних синтетичних волокон із відновлюваної сировини, зокрема біобазованих поліамідів на основі касторової рослини та біобазованих поліестерів із рослинної сировини. Такі матеріали застосовуються у виробках преміального та професійного сегментів, де екологічний чинник поєднується з вимогами до максимальної довговічності. Паралельно активно впроваджується вторинна сировина, переважно у зонах виробів із середнім і низьким рівнем механічного навантаження.

Важливою складовою сталого підходу є технологічна оптимізація виробництва, яка передбачає зменшення кількості операцій, застосування малошовних конструкцій, скорочення енергомістких етапів та впровадження замкнених або частково замкнених систем водокористування. Такий підхід дозволяє зменшити екологічний слід без суттєвих змін у базовій виробничій інфраструктурі, що є критично важливим і для локальних виробників.

Узагальнену характеристику основних напрямів сталого виробництва спортивних шкарпеток, що застосовуються у світовій практиці, наведено в таблиці 3.5, яка відображає зв'язок між технологічними рішеннями та їх екологічним ефектом.

Як видно з таблиці 3.5, провідні світові бренди розглядають сталість не як

окрему характеристику матеріалу, а як результат інтегрованого підходу, що охоплює матеріальний склад, технологію виробництва та експлуатаційні властивості виробів.

Таблиця 3.5

Основні напрями сталого виробництва спортивних шкарпеток у світових брендів

Напрямок сталого розвитку	Технологічна сутність	Екологічний ефект	Доцільність для екстремальних умов
Біобазовані синтетичні волокна	Поліаміди та поліестери з відновлюваної сировини	Зниження вуглецевого сліду	Висока
Вторинна сировина	Перероблені полімерні волокна	Скорочення відходів	Середня–висока
Функціональне зонування	Інтеграція властивостей у процесі в'язання	Менше матеріалів і операцій	Висока
Оптимізація фінішних процесів	Зниження температур, водоспоживання	Менше енергії та води	Висока
Подовження життєвого циклу	Підвищена зносостійкість	Менше відходів у перспективі	Висока

Для наочного відображення цього підходу доцільним є використання схеми інтегрованої моделі сталого виробництва спортивних шкарпеток, яка демонструє взаємозв'язок між вибором сировини, технологічними процесами, тривалістю експлуатації та екологічними наслідками. Така схема дозволяє показати, що зменшення екологічного навантаження досягається не одним фактором, а їх сукупною дією (рис. 3.2).

Аналіз світового досвіду свідчить, що сталий розвиток у виробництві спортивних шкарпеток орієнтований не на максимальне спрощення виробів, а на оптимізацію співвідношення між довговічністю, функціональністю та екологічною відповідальністю. Для виробів, призначених для екстремальних умов, саме

подовження терміну служби є одним із найефективніших шляхів зменшення сумарного екологічного сліду.



Рис. 3.2. Інтегрована модель сталого виробництва спортивних шкарпеток у світоїй практиці

Отримані результати мають практичне значення для адаптації світового досвіду в умовах українського виробництва. Більшість розглянутих підходів не потребують радикальної модернізації обладнання та можуть бути впроваджені поетапно — через оптимізацію технологічних режимів, зміну матеріального складу та вдосконалення конструкції виробів. Це створює передумови для формування конкурентоспроможного та екологічно орієнтованого виробництва спортивних шкарпеток в Україні.

3.5. Перспективи впровадження сталих рішень у локальне виробництво спортивних шкарпеток в Україні

Перспективи впровадження сталих рішень у локальне виробництво спортивних

шкарпеток в Україні визначаються поєднанням технологічних можливостей підприємств, доступністю сировини, рівнем модернізації обладнання та економічною доцільністю змін. Для спортивних шкарпеток, призначених для експлуатації в екстремальних умовах, сталий підхід повинен забезпечувати не лише зменшення екологічного навантаження, а й збереження високих функціональних характеристик виробів, що є критично важливим для конкурентоспроможності продукції.

Аналіз сучасного стану української панчішно-шкарпеткової галузі свідчить, що більшість підприємств використовують технологічні схеми, які можуть бути адаптовані до принципів сталого виробництва без повної заміни обладнання. Це створює передумови для поетапного впровадження екологічно орієнтованих рішень, зокрема через оптимізацію технологічних режимів, зміну матеріального складу виробів і підвищення ефективності використання ресурсів.

Одним із найбільш реалістичних напрямів є часткова заміна традиційної синтетичної сировини на біобазовані та вторинні волокна, які вже були розглянуті у попередніх підрозділах. Для локального виробництва доцільним є комбінування таких матеріалів із первинними синтетичними волокнами у межах функціонального зонування виробів. Це дозволяє зменшити екологічний слід без ризику втрати зносостійкості та експлуатаційної надійності спортивних шкарпеток.

Не менш важливим є удосконалення технологічних процесів, яке в умовах українських підприємств може здійснюватися шляхом впровадження програмного керування в'язальним обладнанням, оптимізації фінішної обробки та поступового переходу до ресурсоефективних режимів прання і термічної стабілізації. Такі зміни не потребують значних капіталовкладень, але забезпечують зменшення енергоспоживання та водокористування, що є суттєвим з огляду на зростання вартості енергоресурсів.

Подовження життєвого циклу спортивних шкарпеток є ще одним перспективним напрямом сталого розвитку локального виробництва. Підвищення зносостійкості виробів, стабільності їх форми та якості фінішної обробки дозволяє збільшити фактичний термін експлуатації, що з екологічної точки зору зменшує потребу у виробництві нових одиниць продукції та скорочує обсяги текстильних

відходів. У цьому контексті інвестиції у якість виробу можуть розглядатися як інструмент екологічної оптимізації.

Узагальнену характеристику основних сталих рішень, які можуть бути впроваджені у локальне виробництво спортивних шкарпеток в Україні, наведено в таблиці 3.6, що відображає їх технологічну та екологічну доцільність.

Таблиця 3.6

Перспективні сталі рішення для локального виробництва спортивних шкарпеток в Україні

Напрямок впровадження	Сутність рішення	Очікуваний екологічний ефект	Реалістичність впровадження
Біобазована сировина	Часткова заміна синтетики	Зниження вуглецевого сліду	Середня
Вторинна сировина	Перероблені полімерні волокна	Скорочення відходів	Висока
Оптимізація в'язання	Функціональне зонування	Менше втрат матеріалу	Висока
Енергоефективна фінішна обробка	Зниження температур і часу	Зменшення енергоспоживання	Середня–висока
Подовження життєвого циклу	Підвищення зносостійкості	Менше текстильних відходів	Висока

Як видно з таблиці 3.6, більшість сталих рішень можуть бути реалізовані в умовах українського виробництва поетапно, без радикальної модернізації підприємств, що є важливим фактором для галузі, яка функціонує в умовах економічної нестабільності.

Для наочного відображення перспектив впровадження сталих рішень доцільним є використання схеми адаптації світового досвіду сталого виробництва до умов локальної промисловості України, яка демонструє взаємозв'язок між наявними технологічними можливостями, вибором матеріалів і очікуваним екологічним ефектом (рис. 3.3).



Рис. 3.3. Схема адаптації сталих рішень до локального виробництва спортивних шкарпеток в Україні

Таким чином, перспективи впровадження сталих рішень у локальне виробництво спортивних шкарпеток в Україні ґрунтуються на поєднанні технологічної доцільності, економічної обґрунтованості та екологічної ефективності. Поетапна адаптація світового досвіду, орієнтована на реальні можливості підприємств, дозволяє сформувати стійку модель розвитку галузі, яка поєднує конкурентоспроможність продукції з відповідальним ставленням до довкілля.

ВИСНОВКИ ДО РОЗДІЛУ 3

1. У третьому розділі роботи комплексно обґрунтовано шляхи зменшення екологічного впливу виробництва спортивних шкарпеток для експлуатації в екстремальних умовах на основі сучасних матеріалознавчих і технологічних підходів. Проведений аналіз підтвердив, що сталий розвиток у даному сегменті легкої промисловості має реалізовуватися не шляхом відмови від функціональних синтетичних матеріалів, а через їх раціональну трансформацію, часткову заміну та технологічну оптимізацію.

2. Доведено доцільність використання біобазованих аналогів поліамідів і поліестерів, отриманих із відновлюваної сировини, які забезпечують збереження ключових експлуатаційних властивостей спортивних шкарпеток — зносостійкості, стабільності форми та ефективного вологовідведення — за одночасного зменшення вуглецевого сліду виробів. Застосування таких матеріалів є найбільш ефективним у поєднанні з принципами функціонального зонування конструкції, що дозволяє оптимізувати використання сировини відповідно до навантажень у різних ділянках виробу.

3. У підрозділах розділу обґрунтовано, що вторинна сировина та перероблені волокна можуть бути успішно інтегровані у виробництво спортивних шкарпеток за умови їх цільового застосування в конструктивних зонах із помірними експлуатаційними навантаженнями. Такий підхід дозволяє зменшити кількість полімерних відходів і загальне ресурсоспоживання без погіршення функціональних характеристик виробів, що є принципово важливим для продукції екстремального призначення.

4. Встановлено, що удосконалення технологічних процесів — оптимізація режимів в'язання, скорочення енергомістких операцій, зниження температур і тривалості фінішної обробки, а також впровадження енерго- та водоощадних рішень — є одним із найбільш реалістичних і економічно обґрунтованих шляхів зменшення екологічного сліду виробництва. Запропоновані технологічні зміни можуть бути впроваджені поетапно та не потребують повної модернізації виробничих ліній.

5. Аналіз світового досвіду сталого виробництва спортивних шкарпеток показав, що провідні виробники розглядають екологічність як результат інтегрованої системи, яка охоплює матеріальний склад, технологічні процеси, експлуатаційні властивості та подовження життєвого циклу продукції. Саме тривалість експлуатації виробу виявляється одним із ключових чинників зменшення сумарного екологічного навантаження.

6. Обґрунтовано перспективи впровадження сталих рішень у локальне виробництво спортивних шкарпеток в Україні, з урахуванням наявного обладнання, технологічних можливостей та економічних обмежень. Визначено, що адаптація світових сталих практик до умов української промисловості можлива шляхом комбінування біобазованої, вторинної та традиційної сировини, оптимізації виробничих режимів і підвищення якості та довговічності готових виробів.

7. Таким чином, результати третього розділу підтверджують, що сталий підхід до виробництва спортивних шкарпеток для екстремальних умов є технологічно досяжним і практично реалізовним. Запропоновані матеріальні та технологічні рішення створюють науково обґрунтовану основу для зниження екологічного впливу галузі без компромісів щодо функціональності та надійності продукції, що забезпечує їх практичну цінність для подальшого розвитку легкої промисловості.

ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ

Проведено комплексне дослідження екологічних проблем виробництва та експлуатації спортивних шкарпеток для екстремальних умов з урахуванням вимог до функціональності, довговічності та сталого розвитку легкої промисловості.

1. Обґрунтовано розгляд спортивних шкарпеток як складної техніко-технологічної системи, екологічний вплив якої формується на всіх етапах життєвого циклу - від вибору сировини до утилізації.

2. Встановлено, що домінування синтетичних і змішаних волокон зумовлене високими експлуатаційними навантаженнями, однак саме ці матеріали формують найбільше екологічне навантаження.

3. Доведено, що раціональне поєднання синтетичних волокон із натуральними, біобазованими та вторинними матеріалами є оптимальним підходом для збереження експлуатаційних властивостей і зменшення екологічного сліду.

4. Виявлено основні джерела екологічного навантаження у виробництві, пов'язані з енергоспоживанням, водокористуванням і використанням хімічних речовин на етапах фарбування та фінішної обробки.

5. Підтверджено, що під час експлуатації спортивних шкарпеток відбувається утворення мікропластику, який через стічні води потрапляє у природні екосистеми.

6. Встановлено, що традиційні методи утилізації є малоефективними через тривалий період розкладання синтетичних матеріалів.

7. Обґрунтовано ефективність використання біобазованих аналогів поліамідів і поліестерів, а також вторинної сировини як інструментів зменшення екологічного навантаження.

8. Доведено доцільність оптимізації режимів в'язання, формування та фінішної обробки для зниження енергоспоживання й водокористування.

9. Розроблено узагальнену модель сталого виробництва спортивних шкарпеток, адаптовану до можливостей локальних підприємств України.

10. Показано, що запропоновані рішення можуть бути впроваджені поетапно без кардинальної модернізації виробничих потужностей.

НАУКОВА НОВИЗНА

1. Вперше спортивні шкарпетки для екстремальних умов розглянуто як об'єкт інтегрованої екологічної оцінки.
2. Систематизовано екологічні проблеми з урахуванням утворення мікропластику та тривалого розкладання матеріалів.
3. Обґрунтовано доцільність використання біобазованих і вторинних волокон у виробках для екстремальних умов.
4. Запропоновано адаптовану модель сталого виробництва для українських підприємств.

ПРАКТИЧНЕ ЗНАЧЕННЯ

1. Рекомендовані рішення можуть бути використані у серійному виробництві спортивних шкарпеток.
2. Результати доцільно застосовувати для оптимізації технологічних процесів.
3. Матеріали можуть бути використані для формування технічних завдань.
4. Робота може бути використана в освітньому процесі.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Textile Exchange. Preferred Fiber & Materials Market Report. — Textile Exchange, 2023.
2. Ellen MacArthur Foundation. A New Textiles Economy: Redesigning Fashion's Future. — Cowes, UK, 2017.
3. ISO 14040:2006. Environmental management — Life cycle assessment — Principles and framework.
4. ISO 14044:2006. Environmental management — Life cycle assessment — Requirements and guidelines.
5. ISO 14001:2015. Environmental management systems — Requirements with guidance for use.
6. OEKO-TEX®. Standard 100 by OEKO-TEX® — Product class definitions and requirements. — OEKO-TEX®, 2022.
7. Global Recycled Standard (GRS). Global Recycled Standard, Version 4.0. — Textile Exchange, 2021.
8. bluesign®. The bluesign® system — Sustainable textile production. — bluesign technologies ag, 2022.
9. European Commission. Environmental Footprint Category Rules: Apparel and Footwear. — Brussels, 2018.
10. Shen, L., Worrell, E., Patel, M. Environmental impact assessment of man-made cellulose fibres. — *Resources, Conservation and Recycling*, 2010.
11. Napper, I. E., Thompson, R. C. Release of synthetic microplastic fibres from domestic washing machines. — *Marine Pollution Bulletin*, 2016.
12. De Falco, F., Gullo, M. P., Gentile, G. et al. Evaluation of microplastic release caused by textile washing processes. — *Environmental Pollution*, 2018.
13. La Rosa, A. D., Recca, A., Gagliano, A. Environmental impacts and thermal insulation performance of bio-based textiles. — *Journal of Cleaner Production*, 2014.
14. Muthu, S. S. Sustainability in the Textile Industry. — Springer, Singapore, 2017.
15. Blackburn, R. S. Sustainable Textiles: Life Cycle and Environmental Impact. — Woodhead Publishing, 2009.

16. Wang, L., Chang, X., Chen, X. Life cycle assessment of textile products: A review. — *Journal of Cleaner Production*, 2020.
17. Kozłowski, R., Mackiewicz-Talarczyk, M. Handbook of Natural Fibres: Processing and Applications. — Woodhead Publishing, 2012.
18. Slater, K. Environmental Impact of Textiles: Production, Processes and Protection. — Woodhead Publishing, 2003.
19. European Apparel and Textile Confederation (EURATEX). Sustainability and Circular Economy in the Textile Sector. — Brussels, 2021.
20. Fletcher, K. Sustainable Fashion and Textiles: Design Journeys. — Earthscan, London, 2014.
21. Holmberg, K., Erdemir, A. Influence of tribology on sustainability of textiles. — *Tribology International*, 2017.
22. United Nations Environment Programme (UNEP). Sustainability and Circularity in the Textile Value Chain. — UNEP, 2020.
23. ISO 3758:2012. Textiles — Care labelling code using symbols.
24. ISO 1833 (series). Textiles — Quantitative chemical analysis.
25. European Parliament. Circular economy action plan for textiles. — Brussels, 2022.