

ХЕРСОНСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
ФАКУЛЬТЕТ ІНТЕГРОВАНИХ ТЕХНОЛОГІЙ
Кафедра товарознавства, стандартизації та сертифікації

КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА БАКАЛАВРА

на тему:

**«УДОСКОНАЛЕННЯ ТЕХНОЛОГІЙ ОЦІНКИ ВОРСИСТОСТІ
ТЕКСТИЛЬНИХ МАТЕРІАЛІВ ДЛЯ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ЯКОСТІ
ПРОДУКЦІЇ»**

Виконала: здобувачка 3 курсу, групи
ЗЛПст(с)/3

спеціальності 182 – Технології легкої
промисловості

Михайлова В.С.

Керівник: Євтушенко В.В.

Рецензент: Артеменко М.П.

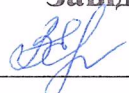
Хмельницький – 2026 року

ХЕРСОНСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

Факультет	інтегрованих технологій
Кафедра	товарознавства, стандартизації та сертифікації
Освітній рівень	перший (бакалаврський) рівень вищої освіти
Спеціальність	182 – Технології легкої промисловості
Освітньо-професійна програма	стандартизація та сертифікація виробів

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри

 **Валентина ЄВТУШЕНКО**

« 19 » січня 2026 року

ЗАВДАННЯ НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ БАКАЛАВРА

МИХАЙЛОВОЇ ВІКТОРІЇ СТЕПАНІВНИ

1. Тема роботи «Удосконалення технологій оцінки ворсистості текстильних матеріалів для забезпечення якості продукції»
керівник роботи к.т.н., доцент Євтушенко В.В.

затверджена наказом вищого навчального закладу від « 16 » січня 2026 року № 87-с

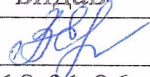
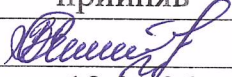
2. Строк подання студентом роботи 01.06.2026р.

3. Вихідні дані до роботи матеріали переддипломної практики, дані науково-технічної літератури, періодичних видань та інтернет-сайтів.

4. Зміст розрахунково-пояснювальної записки (перелік питань, які потрібно розробити) теоретичні основи оцінки ворсистості текстильних матеріалів; дослідження ворсистості текстильних матеріалів; охорона праці

5. Перелік графічного матеріалу (з точним зазначенням обов'язкових креслень) – робота містить 7 рисунків та 5 таблиць

6. Консультанти розділів роботи

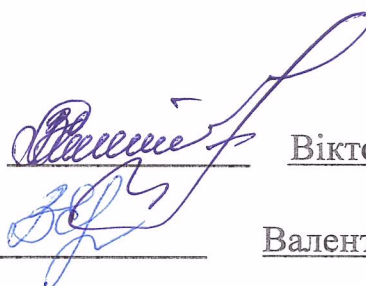
Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв
1 - 3	Євтушенко В.В., доцент	 19.01.26р.	 19.01.26р.

7. Дата видачі завдання 19.01.2026р.

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

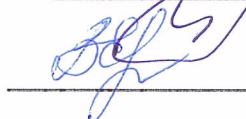
№ з/п	Назва етапів кваліфікаційної роботи	Строк виконання етапів роботи	Примітка
1	Збір і аналіз літературних джерел, складання плану роботи	19.01. – 15.02.2026р.	
2	Написання теоретичної частини	16.02.2026р. – 20.03.2026р.	
3	Виконання практичної частини (аналіз, дослідження)	21.03.2026р. – 10.05.2026р.	
4	Оформлення роботи відповідно до вимог	11.05.2026р. – 01.06.2026р.	
5	Підготовка до захисту (презентація, доповідь)	відповідно до графіку	

Здобувач



Вікторія МИХАЙЛОВА

Керівник роботи



Валентина ЄВТУШЕНКО

АНОТАЦІЯ

У кваліфікаційній роботі проведено аналіз ворсистості як ключового показника структурної стабільності та споживчих властивостей текстильних полотен. У роботі систематизовано теоретичні основи формування поверхневих характеристик текстилю, досліджено вплив сировинного складу на інтенсивність міграції волокон та обґрунтовано необхідність переходу до об'єктивних методів інструментальної оцінки ворсистості.

Об'єктом дослідження є процес формування ворсового шару на поверхні текстильних матеріалів; предметом - методика оцінки ворсистості та її вплив на експлуатаційні властивості тканин.

Проведені експериментальні дослідження полягали в апробації та адаптації вдосконаленої методики, яка базується на інтеграції вагового аналізу з оптичною мікроскопією. Дослідження було розширено на матеріали іншого сировинного складу, що дозволило встановити нові закономірності міграції волокон та підвищити точність прогнозування здатності тканин до утворення ворсу.

Результати роботи мають теоретичне значення для розвитку текстильного матеріалознавства та практичну цінність для підприємств легкої промисловості. Запропоновані підходи дають змогу вдосконалити процеси проектування виробів та оптимізувати систему внутрішньовиробничого контролю якості.

Ключові слова: ворсистість, структура, міграція волокон, ваговий метод.

ABSTRACT

The qualification work analyzed pile as a key indicator of structural stability and consumer properties of textile fabrics. The work systematized the theoretical foundations of the formation of surface characteristics of textiles, investigated the influence of raw material composition on the intensity of fiber migration, and justified the need to transition to objective methods of instrumental assessment of pile.

The object of the study is the process of formation of a pile layer on the surface of textile materials; the subject is the methodology for assessing pile and its influence on the operational properties of fabrics.

The conducted experimental studies consisted in testing and adapting an improved methodology based on the integration of weight analysis with optical microscopy. The study was expanded to materials of a different raw material composition, which allowed to establish new patterns of fiber migration and increase the accuracy of predicting the ability of fabrics to pile formation.

The results of the work are of theoretical importance for the development of textile materials science and practical value for light industry enterprises. The proposed approaches allow to improve product design processes and optimize the system of in-house quality control.

Keywords: pile, structure, fiber migration, weight method.

ЗМІСТ

ВСТУП	7
РОЗДІЛ 1 ТЕОРЕТИЧНІ ОСНОВИ ОЦІНКИ ВОРСИСТОСТІ ТЕКСТИЛЬНИХ МАТЕРІАЛІВ	9
1.1 Характеристика поверхневих властивостей текстильних матеріалів	9
1.2 Ворсистість як показник якості текстильних матеріалів	12
1.3 Фактори, які впливають на ворсистість тканин і трикотажу	14
1.4 Методи оцінки ворсистості текстильних матеріалів	20
РОЗДІЛ 2 ДОСЛІДЖЕННЯ ВОРСИСТОСТІ ТЕКСТИЛЬНИХ МАТЕРІАЛІВ	22
2.1 Методика дослідження ворсистості текстильних матеріалів	22
2.2 Загальна характеристика зразків текстильних матеріалів, обраних для дослідження	27
2.3 Оцінка ворсистості текстильних матеріалів ваговим методом	29
2.4 Аналіз впливу ворсистості на якість текстильної продукції	36
РОЗДІЛ 3 ОХОРОНА ПРАЦІ	43
3.1 Аналіз умов праці в лабораторії для дослідження текстильних матеріалів	43
3.2 Організаційні заходи забезпечення безпеки: система проведення інструктажів	46
ВИСНОВКИ	51
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ	53

ВСТУП

Сучасний етап розвитку текстильної галузі характеризується жорсткою конкуренцією, в якій якість продукції характеризується не лише фізико-механічними показниками, а й тактильними властивостями та довговічністю поверхні виробів.

Серед чинників, які формують ці характеристики, ключове місце посідає структурна цілісність волокнистого шару. Будь-які відхилення у цій структурі - процес, який у матеріалознавстві класифікується як ворсистість - стають визначальними для споживчих властивостей текстильного полотна, тому дослідження динаміки міграції волокон на поверхню тканини набуває особливої актуальності. Надмірна міграція волокон призводить до зниження товарного вигляду та погіршення ергономічних характеристик, що ускладнює прогнозування зносостійкості та пілінгуємості виробів. Враховуючи те, що наявні методи аналізу часто не забезпечують достатньої об'єктивності, удосконалення методології оцінки ворсистості стає необхідною передумовою для ефективного проектування сучасного текстилю.

Метою роботи є удосконалення технологічних підходів та методів об'єктивної оцінки ворсистості текстильних матеріалів для забезпечення високої якості готової продукції. Для досягнення поставленої мети необхідно виконати такі завдання:

- проаналізувати сучасний стан досліджень поверхневих властивостей текстилю та визначити фактори, які стимулюють ворсоутворення;
- адаптувати ваговий метод дослідження ворсистості до особливостей сучасних текстильних полотен;
- експериментально визначити вплив сировинного складу на інтенсивність міграції волокон у структурі тканини;
- проаналізувати зв'язок між ворсистістю та якісними характеристиками виробів;

- розробити пропозиції щодо оптимізації процесів проектування та контролю якості текстилю;
- проаналізувати безпеку праці в лабораторних умовах при проведенні експериментальних досліджень.

Об'єкт дослідження - процес формування ворсового шару на поверхні текстильних матеріалів. Предмет дослідження - методика оцінки ворсистості та її вплив на експлуатаційні властивості тканин.

У роботі використано комплексний підхід, що включає:

- теоретичні методи - аналіз та узагальнення літературних джерел, метод порівняння;
- експериментальні методи - інструментальна мікроскопія для аналізу полотна, ваговий метод для визначення масової частки ворсу;
- математичні методи - методи математичної статистики для обробки результатів вимірювань та визначення достовірності даних.

Інформаційну базу дослідження склали праці провідних вітчизняних та закордонних науковців у галузі текстильного матеріалознавства, нормативна документація (ДСТУ, ДБН, ДСН), результати власних експериментальних досліджень, проведених у лабораторії кафедри товарознавства, стандартизації та сертифікації ХНТУ, а також технічна документація на сучасне вимірювальне обладнання.

Практичне значення роботи полягає у можливості впровадження розроблених рекомендацій у виробництво для вибору раціональних режимів виготовлення тканин та оптимізації подальших технологічних операцій, що мінімізує виробничий брак та забезпечує відповідність продукції встановленим вимогам.

Очікуваним результатом дослідження є створення обґрунтованої системи контролю ворсистості, яка сприятиме підвищенню конкурентоспроможності вітчизняної текстильної продукції на ринку товарів широкого вжитку.

РОЗДІЛ 1 ТЕОРЕТИЧНІ ОСНОВИ ОЦІНКИ ВОРСИСТОСТІ ТЕКСТИЛЬНИХ МАТЕРІАЛІВ

1.1 Характеристика поверхневих властивостей текстильних матеріалів

Поверхневі властивості текстильних матеріалів - це сукупність структурно-геометричних та фізико-хімічних характеристик, які визначають їх зовнішній вигляд, особливості взаємодії із навколишнім середовищем, тілом людини та іншими поверхнями під час експлуатації.

Значення цих властивостей є визначальним для оцінки якості готових виробів, оскільки саме лицьова та виворітна поверхні тканини або трикотажу першими вступають у взаємодію з тілом людини, а також піддаються впливу зовнішніх чинників (вологи, тертя, світла, забруднень). Без урахування стану поверхні неможливо спроектувати комфортний одяг, забезпечити його зносостійкість або якісно провести процеси опорядження (фарбування, друк, апретування).

За характером свого прояву та призначенням ці властивості можна поділити на три основні групи (рис. 1.1).

1. Властивості, які визначають взаємодію із тілом людини (гігієнічні та сенсорні)

Ця група властивостей безпосередньо відповідає за фізіологічний комфорт, ергономіку одягу та формування мікроклімату у просторі між шкірою та тканиною. До цих властивостей можна віднести:

- гігроскопічність - здатність поверхні матеріалу поглинати водяну пару із повітря або з поверхні шкіри людини за умов підвищеної вологості й утримувати її;
- водо вбирання (водопоглинання) - здатність матеріалу вбирати краплиннорідку вологу (наприклад, піт) при безпосередньому контакті;

- капілярність - швидкість і висота підняття рідини по капілярах матеріалу. Висока капілярність забезпечує миттєве відведення вологи від тіла у зовнішні шари одягу для її подальшого випаровування;
- тактильне сприйняття (гриф матеріалу) - суб'єктивний комплекс відчуття (м'якість, жорсткість, тощо), які людина відчуває під час дотику або тертя матеріалу об шкіру;
- електризування - схильність матеріалу накопичувати на своїй поверхні статичні електричні заряди внаслідок фрикційного контакту (тертя) об тіло або інші шари одягу. Викликає дискомфорт, «прилипання» тканини та притягування пилу [1].

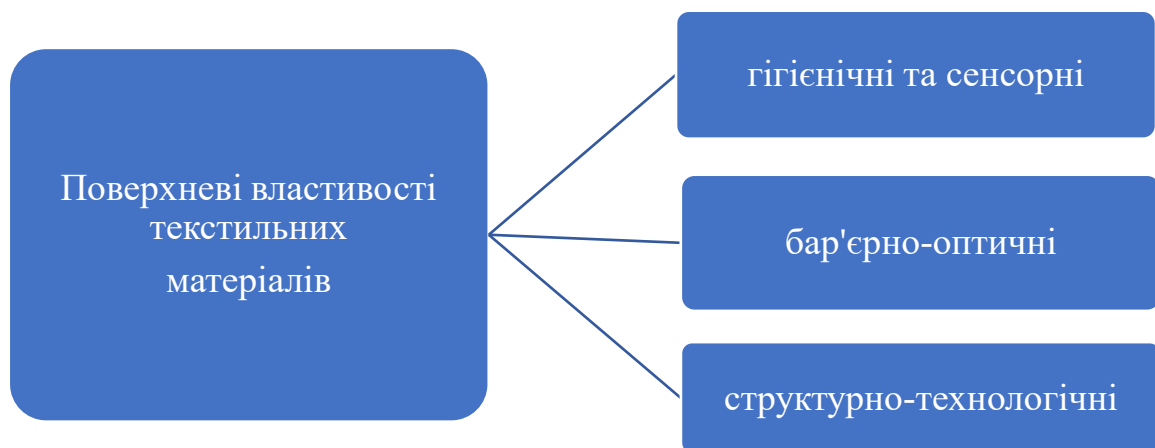


Рисунок 1.1 - Поверхневі властивості текстильних матеріалів

2. Властивості, які визначають взаємодію з навколишнім середовищем.

Ці параметри характеризують бар'єрні та оптичні функції поверхні текстилю під впливом атмосферних та експлуатаційних чинників, серед них слід виділити наступні:

- намочуваність - здатність поверхні змочуватися водою, тобто взаємодіяти із краплями води та забезпечувати їх розтікання по поверхні;
- водо тривкість - опір матеріалу проникненню води крізь його поверхню під тиском;

- пило ємність - здатність текстильного полотна утримувати на своїй поверхні пил та інші дрібні сухі часточки. Залежить від структури ниток — пухкі та ворсисті тканини забруднюються значно швидше за гладкі;
- блиск - це здатність поверхні матеріалу віддзеркалювати падаюче світло, унаслідок чого виникає характерний світловий ефект, який впливає на його зовнішній вигляд і декоративність. Рівень блиску визначається особливостями структури волокон, ступенем гладкості поверхні, видом переплетення та технологією обробки текстильного матеріалу [2].

3. Структурно-механічні та технологічні властивості поверхні.

Ці характеристики відображають будову лицьового шару матеріалу, його стійкість до механічного зношення, а також поведінку в процесах швейного виробництва. До них відносяться:

- ворсистість - наявність на поверхні полотна вільних або виведених кінчиків волокон, які утворюють ворсовий шар. Ця властивість визначає рівень м'якості та комфортності текстильного матеріалу, покращує його здатність утримувати тепло й формує особливості його зовнішньої фактури. Її вираженість залежить від типу використаних волокон, будови пряжі, характеру переплетення ниток і технологічної обробки матеріалу;
- стійкість до стирання (зносостійкість поверхні) - здатність матеріалу протистояти руйнуванню під дією сухого або вологого тертя. Зношування зазвичай починається з руйнування саме поверхневих ниток;
- пілінгування - процес утворення на поверхні полотна заплутаних грудочок волокон (пілей) внаслідок механічного тертя під час носіння;
- ковзкість - технологічна характеристика, яка визначає здатність шарів тканини зміщуватися один відносно одного під час розкрою та пошиття. Занадто високе ковзання (наприклад, у шовкових або капронових тканин) ускладнює обробку [3].

У результаті проведеного аналітичного огляду встановлено, що поверхневі властивості текстильних матеріалів є складною, взаємопов'язаною системою структурно-геометричних та фізико-хімічних параметрів, які локалізовані на

межі поділу фаз і відіграють домінуючу роль у формуванні загальної якості готових виробів. На відміну від об'ємно-масових характеристик текстильних матеріалів, саме будова та властивості його зовнішнього шару безпосередньо регулюють динаміку взаємодії «людина-одяг» та «одяг-навколишнє середовище».

Систематизація досліджуваних властивостей дозволила розділити їх на три функціональні блоки: гігієнічно-сенсорний, бар'єрно-оптичний та структурно-технологічний. Встановлено, що такі показники, як гігроскопічність, капілярність, намочуваність та стійкість до зношування, визначаються структурними особливостями та станом лицьової поверхні матеріалу. Тож контроль параметрів поверхні матеріалу є основою для створення зручного й довговічного одягу, а також для оптимізації процесів його розкроювання та пошиття.

Водночас встановлено, що більшість розглянутих поверхневих властивостей (тактильне сприйняття, пило ємність, ковзкість, схильність до пілінгування) визначаються структурою та густотою волокнистого покриву на поверхні тканини.

1.2 Ворсистість як показник якості текстильних матеріалів

Серед розглянутих вище поверхневих властивостей текстильних матеріалів особливе місце слід відвести групі структурно-механічних та технологічних характеристик поверхні, оскільки вони безпосередньо відображають анатомічну будову лицьового шару полотна і визначають його поведінку як у процесах швейного виробництва, так і під час безпосередньої експлуатації готових виробів. У межах цієї групи властивостей ключову роль відіграє саме ворсистість. Пріоритетність дослідження ворсистості зумовлена тим, що ця характеристика є найбільш динамічним, просторово вираженим та геометрично мінливим елементом структури зовнішнього шару текстилю [4]. Якщо інші параметри (наприклад, ковзкість або стійкість до стирання)

виявляються лише під дією значних зовнішніх механічних сил, то ворсистість формує первинний волокнистий бар'єр, який першим приймає на себе будь-які контактні навантаження та взаємодії.

Необхідність глибокого аналізу ворсистості як критичного індикатора якості текстилю диктується її прямим впливом на довговічність матеріалу. Будь-яке зношування одягу починається не з руйнування основних ниток переплетення, а з деформації, сплутування та виривання саме тих кінчиків волокон, які виступають над поверхнею. Локалізація, лінійна висота та густина розташування цих ворсинок визначають швидкість початку деструкції всього полотна, тому без детального вивчення ворсистого шару неможливо точно спрогнозувати життєвий цикл виробу [5]. Окрім цього, вільні кінчики волокон є безпосередньої основою для виникнення такого небажаного дефекту, як пілінгування. Надмірна й неконтрольована ворсистість призводить до того, що під дією навіть незначного тертя волокна швидко звалюються в заплутані грудочки (пілі), через що матеріал миттєво втрачає свій первинний товарний вигляд і естетичну цінність. Дослідження геометрії ворсу дозволяє розробити ефективні методи боротьби з цим явищем ще на стадії проектування тканин [5, 6].

Важливу роль ворсистість відіграє і у формуванні фізіологічного та тактильного мікроклімату під одягом, оскільки саме цей волокнистий прошарок утримує нерухоме повітря на поверхні полотна, регулюючи його теплоізоляційні властивості та визначаючи сенсорний комфорт — від приємної м'якості до відчуття колючості при контакті зі шкірою людини [7]. Разом із тим, рівень ворсистості слугує головним маркером стабільності самих технологічних процесів на виробництві. Аномально висока ворсистість ниток або готового полотна майже завжди свідчить про використання низькосортної сировини, зношеність вузлів обладнання або порушення режимів шліхтування й заправки верстатів [6]. На етапі виготовлення одягу надмірний ворс суттєво ускладнює процеси швейного виробництва, викликаючи непередбачуване ковзання шарів під час розкроювання, забивання механізмів швейних машин волокнистим

пилом та знижуючи чіткість і якість друку рисунків на тканині [4]. Таким чином, дослідження ворсистості є необхідним кроком для точного інженерного керування якістю текстилю, оскільки оцінка цього показника дозволяє одночасно вирішувати завдання підвищення стійкості полотна до зношування, оптимізації його гігієнічних функцій та прогнозування поведінки матеріалу в швейних цехах [8].

1.3 Фактори, які впливають на ворсистість тканин і трикотажу

Ворсистість текстильних матеріалів є багатофакторною характеристикою, яка безпосередньо зумовлює якість готового виробу, його естетичну привабливість та довговічність під час експлуатації. Сучасні наукові дослідження вказують на те, що формування ворсового шару є складним процесом, в якому тісно переплітаються технологічні умови виробництва, фізико-механічні властивості волокон та конструктивні особливості переплетення ниток. У зв'язку із високими вимогами споживачів до тактильного та візуального комфорту текстильних виробів, комплексне вивчення факторів, які стимулюють вихід вільних кінців волокон на поверхню полотна, стає фундаментом для розробки методів прогнозованого проектування тканин і трикотажу з наперед заданими характеристиками.

Аналіз сучасних наукових джерел дозволяє стверджувати, що ворсистість є однією з ключових структурних ознак текстилю, яка безпосередньо визначає його експлуатаційні та естетичні характеристики [9]. Ворсистість поверхні формується під впливом комплексу технологічних, фізико-хімічних та конструктивних факторів, які можна класифікувати за кількома напрямками.

Виникнення ворсистості є прямим наслідком механічного впливу на нитки в процесі їх перетворення на текстильне полотно. Ключовим етапом, що зумовлює формування поверхневого шару тканини, є робота ткацького верстата, під час роботи якого параметри заправки безпосередньо впливають на динаміку руху волокон.

У процесі формування тканини критичне значення має режим натягу ниток основи. Високий динамічний натяг у поєднанні з тертям об деталі заправки верстата призводить до мікроскопічних пошкоджень структури нитки, що провокує міграцію кінчиків волокон за її межі. Особливо вираженим цей процес стає в зоні прибою утоку, в якій бердо здійснює інтенсивний механічний вплив на систему ниток.

Вектор руху берда під час прибою є визначальним фактором для орієнтації ворсинок: залежно від кута контакту берда з утком, вільні кінці волокон можуть «загладжуватися» вздовж осі нитки або, навпаки, виштовхуватися на її поверхню [10]. Такий перерозподіл не лише формує мікрорельєф полотна, а й створює специфічну «візуальну текстуру», що визначає глибину відбиття світла та загальний дизайнерський вигляд виробу.

Таким чином, налаштування пружної системи заправки верстата виступає інструментом для керованого регулювання ворсистості. Оптимізація цих параметрів дозволяє мінімізувати небажану пілінгованість та створити рівномірну поверхню з наперед заданими тактильними характеристиками, що є фундаментом для прогнозованого проектування текстильних виробів.

Слід зазначити, що фізико-хімічна природа волокнистого матеріалу також є визначальним чинником, що закладає схильність текстильного полотна до формування поверхневого ворсового шару. Фундаментальні характеристики волокон — їх природна звитість, морфологічна орієнтація у структурі нитки та ступінь щільності упакування — формують початковий «потенціал ворсистості», який проявляється під час експлуатації виробу [11, 12].

Експериментальні дані свідчать, що навіть за умови ідентичних параметрів структури тканини (однакове переплетення, щільність та режими фінішного оздоблення) природа вихідної сировини залишається вирішальною у питанні інтенсивності пілінгування та формування шорсткості. Це пояснюється специфічною реакцією різних полімерних ланцюгів на механічні навантаження, що супроводжують процес переробки [13].

Вагомим технічним аспектом є геометричні властивості волокон:

- довжина волокна - коротко волокнисті компоненти, через велику кількість вільних кінців у поперечному перерізі нитки, значно підвищують індекс ворсистості пряжі порівняно з довго- або середньо волокнистими аналогами [10, 14].
- лінійна густина - більш тонкі волокна характеризуються меншою жорсткістю на вигин, що дозволяє їм легше мігрувати із пряжі на поверхню під впливом циклічних деформацій, посилюючи ефект заворсованості [12].

Таким чином, ворсистість безпосередньо залежить від геометричних характеристик волокнистого компонента. Доведено, що зниження лінійної густини волокон при незмінних параметрах крутіння пряжі сприяє збільшенню кількості виступаючих ворсинок, що, у свою чергу, змінює оптичні та тактильні властивості тканини, зокрема коефіцієнт тертя та інтенсивність розсіювання світла [11, 13].

Фізико-механічні характеристики пряжі виступають основними характеристиками ступеня закріплення волокон усередині структури нитки, що безпосередньо впливає на її ворсистість. Ключовими показниками, що визначають цей процес, є лінійна густина, спосіб формування пряжі та коефіцієнт крутки [10, 14].

Недостатній рівень скручування пряжі створює умови, за яких відцентрові сили та механічні напруження, які виникають під час процесу ткацтва, провокують міграцію окремих волокон із внутрішнього ядра нитки на її периферію. Цей процес порушує цілісність поверхні нитки, призводячи до утворення розгалуженого ворсового шару [15].

Зміна структури поверхні пряжі внаслідок її підвищеної ворсистості суттєво трансформує оптичні властивості текстильного полотна після фарбування. Згідно з результатами досліджень [13], ворсистий шар виступає як розсіювальна лінза, що змінює умови відбиття світлового потоку, в результаті відбувається:

- зміна інтенсивності відбиття через збільшену концентрацію вільних кінців волокон на поверхні пряжі, яка підвищує ступінь відбиття світла, що візуально сприймається як збільшення світлоти кольору;
- зміна глибини кольору, тому що при забарвленні ідентичних за переплетенням тканин, пряжа з вищим індексом ворсистості демонструє глибші відтінки завдяки ефекту багаторазового поглинання світла між мікроскопічними ворсинками [12, 13].

Таким чином, структурна щільність пряжі, яка забезпечується належним коефіцієнтом крутки, є головним інструментом контролю ворсистості. Оптимізація структурних параметрів пряжі на етапі її проектування дозволяє не лише мінімізувати небажані ефекти пілінгування, але й прогнозувати колористичні характеристики готового текстильного виробу [13, 16].

Ворсистість текстильних матеріалів не є ізольованим параметром, а виступає інтегральною складовою загальної структури поверхні, яка тісно пов'язана з її текстурою та морфологічною будовою поверхні. Згідно із сучасними дослідженнями в галузі текстильного матеріалознавства, шорсткість полотна — як ключовий показник якості — значною мірою формується саме характером розподілу та орієнтацією ворсового шару [14, 17].

Аналіз літературних джерел свідчить, що класичний коефіцієнт шорсткості часто виявляється недостатнім для повної ідентифікації нерівностей поверхні, особливо в умовах роботи із фактурними або ворсованими тканинами. Для забезпечення високої точності прогнозування поверхневих ефектів сучасні методи дослідження передбачають комплексний підхід, який поєднує кілька коефіцієнтів, зокрема, коефіцієнт шорсткості, як базовий показник відхилень у будові поверхні за висотою; коефіцієнт тертя, який відображає динамічну взаємодію ворсинок під час тактильного контакту; показники рівня зсуву, які дозволяють оцінити рухливість ворсового шару під час дії зовнішніх сил [17].

Інтеграція цих параметрів дає змогу отримати достовірну модель нерівності поверхні, оскільки ворсистість безпосередньо формує зовнішній вигляд поверхні тканини, створюючи додатковий опір під час контакту з тілом

людини та змінює характер сприйняття матеріалу. Отже, системна оцінка поверхневих властивостей вимагає переходу від аналізу поодиноких структурних показників до вивчення їх взаємозалежності, що є критично важливим для проектування текстилю з наперед заданими характеристиками туше [18, 19].

У процесі експлуатації текстильних виробів ворсистість перестає бути статичною характеристикою, перетворюючись на динамічну характеристику, яка безпосередньо зумовлює тактильний відгук матеріалу [20]. Взаємодія полотна зі шкірою людини є складним фізичним процесом, в якому інтенсивність ворсового шару виступає основним регулятором сенсорного комфорту [20, 21].

У вологих умовах, зокрема при фізичних навантаженнях, механізм контакту матеріалу зі шкірою суттєво ускладнюється. Наявність ворсинок на поверхні полотна виконує роль своєрідної «буферної зони», яка суттєво впливає на взаємодію під час контакту з тілом людини [20]. Цей механізм реалізується через декілька ключових факторів:

- мінімізація зони контакту, оскільки ворсовий шар перешкоджає повному приляганню полотна до шкіри людини, що значно знижує ефект «липкості» тканини в умовах надмірного зволоження;
- коригування сили тертя, тому що ворсинки виступають проміжним елементом, що змінює коефіцієнт тертя між текстилем та шкірою, запобігаючи виникненню подразнень;
- взаємодія зі шкірою, ефективність якої залежить також від щільності природного волосяного покриву на шкірі людини, який діє як додатковий демпфер при контакті з текстильною поверхнею [20].

Як наочно продемонстровано на рис. 1.2, ворсистість є складним результуючим показником, який виникає внаслідок взаємодії технологічних, сировинних та структурних параметрів. В свою чергу, сформований ворсовий шар виступає фундаментальною основою, яка визначає фінальний комплекс оптичних, поверхневих та сенсорних властивостей полотна, що підтверджує

необхідність її комплексного об'єктивного оцінювання під час проєктування текстильних виробів.

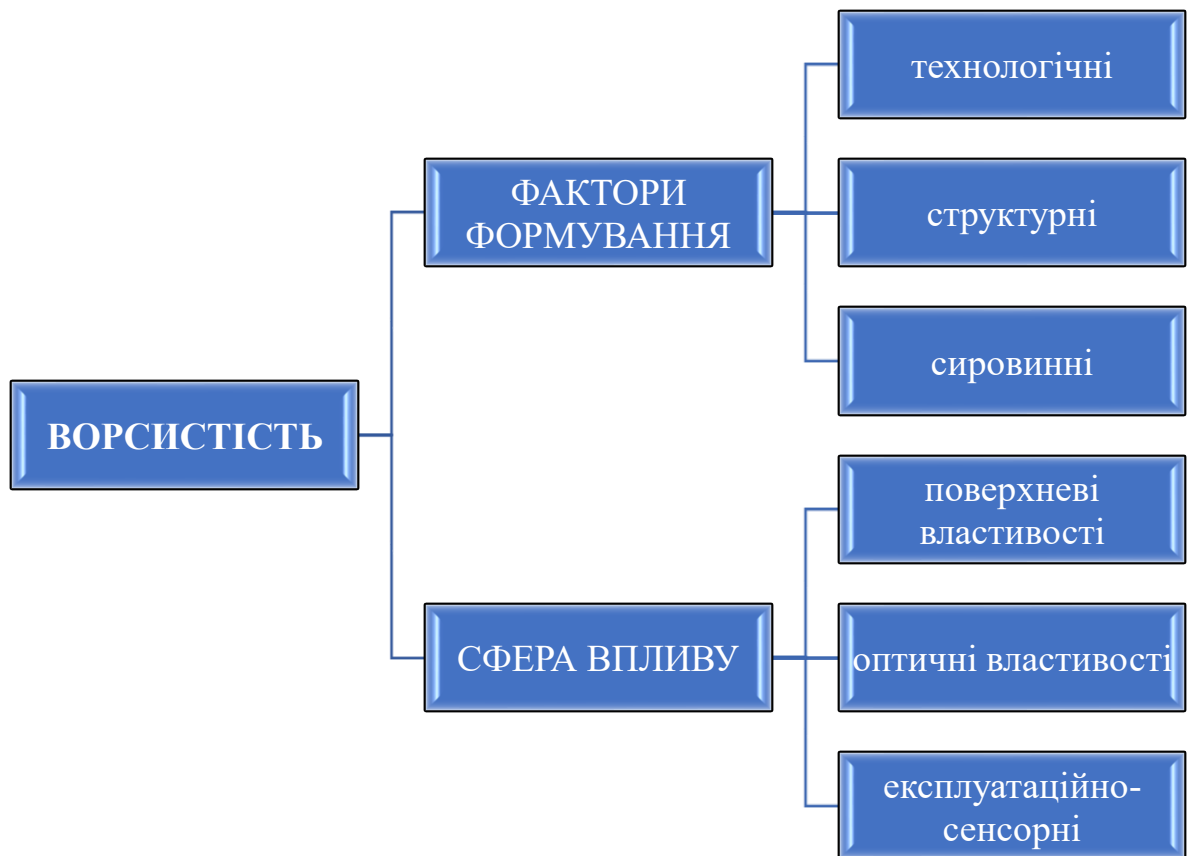


Рисунок 1.2 – Класифікація факторів формування ворсистості та її впливу на властивості текстильних матеріалів

Таким чином, ворсистість є не лише візуальною ознакою, а й визначальним чинником біомеханічної сумісності текстилю з тілом людини [20, 21]. Величина опору під час контакту безпосередньо залежить від морфології ворсистого шару, тому об'єктивне оцінювання цих параметрів є обов'язковим для проєктування одягу з високим рівнем сенсорного комфорту [16, 20].

Узагальнюючи викладене, можна стверджувати, що формування ворсистості є наслідком взаємного впливу сировинних, технологічних та конструктивних чинників. Вихід волокон на поверхню зумовлюється як параметрами натягу під час ткацтва або в'язання, так і морфологічними ознаками самих волокон та щільністю закріплення їх у структурі нитки.

Доведено, що ворсистість не лише визначає поверхневу структуру полотна, але й виступає динамічним регулятором сенсорного комфорту, впливаючи на контакт текстилю зі шкірою людини та оптичне сприйняття кольору. Незважаючи на значну кількість проведених досліджень в цій галузі, відсутність уніфікованих методів об'єктивної кількісної оцінки ворсистості залишається стримуючим фактором для подальшої оптимізації процесів проектування

1.4 Методи оцінки ворсистості текстильних матеріалів

Визначення ворсистості є одним із найскладніших завдань текстильного матеріалознавства, оскільки цей показник має виражену залежність від структурних особливостей ниток та технологічних параметрів виготовлення полотен. На сьогодні методологія оцінки ворсистості диференціюється залежно від об'єкта дослідження: для пряжі застосовують переважно інструментальні методи, тоді як для готових полотен тривалий час домінували суб'єктивні (органолептичні) підходи [22, 23].

Для об'єктивного аналізу пряжі розроблено ряд стандартизованих інструментальних методів, які дозволяють мінімізувати вплив людини на результати дослідження [22-24]:

- метод мікроскопії - базується на візуалізації та кількісному аналізі збільшеного зображення пряжі. За допомогою сучасних цифрових мікроскопів проводиться підрахунок кількості вільних кінців волокон та визначення їх довжини, що дозволяє отримати детальну морфологічну характеристику поверхні нитки [139];
- фотоелектричні методи, які базуються на вимірюванні ступеня перекриття світлового потоку виступаючими волокнами (ворсинками). Даний метод дозволяє інтегрально оцінити рівень ворсистості по всій довжині пряжі, забезпечуючи високу швидкість обробки даних [133, 139].

- ваговий метод, який ґрунтується на відділенні ворсу від основної структури пряжі (зазвичай механічним шляхом) з подальшим зважуванням. Показник ворсистості визначається як відсоткове відношення маси вичесаних волокон до загальної маси зразка [139].

Оцінка ворсистості текстильних полотен є більш складним завданням через нерівномірність структури переплетення. Донедавна основним методом залишалося порівняння з еталонними зразками, яке базувалося на експертній оцінці [22]. Проте, із розвитком технологій комп'ютерного зору, впроваджуються специфічні інструментальні рішення [25, 26]:

- оптико-електронні методи аналізу - це сучасні розробки, які передбачають сканування поверхні полотна, яке рухається із заданою швидкістю, за допомогою високочутливих відеокамер [25]. Отриманий контурний знімок аналізується спеціалізованим програмним забезпеченням, яке виокремлює та підраховує кількість ворсинок на певному відрізку довжини або ширини тканини;
- аналіз структури поверхні для фактурних та ворсованих тканин додатково застосовують методи, що дозволяють оцінити висоту та густину ворсового покриття [17]. Ці методи часто інтегрують із визначенням коефіцієнту тертя, що дозволяє не лише кількісно оцінити ворсистість, а й спрогнозувати зміну тактильних відчуттів під час експлуатації [25, 26].

Незважаючи на ефективність описаних інструментальних методів, багато із них наразі залишаються специфічними дослідницькими рішеннями та потребують вдосконалення для впровадження на підприємствах галузі [25]. Таким чином, актуальним завданням залишається розробка універсального, високо відтворюваного та економічно доцільного методу об'єктивної оцінки ворсистості текстильних полотен, який би дозволив прогнозувати споживчі властивості виробів ще на етапі їх проєктування.

РОЗДІЛ 2 ДОСЛІДЖЕННЯ ВОРСИСТОСТІ ТЕКСТИЛЬНИХ МАТЕРІАЛІВ

Особливістю сучасного споживчого ринку є те, що якість текстильних виробів визначається не лише їх здатністю витримувати значні механічні навантаження, а й стабільністю естетичного вигляду їх поверхні протягом усього життєвого циклу продукції. Основним показником, який поєднує в собі візуальну привабливість і експлуатаційну довговічність матеріалу, є його ворсистість. Інтенсивна міграція волокон на поверхню тканин не лише негативно впливає на зовнішній вигляд готового виробу, зумовлюючи утворення пілей, а й свідчить про руйнування або недостатню закріпленість елементів пряжі в тканині або трикотажі.

Проведені дослідження є практичною реалізацією вдосконаленого методологічного підходу до оцінювання ворсистості, який передбачає поєднання вагового методу та оптичної мікроскопії. Запропонований алгоритм дозволяє комплексно дослідити стан поверхні тканин різного сировинного складу та встановити математично обґрунтовану залежність між сировинним складом та схильністю матеріалу до утворення ворсу. Такий підхід унеможливорює отримання не достовірних результатів, які зумовлені фізико-хімічною різномірністю волокон, що в результаті дозволяє об'єктивно порівнювати експлуатаційні властивості текстильних матеріалів.

2.1 Методика дослідження ворсистості текстильних матеріалів

Для того, щоб виконати кількісну оцінку ворсистості пряжі в сучасних дослідженнях часто застосовують ваговий метод [23, 27]. Його основний принцип полягає у розрахунку масової частки ворсу відносно сумарної маси досліджуваного зразка та полягає у видаленні ворсу, який утворився на поверхні тканини й визначається за формулою:

$$W = \frac{M_1 - M_2}{M_1} \times 100\% \quad (2.1)$$

де M_1 — вихідна маса зразка до проведення процедури видалення ворсу, г;
 M_2 — маса того самого зразка після повного усунення ворсинок з його поверхні, г.

Не зважаючи на високу точність фіксації загального об'єму ворсу, цей підхід має обмежені аналітичні можливості: він не дозволяє диференціювати ознаки ворсового шару (просторову щільність розподілу та лінійні розміри окремих ворсинок), що ускладнює якісне порівняння різних зразків за властивостями, які характеризують структуру текстильного матеріалу.

Детальний аналіз вагового методу [28] дав змогу обґрунтувати гіпотезу щодо його адаптації для оцінювання параметрів ворсистості готових текстильних полотен за умови відповідної модернізації експериментальних досліджень. Зокрема, було запропоновано перейти від суто масових параметрів до інтегрального якісного критерію — індексу ворсистості [29]. Графічну схему реалізації такого алгоритму для тканих текстильних матеріалів наведено на рис. 2.1.

Кожен із зазначених етапів, які наведено на рис. 2.1, передбачає виконання певних процедур та розрахунків. Так, перший етап передбачає відбір елементарних проб тканини із урахуванням мети дослідження (технологічна оптимізація, проектування дизайну або опорядження), відповідно до якої аналізу підлягає лицьовий, виворітний або обидва боки матеріалу. Перед випробуваннями текстильний матеріал кондиціюють протягом 24 годин у стандартних кліматичних умовах [30] для стабілізації водопоглинання.



Рисунок 2.1 – Послідовність етапів дослідження ворсистості тканин

Для тканин із простим рапортом переплетення площа проб становить 1 дм², тоді як для фактурних або складних тканин її розмір узгоджують із кроком рапорту. Оптимальні геометричні розміри зразків необхідні для того, щоб отримати значущі та достовірні результати дослідження, оскільки масова частка ворсового покритву у загальній масі текстильного зразка є мінімальною.

Другий етап дослідження полягає у фотофіксації поверхні досліджуваного зразка тканини. Для встановлення дійсних геометричних параметрів ворсового покритву, зокрема його поперечних розмірів, ефективно застосовують методи

оптичної мікроскопії. Процедура передбачає аналіз високоякісних збільшених цифрових зображень поверхні матеріалу.

Візуалізацію поверхні тканини реалізовано за допомогою сучасного тринокулярного професійного стереомікроскопу MICROmed ZOOM SM-6630 (зовнішній вигляд приладу наведено на рис. 2.2), який укомплектований високоточною оптичною ZOOM-системою та інноваційним вузлом освітлення SMD LED на базі матричних світлодіодів із функцією роздільного зонального позиціонування. Конструктивна наявність тринокулярної насадки з відокремленим третім оптичним каналом забезпечує ефективну та безперешкодну цифровізацію, а також фото- і відеофіксацію результатів експерименту в режимі реального часу. Для того, щоб отримати якісне зображення зразок розкладають на матовій поверхні та піддають орієнтованому згинанню. При цьому лінії згину мають суворо збігатися із системами ниток рапорту переплетення, що дозволяє зберегти природну просторову будову та напрямок виступаючих ворсинок.



Рисунок 2.2 – Зовнішній вигляд стереомікроскопу MICROmed ZOOM SM-6630

На третьому етапі дослідження визначали діаметр ворсинок d_v інструментальним шляхом за допомогою прямого мікроскопічного вимірювання їх поперечних лінійних параметрів.

Четвертий етап дослідження полягав у зважуванні зразків тканини із використанням лабораторного обладнання з ціною поділки 0,001 г. Для фіксації

масових показників було задіяно аналітичні ваги серії Axis AD 500, загальну конструкцію та зовнішній вигляд яких ілюструє рис. 2.3.



Рис. 2.3 – Загальний вигляд лабораторних ваг Axis AD 500

Ворс із поверхні зразків прибирають за допомогою газового пальника на спеціальних режимах [31] на п'ятому етапі. Цей процес повністю повторює промислове обпалювання вовняних тканин, яке використовують на виробництві під час обробки тканин. Усі важливі налаштування — скільки часу тримати тканину над вогнем, на якій відстані від полум'я та за якої температури — чітко відповідають перевірній методиці [31].

Після того як ворс обпалили, на тканині залишається помітний слід — нагар. Цей нагар потрібно ретельно зчистити, інакше результати зважування будуть неточними.

Найголовніше завдання тут — прибрати чорний наліт так, щоб не пошкодити і не розірвати нитки самої тканини. Для цього можна скористатися кількома зручними способами: обережно зчистити спеціальними м'якими щітками; здути залишки спрямованим струменем повітря; акуратно зрізати мікротриммером або використати інші схожі інструменти.

Після того, як ворс із поверхні тканини видалили, зразки повторно зважували – це шостий етап проведення дослідження. Маса видаленого ворсу M_v зразка тканини визначається, як різниця між масою зразка до обробки M_1 та після неї M_2 (г) за формулою:

$$M_B = M_1 - M_2 \quad (2.2)$$

На цьому етапі визначали лінійну густину ворсинок. Для обчислення використовували математичну залежність, яка застосовується для визначення поперечного перерізу (діаметра) окремого волокна [6] за формулою:

$$T = \frac{\gamma \cdot d_B^2}{0,0357^2 \cdot 10^{-3}} \quad (2.3)$$

де γ — об'ємна густина волоконного матеріалу, мг/мм³ [94];

d_B — середнє значення діаметра досліджуваного волокна, мм.

Останній, восьмий етап, полягав у визначенні сумарної довжини ворсинок, яка розраховувалась за формулою:

$$\ell = \frac{M_B}{T} \quad (2.4)$$

2.2 Загальна характеристика зразків текстильних матеріалів, обраних для дослідження

Експериментальні дослідження за комплексною методикою визначення параметрів ворсистості текстильних матеріалів здійснювалися в лабораторних умовах на кафедрі товарознавства, стандартизації та сертифікації Херсонського національного технічного університету. Для проведення серії експериментів було використано зразки тканин, які виготовлені із вовни та сумішей вовни із синтетичними волокнами та льоном.

Головним критерієм при виборі зазначеного асортименту став їх сировинний склад, який обумовлює специфічний характер ворсу. При цьому

вовняні волокна за рахунок своєї природної звивистості та лусочкової структури формують об'ємний, еластичний та стійкий ворс, тоді як лляні компоненти вносять у структуру ворсового шару жорсткіші та довші елементи з високою лінійною щільністю, які суттєво змінюють загальну поверхню полотна. Водночас синтетичні матеріали, представлені поліестерними нитками, безпосередньо впливають на пружність ворсинок та їх стійкість до механічних і термічних чинників під час обробки. Таке розмаїття сировинних комбінацій дозволило перевірити чутливість методу та довести універсальність розрахунків для текстилю різної фізико-хімічної природи. Характерні особливості будови поверхні тканин, які було обрано для проведення досліджень наведено на рис. 2.4.

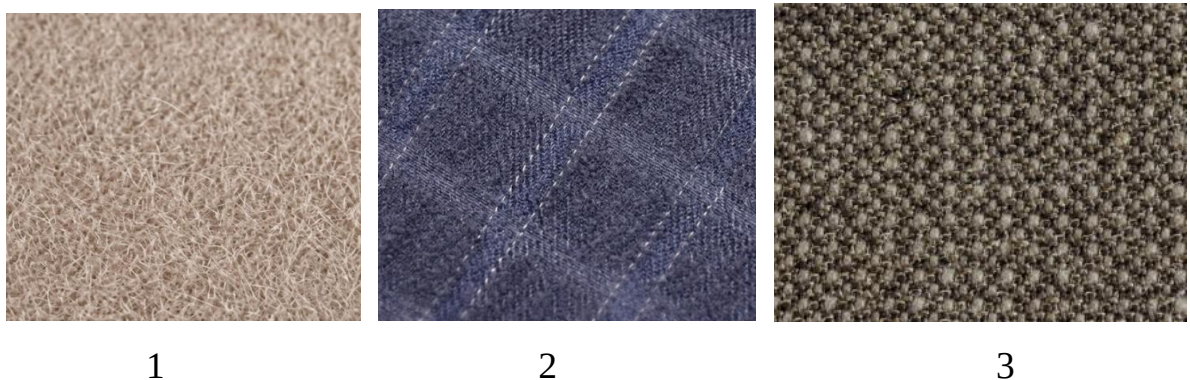


Рисунок 2.4 – Досліджувані зразки тканини

Зразок № 1 (100% вовна) характеризується однорідною структурою ворсового покриву з високим ступенем заповнення міжниткового простору. Завдяки природній звивистості, високій еластичності та наявності лусочкового шару елементарних вовняних волокон, виступаючі кінчики легко чіпляються один за одного. Це зумовлює формування густого, замкненого, злегка звального ворсового застилу (ефект легкого сукна), який суттєво перекриває рисунок основного переплетення полотна. Ворсинки мають переважно дугоподібну або хвилясту форму з випадковим просторовим орієнтуванням.

Зразок № 2 (80% вовна, 20% поліестер) демонструє поверхню, на якій присутність синтетичного компонента помітно змінює геометричний характер

ворсу. Поліефірні волокна мають значно вищу жорсткість на згин і гладку циліндричну поверхню, тому вони не схильні до взаємного зчеплення з вовною. Як наслідок, ворсовий покрив виглядає більш розправленим, чистим та дискретним. Окремі ворсинки чітко виступають над площиною поверхні тканини під прямими або гострими кутами, формуючи пружну, стійку до зминання, але візуально менш щільну структуру ворсового шару.

Зразок № 3 (86% вовна, 14% льон) відрізняється вираженою структурною неоднорідністю поверхні. У структурі ворсу чітко виділяються дві генерації волокон: низький, м'який підпушок із хвилястих вовняних капілярів та поодинокі, але довгі й товсті ворсинки льону. Лляні волокна через високий модуль пружності та значну лінійну щільність не утворюють звивин, а виступають над загальним вовняним фоном у вигляді жорстких, прямих капілярних елементів. Таке поєднання створює специфічну фактурну ворсистість із подвійним рівнем висоти ворсу на тканині.

2.3 Оцінка ворсистості текстильних матеріалів ваговим методом

Підготовку дослідних зразків проводили шляхом вирізання фрагментів із полотна тканини відповідно до вимог методу відбору проб [32]. Для забезпечення достовірності результатів кожен зразок формували площею 1 дм². Такий розмір дозволяє отримати достовірні характеристики структури матеріалу та рівномірно врахувати особливості ворсового покриття.

Для кожного досліджуваного матеріалу було підготовлено по 10 окремих дослідних проб, які забезпечують достатню статистичну точність під час проведення експериментальних вимірювань і подальшої обробки результатів. Перед початком досліджень зразки витримували в стандартних кліматичних умовах для стабілізації їх фізико-механічних властивостей.

У процесі дослідження визначали середній діаметр ворсинок, а також їх лінійну густину. Розрахунок лінійної густини виконували за формулою (2.3). Отримані результати вимірювань та обчислень наведені в табл. 2.1.

Таблиця 2.1 - Показники ворсистості текстильних матеріалів

№ проби	Зразок №1		Зразок №2		Зразок №3	
	d, мкм	T, мтекс	d, мкм	T, мтекс	d, мкм	T, мтекс
1	24,1	602	26,8	761	30,4	1048
2	25,0	618	27,1	776	31,2	1075
3	24,6	611	27,5	789	31,7	1092
4	25,3	629	27,9	801	32,4	1118
5	24,9	620	27,3	782	31,9	1106
6	25,5	637	28,1	814	32,7	1134
7	24,7	615	27,6	795	31,5	1088
8	25,1	624	27,8	806	32,1	1112
9	24,4	608	27,0	770	30,9	1062
10	25,2	631	28,3	821	33,0	1146
Середнє значення	24,88	619	27,54	792	31,78	1098

Отримані результати відображають структурні особливості досліджуваних матеріалів і базуються на обробці даних, одержаних під час випробування 10 окремих проб кожного зразка. Для зразка № 1, виготовленого зі 100 % вовни, характерні найменші значення середнього діаметра та лінійної густини ворсинок, що пояснюється більш однорідною та м'якою структурою вовняного ворсового покриву.

У зразку № 2 спостерігається підвищення зазначених показників, що пов'язано з наявністю волокон поліестеру, які забезпечують більшу жорсткість та щільність ворсу. Найбільші значення діаметра та лінійної густини встановлено для зразка № 3. Це обумовлено вмістом лляних волокон, які характеризуються значною товщиною, підвищеною жорсткістю та меншою звивистістю, внаслідок чого формується більш виражена й неоднорідна ворсиста поверхня матеріалу.

У таблицях 2.2 – 2.4 наведено експериментальні дані щодо зміни маси досліджуваних зразків тканин до та після проведення термічного випалювання ворсового покриву. З метою проведення порівняльного оцінювання, за формулою (2.1) було розраховано відносну масову частку ворсових волокон. Цей показник є об'єктивною характеристикою виступаючих елементів структури тканини та дозволяє аналізувати поверхню досліджуваних тканин.

Таблиця 2.2 - Результати дослідження ворсистості зразка №1

№ проби	Середня маса до випалювання M_1 , г	Середня маса після випалювання M_2 , г	Маса видаленого ворсу M_6 , г	Частка видаленого ворсу M' , %
1	3,66	3,46	0,20	5,46
2	3,57	3,40	0,17	4,76
3	3,57	3,37	0,20	5,60
4	3,62	3,41	0,21	5,80
5	3,68	3,48	0,20	5,43
6	3,55	3,36	0,19	5,35
7	3,60	3,40	0,20	5,56
8	3,64	3,44	0,20	5,49
9	3,59	3,38	0,21	5,85
10	3,65	3,45	0,20	5,48
Середнє значення	3,61	3,42	0,20	5,48

Результати проведених досліджень зразка №1, який складається на 100% із вовни свідчать, що середня маса видаленого термічним способом ворсу (M_6) становить 0,20 г. Розрахована відносна масова частка ворсового покриву (M') варіюється в діапазоні від 4,76% до 5,85%, при цьому середнє арифметичне значення показника складає 5,48%.

Високі та стабільні значення масової частки ворсу свідчать про виражену схильність даного зразка до формування ворсу. Це зумовлено природними властивостями вовняного волокна — високою звивистістю та наявністю лусочкового шару, які сприяють інтенсивній міграції волокнистих кінців на поверхню структури. Незначна амплітуда коливань показника M' між окремими пробами підтверджує високу однорідність ворсового покриву за всією площею тканини та достовірність отриманих даних.

Таблиця 2.3 - Результати дослідження ворсистості зразка №2

№ проби	Середня маса до випалювання M_1 , г	Середня маса після випалювання M_2 , г	Маса видаленого ворсу M_e , г	Частка видаленого ворсу M' , %
1	3,71	3,57	0,14	3,77
2	3,66	3,52	0,14	3,83
3	3,71	3,57	0,17	3,77
4	3,68	3,53	0,15	4,08
5	3,65	3,51	0,14	3,84
6	3,70	3,56	0,14	3,84
7	3,69	3,54	0,15	4,07
8	3,64	3,50	0,14	3,85
9	3,67	3,52	0,15	4,09
10	3,72	3,58	0,14	3,76
Середнє значення	3,68	3,54	0,14	3,88

Аналіз результатів дослідження зразка №2, волокнистий склад якого складається із 80% вовни та 20% поліестеру свідчить про суттєвий вплив сировинного складу на інтенсивність ворсо утворення.

Середня масова частка видаленого ворсу ($M'_{\text{ср.}}=3,88\%$) є значно нижчою порівняно із тканиною, яка містить у своєму складі 100% вовни (зразок №1). Це підтверджує, що введення поліефірних волокон до складу тканини із вовни ефективно обмежує вихід ворсинок на її поверхню.

Встановлене зниження ворсистості зумовлене структурними особливостями поліестеру. Завдяки високій жорсткості на згин та гладкій циліндричній поверхні, синтетичні волокна не утворюють зчіпних вузлів із вовною, а надійно фіксуються всередині тканини. Це мінімізує кількість вільних кінців волокон, які здатні до міграції на поверхню під дією тертя або механічних деформацій.

Мінімальний діапазон коливань значень M' (від 3,76% до 4,09%) вказує на високу технологічну стабільність тканин із змішаних волокон. Це свідчить про те, що додавання 20% поліестеру не лише покращує експлуатаційні властивості

виробу (стійкість до пілінгування), а й забезпечує рівномірність поверхневих характеристик полотна, що є важливим показником його якості.

Таблиця 2.4 - Результати дослідження ворсистості зразка №3

№ проби	Середня маса до випалювання M_1 , г	Середня маса після випалювання M_2 , г	Маса видаленого ворсу M_v , г	Частка видаленого ворсу M' , %
1	3,66	3,54	0,12	3,28
2	3,66	3,54	0,12	3,28
3	3,71	3,54	0,17	4,58
4	3,71	3,60	0,11	2,96
5	3,68	3,53	0,15	4,08
6	3,65	3,51	0,14	3,84
7	3,69	3,55	0,14	3,79
8	3,73	3,58	0,15	4,02
9	3,70	3,56	0,14	3,78
10	3,67	3,53	0,14	3,81
Середнє значення	3,69	3,55	0,14	3,74

Для зразка №3, який містить 14% льняного волокна та 86% вовни, встановлено середню відносну масову частку видаленого ворсу на рівні 3,74%. Порівняно з зразком №1 (5,48%), це значення є суттєво нижчим. Отримані значення свідчать про те, що введення до складу вовни льняних волокон, які характеризуються високим модулем пружності, значною лінійною щільністю та відсутністю природної звивистості, призводить до стабілізації структури тканини. Льняні волокна, діючи як жорсткий каркас, перешкоджають активній міграції вовняних елементів на поверхню полотна. Незважаючи на те, що поодинокі льняні ворсинки є візуально вираженими через свою товщину, їх загальна масова частка є мінімальною. Це підтверджує ефективність використання льону як компонента для зниження загальної ворсистості та підвищення зносостійкості вовновмісних тканин.

Проведене дослідження ворсистості тканин різного сировинного складу дозволило встановити залежність між складом тканини та

морфологічною стабільністю поверхні матеріалу. За результатами досліджень встановлено, що зразок № 1 (100% вовна) демонструє найвищу схильність до утворення ворсу ($M'_{\text{сер.}}=5,48\%$), що зумовлено високою природною звивистістю вовняних волокон та розвиненою системою шару кутикули, які сприяють міграції вільних кінців на поверхню тканини.

Введення до складу тканини 20% поліестеру забезпечує ефективне зниження ворсистості: для зразка № 2 (80% вовна / 20% поліестер) середня частка видаленого ворсу становить 3,88%, а для зразка № 3 (86% вовна / 14% льон) — 3,74%. Завдяки поліестеру та його гладкій циліндричній поверхні, підвищеній жорсткості, яка обмежує рухливість вовняних волокон усередині переплетення маємо зниження здатності тканини до утворення ворсу. У свою чергу, використання лляного волокна формує жорсткий структурний каркас, який, попри високу лінійну щільність окремих лляних ворсинок, мінімізує загальну масу вільних волокнистих елементів на поверхні полотна.

Отже, експериментально підтверджено, що комбінування вовни із синтетичними або натуральними волокнами є дієвим технологічним інструментом керування утворення ворсу на поверхні тканини. Зменшення показника M' для змішаних тканин свідчить про їх вищу зносостійкість та меншу схильність до утворення візуальних дефектів у процесі експлуатації, що є важливим показником якості при проектуванні нових видів вовновмісних тканин.

Розрахунок показника довжини ворсу (l) було проведено для об'єктивної оцінки поверхні тканини, оскільки просте визначення маси видаленого ворсу не враховує структурні відмінності використаної пряжі. Оскільки зразки мали різну лінійну густину (T), використання формули 2.4 для визначення довжини ворсу дозволило нівелювати вплив товщини нитки та порівняти інтенсивність ворсоутворення між вовняними тканинами та змішаними. Такий підхід надає змогу не лише встановити ступінь «пухнастості» матеріалу, але й спрогнозувати його експлуатаційну довговічність, зокрема схильність до пілінгування, адже саме розрахункова довжина вільних волокнистих кінчиків є ключовим

індикатором якості поверхні, що дозволяє обґрунтувати переваги введення синтетичних або натуральних волокон до складу тканини.

Результати проведених досліджень наведено у табл. 2.5.

Таблиця 2.5 – Результати визначення довжини ворсу у досліджуваних зразках тканин

№ проби	Зразок №1	Зразок №2	Зразок №3
1	0,323	0,177	0,109
2	0,275	0,177	0,109
3	0,323	0,177	0,155
4	0,339	0,189	0,100
5	0,323	0,177	0,137
6	0,307	0,177	0,128
7	0,323	0,189	0,128
8	0,323	0,177	0,137
9	0,339	0,189	0,155
10	0,323	0,177	0,100
Середнє значення	0,320	0,180	0,126

Наведені у табл. 2.5 результати обчислень довжини ворсу показують, що зразок №1 має найвищий показник довжини ворсу (0,320), що підтверджує його найбільшу ворсистість серед усіх досліджуваних зразків тканин. Зразки №2 та №3 демонструють значно менші показники, що вказує на те, що додавання поліестеру та льону ефективно ущільнює структуру нитки та стримує міграцію ворсинок на поверхню.

Отримані значення дозволяють об'єктивно порівнювати ворсистість незалежно від початкової товщини пряжі, яку було використано для виготовлення тканини.

Запропонований підхід до визначення ворсистості є універсальним, так як дозволяє застосовувати ваговий метод для об'єктивного аналізу поверхневих

характеристик тканих полотен незалежно від їх сировинного складу. Використання приведенного показника довжини ворсу нівелює відмінності у лінійній щільності ниток, забезпечуючи коректність порівняння матеріалів з різною структурою та технологією виробництва. Це робить таку методику ефективною для оцінки стабільності поверхні текстильних виробів та прогнозування їх експлуатаційної стійкості до пілінгування.

2.4 Аналіз впливу ворсистості на якість текстильної продукції

Візуальне сприйняття тканини — це перший і найважливіший критерій оцінки якості для споживача. Процес втрати «первинної новизни» тканини через утворення ворсу на її поверхні можна представити як ланцюгову реакцію, яка відбувається на мікрорівні поверхні полотна.

Розуміння механізмів виникнення ворсистості, підтверджене експериментальними даними, є основою для обґрунтування вибору сировини для виготовлення тканини та оптимізації швейних технологій. Використання методів оцінки ворсистості дозволяє не лише прогнозувати поведінку тканини, а й мінімізувати ризики виробничих втрат, підвищуючи загальний рівень якості готової текстильної продукції. Тому доцільним є дослідження впливу структурної стабільності поверхні на експлуатаційний ресурс виробів та розробка рекомендацій щодо впровадження результатів дослідження в технологічний процес виготовлення вовновмісних тканин.

Коли ворсинки (як у зразку №1) досягають значної довжини (0,320 мм), вони перестають бути частиною структури нитки і починають функціонувати як окремі оптичні перешкоди. Велика кількість вільних волокнистих кінчиків, що стирчать під різними кутами, хаотично розсіює падаюче світло. Це створює на поверхні ефект, який візуально перекриває чіткі лінії переплетення ниток. Чіткість графічного рисунку (наприклад, саржевого діагонального або полотняного переплетення) зникає, оскільки замість окремих ниток око бачить хаотичне скупчення ворсу. Це робить колір тканини менш насиченим і візуально

«старішим». Процес втрати товарного вигляду у вовняних тканинах (зразок №1) є незворотним і прогресуючим: Під час тертя в процесі експлуатації вовняні волокна мігрують із серцевини нитки на поверхню. Завдяки тому, що вовна має лусочкову структуру (ефект «зачіпок») ці ворсинки не повертаються назад, а заплутуються між собою. Поступово «поверхневий хаос» стає щільнішим. Тканина, яка мала гладку та матову поверхню, стає неоднорідною. Споживач сприймає це як ознаку зношеності виробу, навіть якщо фізико-механічні характеристики тканини залишається високими.

На противагу тканинам із 100% вовни, тканини, які мають у своєму складі суміш волокон (зразки №2 та №3) забезпечують високу стабільність завдяки внутрішній «фіксації» структури. Поліестерні волокна (зразок №2) виступають у ролі структурних стабілізаторів. Завдяки своїй гладкій циліндричній поверхні та високій жорсткості на вигин, вони надійно фіксують вовняні волокна всередині переплетення, обмежуючи їх вільну міграцію. Оскільки синтетичні волокна не мають лусочкового шару, вони не утворюють зчіпних вузлів із вовною, що мінімізує кількість вільних кінців волокон на поверхні полотна.

Лляні волокна, які є у складі зразка №3 формують жорсткий структурний каркас тканини. Через високий модуль пружності та значну лінійну щільність, лляні елементи діють як обмежувачі, які перешкоджають активному переміщенню вовняних ворсинок. Попри те, що окремі лляні волокна є візуально помітними через свою товщину, їх низька звивистість та загальна жорсткість сприяють загальній стабілізації структури тканини, що значно знижує масову частку ворсу на поверхні.

Таким чином, ворсистість є не просто фізичним параметром, а критичним показником естетичного вигляду тканини. Якщо для зразка №1 спостерігається стрімке падіння естетичних характеристик через неконтрольовану міграцію волокон, то в зразках №2 та №3 структурна стабільність, досягнута введенням поліестеру або льону, дозволяє нівелювати цей недолік, подовжуючи період «естетичного життя» текстильного виробу.

Опірність текстильних матеріалів утворенню ворсистості є визначальним показником не лише естетичності, а й їх довговічності. В основі цього процесу лежить механічна міграція вільних кінчиків волокон, які під час експлуатаційного тертя утворюють вузлики. Аналіз проведених досліджень демонструє суттєві відмінності у прогнозованому ресурсі зношування залежно від сировини, яка входить до складу тканин.

Зразок №1 (100% вовна): зона високого ризику зношування. Даний матеріал характеризується критичною схильністю до пілінгування. Виявлена висока середня довжина мігруючих елементів (0,320 мм) створює надлишкову кількість «активних точок» на поверхні. Введення поліефірних волокон (зразок №2) кардинально змінює фізику поверхні. Скорочення довжини вільних ворсинок до 0,180 мм свідчить про ефективне блокування процесів міграції. У результаті, кількість центрів утворення вузликів мінімізується, що значно подовжує термін збереження охайного вигляду виробу порівняно з тканиною із 100% вовни.

Зразок №3 (86% вовна / 14% льон) продемонстрував найнижчий показник ворсистості (0,126 мм), що вказує на найвищий рівень опору пілінгуванню серед досліджуваних варіантів. Це забезпечує максимальну експлуатаційну довговічність — тканина практично не схильна до утворення пілей, що робить її оптимальною для виробів із тривалим циклом використання.

Аналіз підтверджує, що опір пілінгуванню є зворотно пропорційною величиною до довжини вільно виступаючих кінців волокон. Перехід від тканини із вовни (зразок №1) до тканин із суміші волокон (зразки №2 та №3) дозволяє здійснити перехід від матеріалів з обмеженим ресурсом використання до тканин із високою експлуатаційною стійкістю, в яких стабілізація структури поверхні забезпечує тривале збереження якості.

Ворсистість текстильних матеріалів пов'язана із гігієнічними характеристиками та складністю циклу після експлуатаційного догляду. У контексті сучасних вимог до якості текстилю, здатність матеріалу до

«самоочищення» та стійкість до накопичення зовнішніх агентів стають визначальними критеріями для вибору сировинного складу.

Поверхня тканини з високою ворсистістю (зразок №1) функціонує як розвинена мікропориста система, яка схильна до адсорбції пилу, дрібнодисперсних аерозольних частинок та біологічних алергенів. Висока щільність вільних волокнистих кінчиків створює умови для механічного утримання сторонніх домішок у товщі ворсового шару. Така розвинена мікроструктура поверхні ускладнює видалення забруднень під час сухого чищення або прання, оскільки частинки бруду проникають глибоко між ворсинки та «заплутуються» у їхній структурі.

У зразках №2 та №3 (тканини із суміші волокон) завдяки волокнистому складу поверхня стає більш гладкою та монолітною. Синтетичні та лляні компоненти зменшують загальну площу, доступну для адсорбції пилу. Це призводить до того, що значна частина забруднень не фіксується на поверхні, а видаляється під час звичайної експлуатації (наприклад, під дією вібрації або тертя об верхній одяг).

Схильність тканини до утворення ворсу в процесі її експлуатації визначає особливості догляду за готовим виробом: Для вовняних тканин (№1) висока ворсистість зумовлює потребу в частому професійному чищенні. Використання жорстких режимів чищення, в свою чергу, прискорює механічне руйнування ворсинок, створюючи замкнене коло: чистка — пошкодження — збільшення ворсистості.

Вироби, які виготовлені із тканин зразків №2 та №3, довше зберігають гігієнічну чистоту завдяки зниженню рівня міграції волокон. Це дозволяє використовувати більш ощадні режими обробки, подовжуючи термін служби тканини та зберігаючи її первинну фактуру без надмірної хімічної та механічної агресії.

Раціональне керування ворсистістю завдяки використанню у складі тканини суміші волокон, є ефективним інструментом підвищення гігієнічної безпечності текстилю. Зменшення сорбційної здатності поверхні не тільки

спрощує догляд за виробом, а й знижує ризик алергічних реакцій користувача, що є критично важливим фактором для одягу, який контактує безпосередньо зі шкірою людини або тривалий час перебуває в активній експлуатації.

Ворсистість текстильних матеріалів є динамічним параметром, який безпосередньо зумовлює стратегію технологічної обробки та прогнозований строк експлуатації виробу. Враховуючи виявлену залежність між сировинним складом та морфологічною стабільністю поверхні, процес проектування текстильного виробу повинен базуватися на принципах запобігання зношування змінам структури нитки [33].

Згідно із даними сучасних досліджень [34, 35], інтенсивність ворсоутворення може бути нівельована ще на етапі виробництва полотна шляхом оптимізації режимів обробки. Для тканин з високим вмістом натуральної вовни (зразок №1) ефективними є технології ворсостригання та термічної фіксації, які видаляють вільні кінці волокон і «запечатують» поверхню нитки. Це підтверджує, що вибір технології оздоблення має бути адаптований до показників ворсистості.

Ворсистість матеріалу диктує вимоги до налаштування швейного обладнання. Згідно із працями фахівців у галузі швейного виробництва [36], обробка тканин, схильних до пілінгування, вимагає мінімізації механічного тертя робочих органів. Зокрема, доцільним є підбір голково-ниткової пари для запобігання мікроскопічним розривам структури нитки, які провокують подальший вихід ворсу, доцільно використовувати голки з кулястим вістрям (типу *SES* або *SUK*). Контроль тиску лапки через зменшення сили притискання лапки знижує ймовірність механічного пошкодження поверхневого шару волокон, що запобігає «зародженню» пілей під час збирання вузлів виробу.

Врахування експлуатаційного пілінгування на етапі конструювання (технологія *Design for Longevity*) є критично важливим для тканин з високим показником приведеної довжини ворсу. Методики, описані в [37], рекомендують мінімізацію декоративних швів та строчок у зонах активного тертя (ліктьові згини, підпахові ділянки), оскільки механічне напруження шва стає

каталізатором виходу волокон на поверхню. Використання закритих методів обробки країв (наприклад, обробка окантовкою або підкладкою), яка ізолює зрізи полотна, перешкоджаючи випаданню волокон під дією циклічних навантажень.

Таким чином, ворсистість є ключовим чинником, який інтегрує етап проектування тканини із технологією виготовлення виробу. Використання у складі тканин різних видів волокон (зразки №2 та №3) у поєднанні з адаптованими швейними режимами дозволяє трансформувати схильність до пілінгування в контрольований показник, забезпечуючи високу якість готової продукції.

За результатами проведених досліджень ворсистості текстильних матеріалів можна зробити наступні висновки:

1. Запропонований метод оцінки ворсистості тканин поєднує ваговий метод із методами оптичної мікроскопії, дозволив усунути обмеження традиційних способів оцінки. Перехід до використання інтегрального якісного критерію — приведеної довжини ворсу — забезпечив можливість нівелювати вплив лінійної щільності ниток та об'єктивно порівнювати матеріали різної сировинної природи.

2. Експериментально підтверджено, що сировинний склад є вирішальним фактором морфологічної стабільності поверхні. Встановлено, що зразок №1 (100% вовна) демонструє найвищу інтенсивність до ворсоутворення (частка видаленого ворсу 5,48%) через природну звивистість та лусочкову структуру волокон. Введення до складу тканини 20% поліестеру (зразок №2) та 14% льону (зразок №3) забезпечує структурну стабілізацію та зниження частки видаленого ворсу до 3,88% та 3,74% відповідно.

3. Комбінування вовни із синтетичними або натуральними волокнами (льон) у складі тканин із вовни є дієвим інструментом керування ворсистістю. Отримані результати підтверджують, що структурна стабілізація поверхні, досягнута за рахунок введення цих компонентів, дозволяє подовжити термін «естетичного життя» виробу та підвищити його опірність до пілінгування.

4. Встановлено тісний зв'язок між довжиною вільно виступаючих кінців волокон та експлуатаційною довговічністю тканин. Доведено, що контроль ворсистості на етапі проектування тканини та адаптація швейних технологій (підбір голково-ниткової пари, оптимізація тиску лапки) дозволяють мінімізувати виробничі ризики та забезпечити відповідність готової продукції встановленим вимогам до якості.

РОЗДІЛ 3 ОХОРОНА ПРАЦІ

Проведення досліджень в галузі матеріалознавства текстилю передбачає виконання комплексу складних експериментальних операцій, які супроводжуються впливом специфічних виробничих факторів. Ефективність наукового пошуку нерозривно пов'язана із безпекою праці, оскільки будь-яке порушення санітарно-гігієнічних або технічних норм створює загрозу не лише для здоров'я дослідника, а й для метрологічної достовірності отриманих результатів.

У даному розділі проаналізовано умови праці в лабораторії ХНТУ, ідентифіковано потенційні ризики при роботі із текстильними матеріалами, а також обґрунтовано організаційну систему навчання персоналу. Метою розділу є розробка цілісного підходу до управління безпекою, який поєднує нормативні вимоги із практичними методами мінімізації впливу людини на умови проведення досліджень.

3.1 Аналіз умов праці в лабораторії для дослідження текстильних матеріалів

Ефективність проведення досліджень в галузі матеріалознавства текстилю безпосередньо залежить від стану виробничого середовища, в якому проводяться випробування.

Лабораторія ХНТУ, в якій проводились дослідження текстильних матеріалів належить до об'єктів з особливими умовами праці, в якій відповідно до вимог нормативних документів, робочі місця мають бути адаптовані до специфіки досліджень, щоб мінімізувати вплив шкідливих чинників на дослідника.

Згідно з ДСН 3.3.6.042-99 «Санітарні норми мікроклімату виробничих приміщень», оптимальні параметри мікроклімату є критичними не лише для здоров'я працівника, а й для точності результатів експерименту [38].

Аналіз мікрокліматичних умов у лабораторії є обов'язковим етапом забезпечення метрологічної достовірності результатів проведених досліджень та дотримання вимог охорони праці. Робочий процес у лабораторії включає підготовку проб, їх мікроскопічне дослідження та випробування, що класифікує умови праці як категорію Ia (легка робота), проте висуває специфічні вимоги до параметрів навколишнього середовища.

Враховуючи, що об'єктами досліджень виступають тканини із вовни, суміші вовни з льоном та синтетичними волокнами, стабільність мікроклімату стає вирішальним фактором якості вимірювань. Вовна та льон є природними гідрофільними матеріалами, фізико-механічні показники яких безпосередньо залежать від вологості повітря. Відхилення від нормативних значень (40–60%) призводить до неконтрольованої сорбції або десорбції вологи матеріалом, що впливає на результати порівняльного аналізу між натуральними та синтетичними волокнами. Температурний режим (22–24 °C у холодний період та 23–25 °C у теплий) також повинен залишатися стабільним протягом усієї роботи з матеріалом, оскільки теплові коливання впливають на швидкість протікання внутрішньо волоконних процесів.

Особливу увагу слід приділяти вентиляційному режиму та системі видалення газів, оскільки використання відкритого полум'я або газових пальників для випалювання ворсу створює ризик забруднення повітря продуктами повного та неповного згоряння, включаючи оксиди вуглецю, діоксид сірки та дрібнодисперсний волокнистий пил. Для нівелювання цих факторів приміщення повинно бути оснащено припливно-витяжною вентиляцією, що забезпечує нормативну кратність повітрообміну, характерну для хімічних лабораторій. Витяжна шафа, обладнана локальним відсмоктувачем безпосередньо над зоною термічної обробки, підтримує швидкість руху повітря в робочому отворі не менше 0,5 м/с. Це гарантує ефективне захоплення та видалення продуктів піролізу, унеможливаючи їх потрапляння в дихальні шляхи дослідника.

Значна частина лабораторних робіт, зокрема мікроскопічний аналіз структури волокон та високоточне зважування, вимагає інтенсивної зорової концентрації. Згідно з вимогами ДБН В.2.5-28:2018 «Природне і штучне освітлення», рівень освітленості робочих місць підтримується на позначці не менше 500 лк [39]. При цьому в лабораторії реалізовано комбіновану систему освітлення: поєднання загального рівномірного світлового потоку із локальним підсвічуванням за допомогою настільних ламп із регульованим спектром. Такий підхід мінімізує виникнення небажаних відблисків на матових поверхнях вимірювальних приладів та дисплеях комп'ютерної техніки, що суттєво зменшує втому очей та ризик помилок під час обробки даних.

Акустичний та вібраційний комфорт є завершальним елементом ергономічної організації праці. Фоновий шум від роботи вентиляційних систем, компресорів та лабораторного обладнання підтримується в межах гранично допустимих значень (50–60 дБА згідно з ДСН 3.3.6.037-99), що забезпечує сприятливий психоемоційний стан персоналу. Окремої уваги потребує вібраційна стабільність при роботі із аналітичними вагами. Оскільки незначні коливання можуть призвести до похибок при визначенні маси зразків тканини, всі високочутливі прилади встановлені на спеціальні масивні антивібраційні столи.

Проведений аналіз умов праці в лабораторії засвідчує, що організація робочого простору відповідає сучасним нормативним вимогам та специфіці дослідження текстильних матеріалів. Поєднання ефективних систем вентиляції, належного рівня освітленості та захисту від вібрацій створює необхідне підґрунтя для отримання достовірних результатів під час проведення досліджень.

Дотримання встановлених мікрокліматичних параметрів не лише мінімізує виробничі ризики для дослідника, а й унеможливорює виникнення метрологічних похибок, які можуть бути спричинені зовнішніми чинниками. Це гарантує достовірність результатів під час проведення досліджень тканин із вовни та її сумішей, що є фундаментальною передумовою для успішної наукової роботи.

3.2 Організаційні заходи забезпечення безпеки: система проведення інструктажів

Організаційним фундаментом системи управління охороною праці в лабораторії ХНТУ є безперервний процес навчання та інструктування персоналу. Враховуючи роботу з відкритим полум'ям, прецизійним оптичним обладнанням та хімічно активними компонентами при дослідженні текстилю, рівень підготовки дослідника є вирішальним фактором запобігання травматизму та аварійним ситуаціям.

Система інструктажів не є суто формальним заходом, а виступає фундаментом культури безпеки, критично важливим інструментом мінімізації негативного впливу «людського фактору». Необхідність такої системи зумовлена насамперед високою динамічністю ризиків, яка властива для науково-дослідницької діяльності. Оскільки експериментальні протоколи часто передбачають зміну методів — від стандартного випалювання ворсу до складних процедур хімічної модифікації поверхні волокна, — дослідник повинен володіти навичками миттєвої адаптації до нових вимог безпеки. У таких умовах інструктаж стає інструментом пильності, який запобігає професійній деформації, за якої звичні дії можуть сприйматися як повністю безпечні. Окрім захисту здоров'я персоналу, чітка регламентація дій забезпечує збереження цілісності високочутливого обладнання. Будь-які некомпетентні маніпуляції із аналітичними вагами або мікроскопами здатні не лише спричинити травму, а й призвести до виходу з ладу прилади та поставити під загрозу реалізацію всього процесу дослідження та достовірність отриманих результатів.

Не менш важливим є аспект міжособистісної відповідальності: оскільки лабораторія часто функціонує як колективний простір, де одночасно працює декілька дослідників, синхронізація дій кожного учасника є обов'язковою. Глибоке усвідомлення всіма працівниками правил поведінки, зокрема особливостей поводження з відкритим полум'ям у середовищі вогнетривких та легкозаймистих волокон, стає надійною колективною гарантією безпеки для

кожного дослідника, перетворюючи дотримання норм охорони праці на невід’ємну складову професійної наукової етики.

Згідно із вимогами Типового положення про порядок проведення навчання і перевірки знань з питань охорони праці (НПАОП 0.00-4.12-05) [40], система навчання в лабораторії побудована як багаторівнева та включає кілька видів інструктажу:

- вступний інструктаж, який забезпечує формування базової «культури безпеки» у дослідника, визначаючи пріоритет життя та здоров’я над швидкістю виконання експерименту. Цей вид інструктажу є обов’язковим для всіх осіб (здобувачів вищої освіти, практикантів, працівників), які вперше прибувають до лабораторії. Його проводить фахівець з охорони праці для формування базових знань про структуру об’єкта, розташування засобів пожежогасіння та правила внутрішнього розпорядку;
- первинний інструктаж, який має чітко виражений практичний характер та проводиться безпосередньо на робочому місці перед початком будь-якої діяльності. Дослідник не просто ознайомлюється із інструкцією, а демонструє навички роботи із обладнанням під наглядом керівника. Це дозволяє виявити прогалини у знаннях до початку реального дослідження;
- повторний інструктаж спрямований на підтримання високого рівня обізнаності персоналу. Він виконується за програмою первинного інструктажу: не рідше одного разу на 3 місяці для робіт підвищеної небезпеки та раз на 6 місяців для інших видів робіт;
- позаплановий інструктаж стає необхідним у разі модернізації лабораторного обладнання, зміни методики проведення досліджень (наприклад, перехід на інший тип хімічної обробки волокон) або після виявлення порушень правил безпеки;
- цільовий інструктаж проводиться під час виконання разових робіт, на які оформлюється наряд-допуск, а також у разі виникнення аварійних ситуацій.

Ключовою особливістю організації праці в лабораторії є те, що всі інструктажі (окрім вступного) проводить безпосередній керівник робіт. Процес не обмежується лише теоретичним викладом матеріалу; він обов'язково завершується перевіркою знань та практичних навичок. Дослідник має продемонструвати безпечні методи поводження з приладами під наглядом інструктора. Алгоритм проведення та реєстрації інструктажів наведено на рис. 3.1.

У разі незадовільних результатів перевірки знань (після первинного, повторного або позапланового інструктажів) дослідник відсторонюється від роботи, а протягом наступних 10 днів проводиться додатковий інструктаж із повторною перевіркою.



Рисунок 3.1 – Алгоритм проведення та реєстрації інструктажів

При отриманні незадовільної оцінки після цільового інструктажу допуск до роботи не надається без права на повторну перевірку, що підкреслює високу відповідальність науковця за безпеку експерименту.

Записи про проведення всіх інструктажів (первинного, повторного, позапланового, цільового) фіксуються у «Журналі реєстрації інструктажів на робочому місці». Реєстрація таких інструктажів у журналах є не лише вимогою Закону України «Про охорону праці» [41], а й документованим свідченням професійної відповідальності науковця перед самим собою та колективом. Відповідно до вимог, сторінки журналу є пронумерованими, прошнурованими та скріпленими печаткою організації. Підпис у журналі є юридичним підтвердженням того, що дослідник повністю усвідомлює небезпеки, притаманні роботі з текстильними матеріалами, і бере на себе зобов'язання щодо дотримання правил безпечної експлуатації лабораторного обладнання.

Підсумовуючи результати аналізу стану охорони праці та організації робочого середовища в лабораторії, можна констатувати, що підтримка параметрів повітряного середовища, зокрема відносної вологості в межах 40–60% та температури 22–25°C, є не лише санітарно-гігієнічною нормою, а й критичним технологічним чинником, оскільки для гігроскопічних волокон, таких як вовна та льон, відхилення від цих значень призводять до виникнення метрологічних похибок. Завдяки ідентифікації небезпечних факторів, включаючи термічний вплив відкритого полум'я та фізико-психологічне навантаження, було розглянуто комплекс захисних заходів, де ефективна робота витяжних систем, локальне екранування та використання антивібраційних платформ дозволили локалізувати шкідливі впливи в межах гранично допустимих значень.

Важливим елементом є також багаторівнева система навчання, яка виходить за межі формального дотримання нормативів, інтегруючи перевірку практичних навичок у процес допуску до обладнання, що дозволяє мінімізувати ймовірність помилок через «людський фактор».

Завдяки поєднанню комплексної системи документального контролю та безперервного моніторингу виробничого середовища досягається повна відповідність лабораторних умов чинним національним стандартам, що забезпечує синергію між охороною здоров'я дослідника та отриманням в результаті проведення досліджень точних наукових результатів.

ВИСНОВКИ

За результатами проведених досліджень ворсистості текстильних матеріалів сформульовано наступні висновки:

1. Запропонований метод оцінки ворсистості тканин, який поєднує ваговий метод із методами оптичної мікроскопії, дозволив усунути обмеження традиційних способів оцінки. Перехід до використання якісного критерію — приведеної довжини ворсу — забезпечив можливість нівелювати вплив лінійної густини ниток та об'єктивно порівнювати матеріали різного сировинного складу.

2. Експериментально підтверджено, що сировинний склад є вирішальним фактором морфологічної стабільності поверхні. Встановлено, що зразок №1 (100% вовна) демонструє найвищу інтенсивність до ворсоутворення (частка видаленого ворсу 5,48%) через природну звивистість та лусочкову структуру волокон. Введення до складу тканини 20% поліестеру (зразок №2) та 14% льону (зразок №3) забезпечує структурну стабілізацію та зниження частки видаленого ворсу до 3,88% та 3,74% відповідно.

3. Комбінування вовни із синтетичними або натуральними волокнами (льон) є дієвим інструментом керування ворсистістю. Отримані результати підтверджують, що структурна стабілізація поверхні, досягнута за рахунок введення цих компонентів, дозволяє подовжити термін «естетичного життя» виробу та підвищити його опірність до пілінгування.

4. Встановлено тісний зв'язок між довжиною вільно виступаючих кінців волокон та експлуатаційною довговічністю тканин. Доведено, що контроль ворсистості на етапі проектування тканини дозволяють мінімізувати виробничі ризики та забезпечити відповідність готової продукції встановленим вимогам до якості.

5. Проведений аналіз умов праці в лабораторії засвідчив, що організація робочого простору відповідає встановленим вимогам. Забезпечення стабільного мікроклімату та ефективної системи місцевої витяжної вентиляції під час термічної обробки зразків є необхідною умовою не лише для безпеки

дослідника, а й для метрологічної достовірності результатів, оскільки мінімізує вплив зовнішніх чинників на сорбційні властивості волокон.

6. Апробація вдосконаленої методики оцінки ворсистості підтвердила її високу ефективність для тканин, виготовлених із суміші волокон. Розширення сфери застосування цього методу на тканини з вмістом льону та поліестеру дозволило отримати експериментальні дані, які є базою для створення цифрових моделей прогнозування якості текстилю на етапі проектування.

7. Практична цінність отриманих результатів полягає у розробці конкретних рекомендацій щодо раціонального вибору технологічних режимів виготовлення тканин, схильних до ворсоутворення. Впровадження запропонованих заходів забезпечить зменшення відсотків браку через пілінгування та дозволить виробникам підвищити конкурентоспроможність продукції на ринку товарів широкого вжитку.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Текстильне матеріалознавство: навч. посіб. для студ. вищих навч. закладів / Е. П. Дрегуляс, В. В. Рибальченко, Н. П. Супрун. - К.: КНУТД, 2011. – 430 с.
2. Славінська А. Л., Смачило О. В., Кошевка Ю. В. Матеріалознавство та конвекційне виробництво текстильних виробів: Підручник. — К.: Каравела, 2018. — 380 с.
3. Кущевський М. О., Швець Г. С. М34 Матеріалознавство швейного виробництва: навчальний посібник / М. О. Кущевський, Г. С. Швець. – К.: Видавничий дім «Кондор», 2021. – 412 с.
4. Головня В. Д., Остапенко Н. В., Колосніченко М. В. Матеріалознавство та експертиза текстильних матеріалів: Навчальний посібник. — К.: КНУТД, 2020. — 256 с.
5. Березненко М. П., Березненко С. Т. Проектування властивостей текстильних матеріалів та їх оцінка: Підручник. — К.: Інкос, 2015. — 312 с.
6. Рибальченко В. В. Матеріалознавство. Текстильні та швейні матеріали: Навчальний посібник. — Харків: УІПА, 2017. — 288 с.
7. Пашкевич К. О. Проектування одягу із заданими властивостями: Монографія. — К.: НВП «Інтерсервіс», 2017. — 240 с.
8. Герасимчук О. П., Ткачук О. В. Текстильне матеріалознавство: Лабораторний практикум для студентів технологічних спеціальностей. — Луцьк: ЛНТУ, 2022. – 55с.
9. Hairiness as a surface property of textiles / K. Smykalo et al. *Bulletin of the Kyiv National University of Technologies and Design. Technical Science Series*. 2020. Vol. 138, no. 5. P. 62–70. URL: <https://doi.org/10.30857/1813-6796.2019.5.7> (date of access: 03.02.2026)
10. Розробка технології проектування структури тканини та умов заправлення ниток основи на ткацьких верстатах [Текст]: автореф. дис... канд.

техн. наук: 05.19.03 / Чепелюк Олена Валеріївна ; Херсонський держ. технічний ун-т. - Херсон, 2002. - 20 с.

11. Адаптація fashion-індустрії до глобальних світових процесів / М. В. Івасенко та ін. *Fashion Industry*. 2021. № 3. С.36–40. URL: <https://doi.org/10.30857/2706-5898.2020.3.1> (дата звернення: 03.02.2026)

12. Beltran R., Wang L., Wang X. A controlled experiment on yarn hairiness and fabric pilling. *Textile Research Journal*. 2007. №77(3) P. 179-183.

13. Ashraf U., Hussain T., Jabbar A. Effect of cotton fiber and yarn characteristics on color variation in woven fabric dyed with vat dyes. *The Journal of The Textile Institute*. 2014. №105(12). P. 1287-1292.

14. Behera B. K., Hari P. K. Woven textile structure: Theory and applications: Elsevier, 2010. 472 p.

15. Strazdienė E. et al. The evaluation of fabric treatment by Griff tester and sensory analysis. *International Journal of Clothing Science and Technology*. 2006. 315p.

16. Atalie D., Rotich G. K. Impact of cotton parameters on sensorial comfort of woven fabrics. *Research Journal of Textile and Apparel*. 2020. Vol. 24, no. 3. P. 281–302. URL: <https://doi.org/10.1108/rjta-01-2020-0004> (date of access: 06.02.2026)

17. Ajayi, Joseph O. An attachment to the constant rate of elongation tester for estimating surface irregularities of fabrics. *Textile research journal*, 1994, №64(8). P. 475-479.

18. Effect of finishing resins on mechanical and surface properties of cotton Denim fabrics / N. Litim et al. *The Journal of The Textile Institute*. 2017. Vol. 108, no. 11. P. 1863–1870. URL: <https://doi.org/10.1080/00405000.2017.1297015> (date of access: 06.02.2026)

19. Mooneghi S. A., Saharkhiz S., Varkiani S. M. H. Surface Roughness Evaluation of Textile Fabrics: A Literature Review. *Journal of Engineered Fibers and Fabrics*. 2014. Vol.9, no.2. P.155892501400900. URL: <https://doi.org/10.1177/155892501400900201> (date of access: 08.02.2026)

20. Lyu J. et al. Role of Hair Coverage and Sweating for Textile Friction on the Forearm. *Tribology Letters*. –2020. №68(4) P. 1-9.
21. Kayseri G. Ö., Özdil N., Mengüç G. S. Sensorial comfort of textile materials. *Woven fabrics*. 2012. P. 235-66.
22. ISO 10290:2018. ISO. URL: <https://www.iso.org/standard/71879.html> (date of access: 10.02.2026)
23. Chauhan R. S. Yarn hairiness: measurement, effect and consequences. *The Indian Textile Journal*. 2009. T. 119. №. 5. P. 36-43.
24. Standard Guide for Measuring Hairiness of Yarns by the Photo-Electric Apparatus. *ERROR: The request could not be satisfied*. URL: <https://store.astm.org/d5647-07r18.html> (date of access: 10.02.2026)
25. Bueno M. A., Durand B., Renner M. Optical characterization of the state of fabric surfaces. *Optical Engineering*. 2000. T. 39. № 6. P.1697-1703.
26. Semnani, D., et al. Surface roughness measurement of weft knitted fabrics using image processing. *Fibres & Textiles in Eastern Europe*. 2011. №3(86). С. 55-59.
27. Pillay K. P. R. A study of the hairiness of cotton yarns part I: effect of fiber and yarn factors. *Textile Research Journal*. 1964. №34(8). P. 663-674.
28. Smykalo K.O., Zakora O.V. Investigation of hairiness of fabric by weight method. *Збірник матеріалів III Міжнародної науково-практичної конференції текстильних та фешн технологій KyivTex&Fashion / за заг. ред. Л. І. Зубкової : (31 жовтня 2019 р., м. Київ). Київ: КНУТД, 2019. С. 231-234.*
29. Barella A., Manich A. M. Yarn hairiness: a further update. *Textile Progress*. 2002. №31(4). P. 1-44.
30. Client Challenge. *Client Challenge*. URL: <https://www.scribd.com/document/553579313/BS-EN-ISO-00139-2005-A1-2011> (date of access: 12.02.2026)
31. Черьопкіна Р.І. Хімічне перероблення недеревної сировини. Вибрані розділи. Лабораторний практикум. Ч. 1 : навч. посіб. / Р.І. Черьопкіна, В.І. Трембус, В.А. Барбаш. – Київ : КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2020. – 61 с.

32. ДСТУ EN 12751:2018. Текстиль. Відбирання волокон, пряжі й текстильних полотен для випробування. Чинний від 2018-01-11. Вид. офіц. Київ : Держспоживстандарт України, 2018. 10 с.

33. Смикало К.О., Загора О.В. Evaluation of Fabric Hairiness by Weighing Method // *Bulletin of the Kyiv National University of Technologies and Design*. 2019. №6. С. 30–39. *Fabrics*. 2014. Vol.9, no.2. P.155892501400900. URL: <https://doi.org/10.30857/1813-6796.2019.6.3>

34. Kumpikaitė E., Tautkutė-Stankuvienė I., Simanavičius L., Petraitienė S. The Influence of Finishing on the Pilling Resistance of Linen/Silk Woven Fabrics. *Materials*. 2021. Vol. 14, No. 22. Article 6787. DOI: <https://doi.org/10.3390/ma14226787>

35. ДСТУ ISO 12945-1:2005. Матеріали текстильні. Визначення схильності тканини до поверхневої заворсованості та пілінгованості. Частина 1. Методи пілінгування в боксі. Чинний від 2019-01-01. Вид. офіц. Київ: ДП «УкрНДНЦ», 2018. 22 с.

36. Hossain M. S., Rashid H. A., Saha S. S. et al. Enhancing Pilling Resistance in Polyester-Cotton Blended Knitted Fabrics through Combined Singeing and Heat Setting Treatments. *Next Materials*. 2025. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.nxmte.2025.101562>

37. Niinimäki K. (Ed.) Sustainable Fashion in a Circular Economy. Aalto University, 2018. 423p.

38. Санітарні норми мікроклімату виробничих приміщень ДСН 3.3.6.042-99. *Офіційний веб портал парламенту України*. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/rada/term/va042282-99> (дата звернення: 04.04.2026)

39. ІПС ЛІГА:ЗАКОН - система пошуку, аналізу та моніторингу нормативно-правової бази. URL: <https://ips.ligazakon.net/document/DBN00078> (дата звернення: 04.04.2026)

40. Про затвердження Типового положення про порядок проведення навчання і перевірки знань з питань охорони праці (НПАОП 0.00-4.12-05) та Переліку робіт з підвищеною небезпекою. *Офіційний веб портал парламенту*

України. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/z0231-05#Text> (дата звернення: 05.04.2026)

41. Закон України від 14.10.1992 № 2694-ХІІ Про охорону праці. *БУДСТАНДАРТ Online - нормативні документи будівельної галузі України*. URL: https://online.budstandart.com/ua/catalog/doc-page.html?id_doc=61107 (дата звернення: 05.04.2026)