

**ДЕВОГУЦ ДЕНИС**

Київський національний університет технологій та дизайну, Україна

e-mail: [devohuts.dv@knutd.edu.ua](mailto:devohuts.dv@knutd.edu.ua)<https://orcid.org/0009-0004-2944-450X>**ГАЛАВСЬКА ЛЮДМИЛА**

Київський національний університет технологій та дизайну, Україна

e-mail: [galavska.ly@knutd.edu.ua](mailto:galavska.ly@knutd.edu.ua)<https://orcid.org/0000-0002-6994-6641>**ДИФЕРЕНЦІЙОВАНИЙ ПІДХІД ДО МЕХАНІЧНОГО  
ОПОРЯДЖЕННЯ ВОРСОВОГО ТРИКОТАЖНОГО  
МАТЕРІАЛУ ТИПУ «POLAR FLEECE»**

**Мета.** Обґрунтування та розробка енергоефективного технологічного циклу механічного опорядження ворсового трикотажу типу «Polar fleese», який забезпечує виконання нормативних вимог технічних специфікацій Міністерства Оборони України (ТС МОУ) за показниками товщини та повітропроникності без залучення спеціалізованих розчісувальних машин.

**Методи.** У роботі використано комплексний підхід, що включає експериментальні дослідження впливу параметрів 6-етапного диференційованого ворсування на двобарабанному обладнанні на текстуру поверхні полотна. Лабораторні випробування фізико-механічних показників проведено згідно з ДСТУ ISO 5084:2004, ДСТУ ISO 9237:2003 та ДСТУ ISO 12945-2:2005. Теоретичний аналіз теплофізичних властивостей базувався на моделях теплового опору згідно з ISO 11092.

**Результати.** Встановлено, що класична схема опорядження «Raising – Combing», яка використовується в імпортних аналогах, призводить до надмірної структурної консолідації ворсу, що спричиняє редуцію повітропроникності нижче  $600 \text{ дм}^3/(\text{м}^2\text{с})$  та зменшення товщини. Доведено, що застосування запропонованого 6-етапного циклу «ворсування – валяння – імітаційне чесання» на універсальних ворсувальних машинах дозволяє досягти нормативної товщини 5,0 мм та повітропроникності понад  $600 \text{ дм}^3/(\text{м}^2\text{с})$ .

**Наукова новизна.** Вперше обґрунтовано можливість імітації процесу антипілінгового розчісування на універсальному ворсувальному обладнанні шляхом прецизійного керування швидкісними режимами роликів «ворс – противорс» на фінальному етапі опорядження, що забезпечує збереження капілярно-пористої структури матеріалу (Loft-ефекту).

**Практичне значення.** Розроблено та впроваджено у промислове виробництво технологічний цикл опорядження ворсового трикотажу «Polar fleese», який забезпечує високі теплофізичні характеристики порівняно з іноземними аналогами без додаткових капітальних інвестицій у спеціалізоване обладнання.

**Ключові слова:** ворсовий трикотаж; фліс; механічне опорядження; повітропроникність; товщина ворсового трикотажу; пілінгостійкість.

# A DIFFERENTIATED APPROACH TO THE MECHANICAL FINISHING OF "POLAR FLEECE" TYPE PILE KNITTED FABRIC

DEVOHUTS DENYS, HALAVSKA LIUDMYLA  
Kyiv National University of Technologies and Design, Ukraine

**Purpose.** Justification and development of an energy-efficient technological cycle for the mechanical finishing of "Polar fleece" pile knitted fabric, which ensures compliance with the regulatory requirements of the technical specifications of the Ministry of Defense of Ukraine (TS MODU) in terms of thickness and air permeability without the use of specialized combing machines.

**Methodology.** The study employs a comprehensive approach that includes experimental research on the influence of the parameters of a 6-stage differentiated raising on the fabric's surface texture using double-drum equipment. Laboratory tests of physical and mechanical indicators were conducted in accordance with DSTU ISO 5084:2004, DSTU ISO 9237:2003, and DSTU ISO 12945-2:2005. The theoretical analysis of thermophysical properties is based on thermal resistance models, as specified in ISO 11092.

**Results:** It was established that the classical "Raising – Combing" finishing scheme used in imported analogs results in excessive structural consolidation of the pile, reducing air permeability below  $600 \text{ dm}^3/(\text{m}^2\text{s})$  and decreasing thickness. It was proven that the application of the proposed 6-stage cycle "raising – felting – imitative combing" on universal raising machines enables achieving a normative thickness of 5.0 mm and an air permeability exceeding  $600 \text{ dm}^3/(\text{m}^2\text{s})$ .

**Scientific novelty:** For the first time, the possibility of imitating the anti-pilling combing process on universal raising equipment was substantiated through the precision control of the speed modes of the "pile and counter-pile" rollers at the final finishing stage, which ensures the preservation of the material's capillary-porous structure (Loft effect).

**Practical significance:** A technological cycle for finishing "Polar fleece" pile knitted fabric was developed and implemented, providing high thermophysical characteristics compared to foreign analogs without additional capital investments in specialized equipment.

**Keywords:** pile knitted fabric; fleece; mechanical finishing; air permeability; the thickness of the pile knit fabric; pilling resistance.

**Вступ.** Створення сучасного функціонального текстилю для експлуатації в умовах низьких температур вимагає комплексного підходу до проектування його структури. Текстильні матеріали типу «Polar fleece» займають особливе місце у цій категорії завдяки здатності забезпечувати високу теплоізоляцію при мінімальній вазі. Сфера їхнього застосування охоплює професійний спортивний одяг, екіпування для екстремального туризму, а також спеціальні вироби, що регламентуються жорсткими галузевими нормами. Наразі одним з таких документів є технічна специфікація Міністерства оборони України [ТС МОУ А01XJ.30655-291:2020 (01)]. Основним чинником, що забезпечує теплозахисні властивості таких матеріалів, є здатність ворсового шару утримувати значний об'єм нерухомого повітря. Проте функціональність матеріалу в умовах активного

руху (метаболічного теплоутворення) визначається не лише теплоізоляцією, а й здатністю до ефективного паровідведення. Останнє реалізується через механізм повітропроникності, що дозволяє уникнути конденсації вологи всередині пакета одягу та наступного переохолодження організму. Таким чином, постає складне завдання досягнення балансу між геометричними (товщина  $> 5,0 \text{ мм}$ ) та дифузійними (повітропроникність  $> 600 \text{ dm}^3/(\text{m}^2\text{s})$ ) характеристиками.

**Аналіз попередніх досліджень.** Аналіз сучасних наукових праць свідчить, що теплозахисні властивості текстильних матеріалів визначаються передусім здатністю їх пористої структури утримувати нерухоме повітря, яке виступає основним теплоізоляційним середовищем. Зокрема, у дослідженнях високопористих («high-loft») матеріалів встановлено, що збільшення пористості та об'ємності структури

забезпечує підвищення термічного опору за рахунок формування значної кількості повітряних прошарків. Водночас доведено, що експлуатаційні фактори, зокрема стискання матеріалу, можуть суттєво знижувати ефективність теплоізоляції через зменшення об'єму захопленого повітря та порушення структури волокнистого шару [1].

Разом з тим, низка досліджень акцентує увагу на тому, що термофізіологічний комфорт визначається не лише статичними теплоізоляційними характеристиками, а й процесами тепломасообміну, які відбуваються в умовах реальної експлуатації одягу [2]. Зокрема, встановлено, що повітропроникність і проникність структури матеріалу безпосередньо впливають на інтенсивність конвективного теплообміну та видалення водяної пари, що утворюється внаслідок потовиділення. При цьому надмірна проникність може призводити до зниження теплозахисних властивостей через інтенсифікацію конвекції, особливо за умов впливу зовнішніх повітряних потоків [3-5].

Дослідження структурних параметрів текстильних матеріалів підтверджують існування зворотної залежності між товщиною, масою та щільністю матеріалу і його повітропроникністю: зі збільшенням товщини та щільності спостерігається зниження повітропроникності при одночасному зростанні теплового опору [6]. Це зумовлює необхідність оптимізації структурних параметрів матеріалу залежно від умов експлуатації [7].

Окремі наукові підходи розглядають текстиль як багатошарову систему, у якій процеси теплопередачі реалізуються через поєднання теплопровідності, конвекції та випромінювання, а ефективність теплозахисту визначається взаємодією між шарами та їх повітропроникністю [8]. Встановлено, що у динамічних умовах експлуатації (рух, вітер) роль повітропроникності суттєво зростає, оскільки вона визначає інтенсивність повітрообміну та стабільність мікроклімату у підодяговому просторі [5, 9].

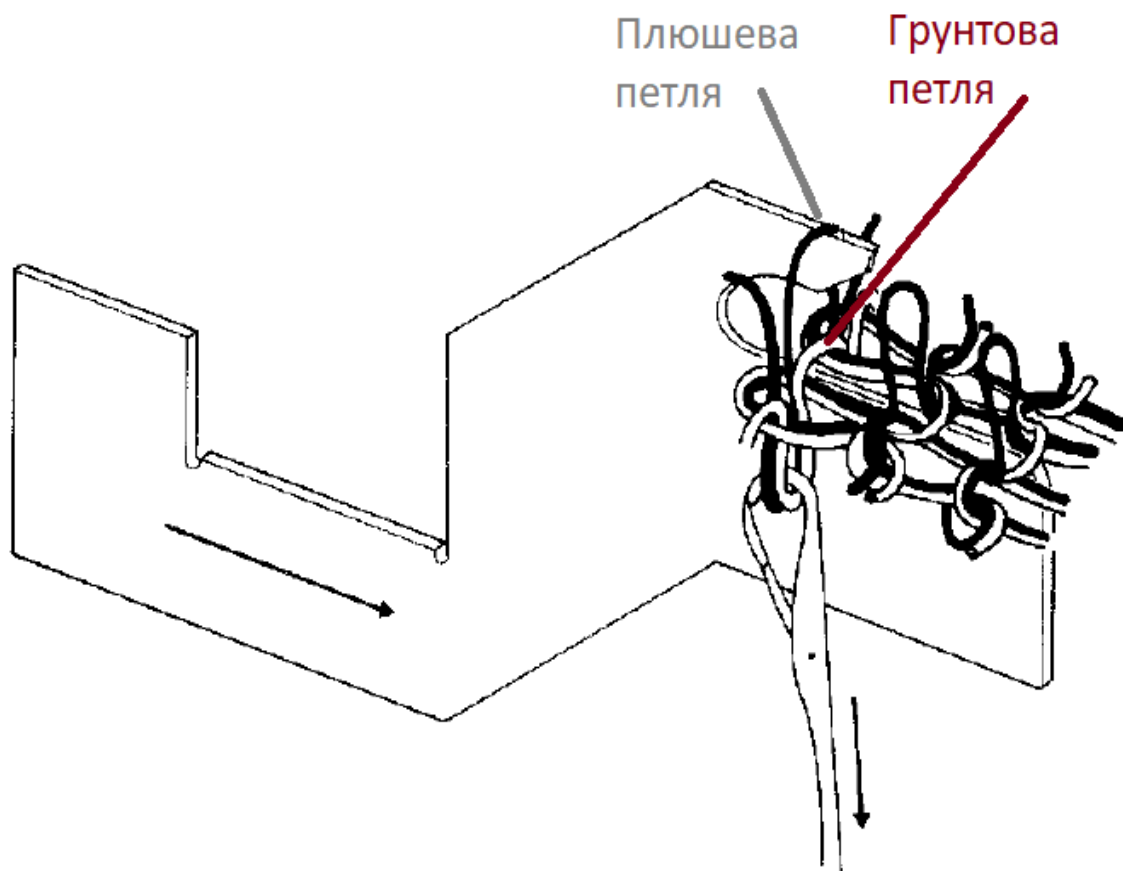
Аналіз наукової літератури свідчить про глибоке вивчення окремих аспектів проєктування ворсових полотен, проте виявляє низку невирішених протиріч.

Фундаментальні основи формування плюшевого трикотажу (sinker pile), що є базою для трикотажного матеріалу типу «Polar fleese», закладені у працях Spencer D.J., де обґрунтовано вибір класів обладнання для створення стабільної петельної структури [10]. Роль геометричних параметрів в'язання у забезпеченні стійкості ворсу досліджували Kaikobad M. та Islam M. S., встановивши пряму залежність між щільністю заповнення полотна та його механічною тривкістю [11]. У контексті термофізіології, Schacher L. та Gunesoglu S. довели, що тепловий опір ворсових матеріалів є функцією їхньої товщини: чим більший об'єм повітряних пасток сформовано у ворсі, тим вищі ізоляційні показники матеріалу [8, 12]. Разом із тим, Waszek M. та Gruszka I. Наголошують, що для матеріалів, призначених для активних дій у холоді, паровідведення через повітряні канали є критичним фактором, який запобігає «ефекту змочування» ворсу [13]. Проте, найважливішим науковим бар'єром є виявлене Özkan I. та Karplangiray V. явище насичення: при досягненні певних значень товщини через механічне начісування, подальше зростання ворсового шару супроводжується стрімким падінням повітропроникності [14]. Це підтверджується у роботі Onofrei E. [7], в якій описано механізм «оклюзії мікропор», за якого вільні філаменти нитки перекривають капілярні канали, блокуючи масообмін. Незважаючи на ці напрацювання, питання збереження високої повітропроникності за товщини  $\geq 5,0$  мм для ворсових трикотажних полотен із нитки 150d/f48, виготовлених на в'язальному обладнанні 24 класу, залишається практично недослідженим. Аналіз сучасних конкурентних зразків трикотажу типу «Polar fleese» показує, що більшість виробників не розв'язують це протиріччя: матеріали або мають недостатню товщину, або демонструють низьку повітропроникність через надмірне механічне ущільнення поверхні.

**Постановка завдання.** Враховуючи вище викладене, наразі залишається невирішеною наступна наукова проблема: відсутність технологічного алгоритму, який би дозволив сформувати ворсовий шар граничної товщини без втрати його дифузійної

спроможності. Існуючі методи механічного опорядження на універсальному обладнанні не забезпечують виконання вимог за обома показниками одночасно, що призводить до створення матеріалів із низькими експлуатаційними характеристиками. Тому розв'язання науково-технічного протиріччя між теплоізоляцією та паровідведенням шляхом розробки диференційованого 6-етапного циклу механічного опорядження є актуальною науковою задачею. Це дозволить забезпечити нормативну товщину  $\geq 5,0$  мм та повітропроникність  $\geq 600$   $\text{дм}^3/(\text{м}^2\text{с})$  за рахунок керованого формування Loft-ефекту без критичної оклюзії пор матеріалу.

**Об'єкти та методи дослідження.** Об'єктом дослідження є процес формування ворсової поверхні трикотажного начісного полотна (100% поліестер) із поверхневою густиною  $250 \pm 20$   $\text{г/м}^2$ . Дослідні зразки ворсового трикотажу №0425 та №0005/1 вироблено на спеціалізованому кругов'язальному обладнанні Pailung PL-KSP (24 клас, діаметр циліндра – 26 дюймів) для одержання трикотажу плюшевого переплетення. Вибір 24 класу (E24) базується на необхідності створення високої щільності точок закріплення плюшевих (ворсових) петель у структурі ґрунту трикотажного матеріалу (рис. 1).



**Рис. 1. Процес формування трикотажу плюшевого переплетення як основи текстильного матеріалу типу «Polar fleece»**

У якості ґрунтової використано поліестерову текстуровану нитку лінійної густини 100D/F36/1 NIM. Для утворення ворсового (плюшевого) шару обрано поліестерову нитку 150D/F48/1 NIM з круглою формою поперечного перерізу філаментів. Вибір нитки 150d/48f є науково обґрунтованим. Згідно з дослідженнями

Farha et al. [15] така кількість філаментів з товщиною одиничного волокна близько 3,125 денне забезпечує необхідну жорсткість ворсу на згин, що дозволяє протистояти компресії, на відміну від мікрофіламентних ниток, схильних до швидкого злежування.

Як зазначає Spencer D.J. [10], крок голок у 1,058 мм дозволяє сформувати компактну

петельну основу, яка надійно утримує корінь ворсу під час агресивної механічної дії ворсувальних роликів. Для прецизійного контролю довжини нитки в петлі та стабільності натягу під час в'язання використано пристрій MLT WESCO.

Відповідно до мети роботи, використано комплекс інструментальних методів контролю фізико-механічних та функціональних показників якості ворсового трикотажного матеріалу типу «Polar fleece». Зокрема:

- поверхневу густину вимірювали шляхом зважування зразків, вирізаних круговим різаконм площею 100 см<sup>2</sup>, на аналітичних вагах;

- повітропроникність визначено на приладі Air Permeability Tester (ProWhite, Туреччина) згідно з ДСТУ ISO 9237:2003. Заміри проведено при постійному перепаді тиску 50 Па, що відповідає умовам експлуатації матеріалу як утеплювача другого шару;

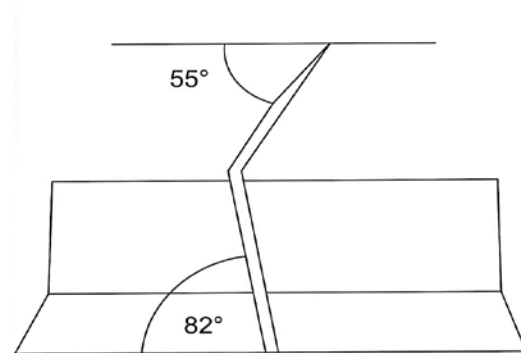
- товщину полотна замірювали з використанням спеціалізованого товщиноміра з площею притискної лапки 25 см<sup>2</sup>. Для збереження нативної (первинної) структури ворсу використовувався тиск 1 Па згідно з ДСТУ ISO 5084:2004;

- стійкість до утворення пілей досліджено на приладі Мартіндейла (2000 циклів) із наступною оцінкою за еталонними шаблонами згідно з ДСТУ ISO 12945-2:2005;

- розтяжність по ширині оцінювали кільцевим методом (розмір зразка 200×50 мм) при навантаженні 6 Н;

- зміну лінійних розмірів після мокрих обробок перевірено після циклу прання при температурі 40 °С згідно з ДСТУ ISO 5077:2001 та ДСТУ ISO 6330:2001.

**Результати дослідження та обговорення.** Механічне опорядження зразка №0425 реалізовано на універсальній двобарабанній ворсувальній машині Mario Crosta (MC 20/24GF) за розробленим диференційованим 6-етапним циклом. Характеристику кардочесальної стрічки наведено на рис. 2. Нижній барабан виконує класичну операцію розворсовування (raising) (рис. 3). Другий барабан працює у режимі фальцювання (felting) [16].



**Рис. 2. Характеристика кардочесальної стрічки:**

діаметр гачка 0.305 мм, щільність гачків 270 шт./дюйм<sup>2</sup>, висота 11 мм з основою

Процес ворсування трикотажного матеріалу, виробленого плюшевим переплетенням, включав наступні шість етапів.

*1-й етап:* Початкове ворсування лицьової сторони (швидкість полотна 10 м/хв) для делікатного підняття верхніх філаментів.

*2-й етап:* Основне ворсування лицьової сторони (швидкість 12 м/хв, швидкість противорсових роликів 32 об/хв). На цьому етапі відбувається інтенсивне перетягування плюшевої нитки на лицьову сторону для формування густого начосу.

*3-й етап:* Ворсування виворітної сторони (швидкість 12 м/хв) для розвитку симетричної ворсової структури.

*4-й етап:* Стабілізація вивороту (швидкість барабана 120 об/хв) для створення ефекту валяння (felting), що закріплює ворс та запобігає його випаданню.

*5-й етап:* «Імітація розчісування» лицьової сторони. На відміну від класичного combing, швидкість роликів знижувалася до 9–10 об/хв. Це дозволило переорієнтувати ворс та відновити Loft-ефект без критичної оклюзії капілярних каналів, описаної в роботах Özkan et al. [14] та Onofrei et al. [7].

*6-й етап:* Фінальна стабілізація виворітної сторони для остаточного закріплення морфологічних параметрів полотна.

Такий підхід дозволив забезпечити необхідну товщину матеріалу без залучення спеціалізованих розчісувальних (combing) машин, зберігаючи при цьому високу повітропроникність, необхідну для паровідведення під час активних дій [21].

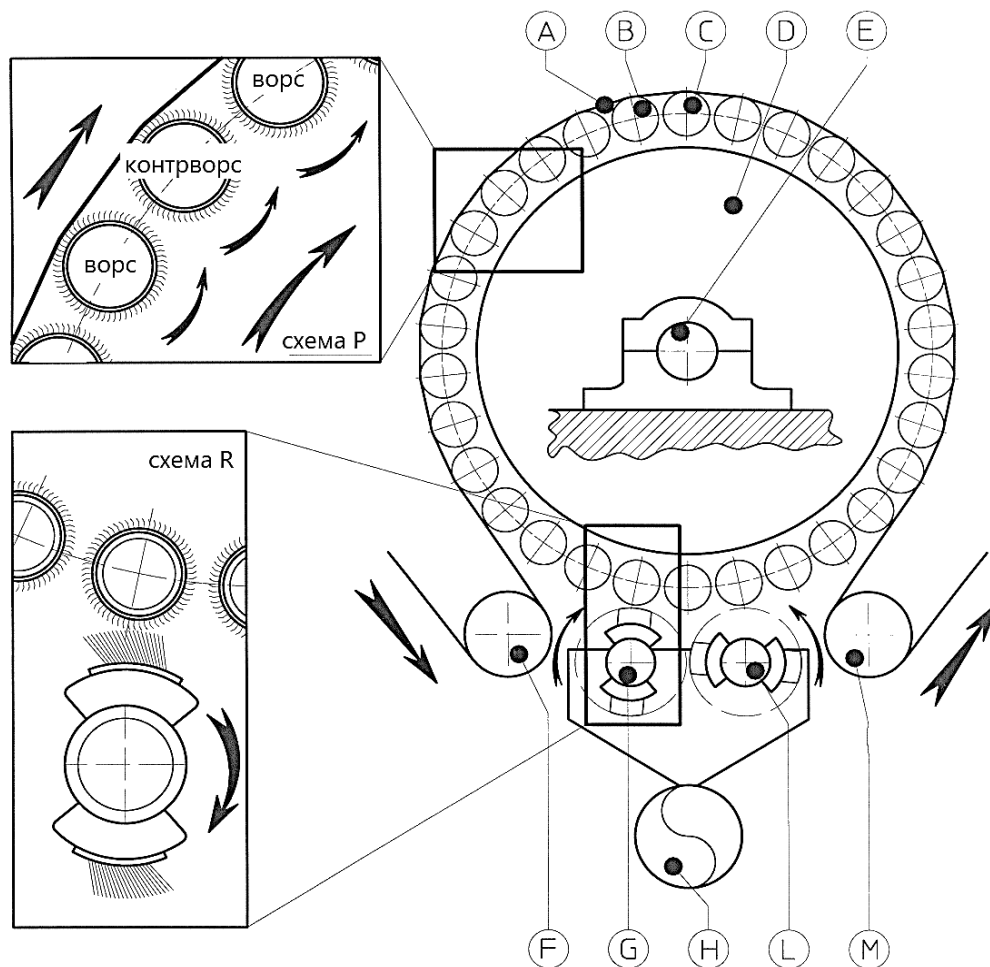


Рис. 3. Схема нижнього ворсувального барабана

**A** – трикотажне полотно; **B** – ворсувальний ролик (ворс); **C** – противорсувальний ролик (контрворс); **D** – головний барабан; **E** – в'їз в головний барабан; **F** – ролик швидкості подачі полотна (вхід); **G** – очисна щітка противорсувальних роликів; **H** – аспіраційний короб; **L** – очисна щітка ворсувальних роликів; **M** – ролик швидкості подачі полотна (вихід)

Експериментальні дослідження функціональних показників якості розроблених ворсових трикотажних матеріалів типу «Polar fleece» та порівняний аналіз їх з наявним імпорнтним аналогом дозволили оцінити ефективність запропонованого диференційованого циклу опорядження. Результати комплексних випробувань зразка №0425, зразка №0005/1 (виготовлено без заключної операції розчісування) та імпорнтного аналога №0082/1 виробництва КНР представлені у таблиці 1.

Аналіз даних таблиці 1 підтверджує висунуту гіпотезу щодо технологічного протиріччя між геометричними та дифузійними параметрами ворсу. Зразок виробництва КНР (0082/1), попри відповідність за візуальними

ознаками ворсовому начісному полотну типу «фліс», не задовольняє вимогам Технічної специфікації Міністерства Оборони України щодо якісних характеристик матеріалу куртки утеплювача [17] за обома ключовими показниками якості: товщина становить лише 4,32 мм, а повітропроникність – 551,56 дм<sup>3</sup>/(м<sup>2</sup>с), що нижче нормативного порогу. Це пояснюється застосуванням агресивного механічного розчісування (combing), яке, хоча і вирівнює ворс, призводить до його надмірного ущільнення та оклюзії капілярних каналів, про що зазначалося у роботах Özkan et al. [14]. Натомість, зразок №0005/1, виготовлений за розробленим 4-етапним диференційованим циклом без фінального розчісування, демонструє найкращі

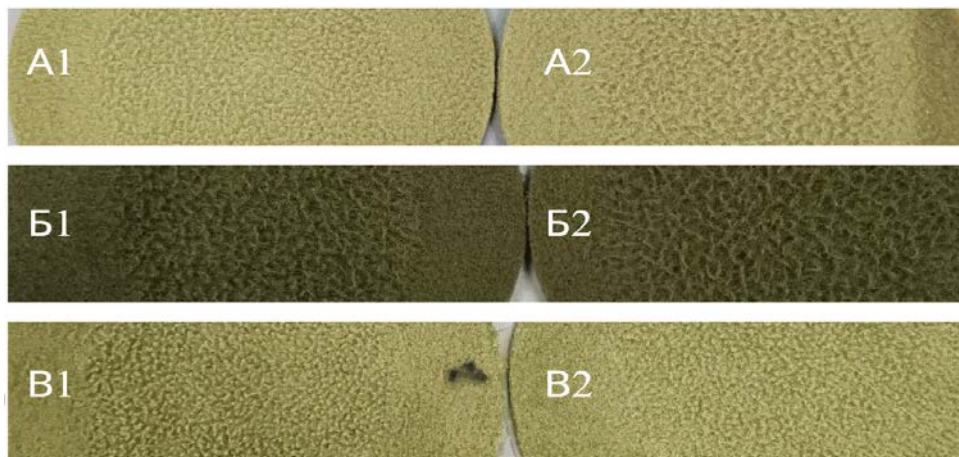
результати: товщина сягає нормативних 5,0 мм при одночасному забезпеченні надвисокої повітропроникності (764,33 дм<sup>3</sup>/(м<sup>2</sup>с)). Такий ефект досягається завдяки вертикально орієнтованому направленню волокон, де ворсинки створюють об'ємний теплоізоляційний шар, не перекриваючи при цьому шлях повітряному потоку [21].

У ході розробки диференційованого підходу до процесу опорядження окрему увагу приділено дослідженню зносостійкості поверхні ворсового начісного полотна типу «фліс», а саме стійкості до утворення пілей. На рис. 4 представлено зовнішній вигляд зразків після випробувань на пілінгоутворення за методом Мартіндейла.

Таблиця 1

**Характеристика дослідних зразків ворсового трикотажу**

Найменування показників, одиниці вимірювань	Показники згідно НД	Результати випробувань зразків			Нормативний документ на методи випробувань
		0425	0005/1	0082/1	
1	2	3	4	5	6
Склад сировини (вміст поліестеру), %	100	100	100	100	ДСТУ 4057-2001
Поверхнева густина, г/м <sup>2</sup>	250 ± 20	255	246	250	ДСТУ EN 12127:2009
Розтяжність по ширині (за петельними рядками) при навантаженні 6Н, %	від 15 до 40	16	15,27	20,54	ГОСТ 8847-85
Розривальне зусилля по довжині (за петельними стовпчиками), Н, не менше	300	582,3	678,96	425,05	ГОСТ 8847-85
Зміна лінійних розмірів по довжині та по ширині після 3 циклів прання та сушіння (пральна машина тип А, процедура прання 6А (40°C), процедура сушіння Е), %, не більше	5	-0,1 -0,6	-1,3 -3,1	-0,4 -0,1	ДСТУ ISO 5077-2001 ДСТУ ISO 6330-2001
Повітропроникність, мм/с (дм <sup>3</sup> /(м <sup>2</sup> с), при тиску 50 Па, не менше	600	667,78	764,33	551,56	ДСТУ ISO 9237:2003
Гігроскопічність, %, не більше	2	0,8	-	1,7	ДСТУ ГОСТ 3816:2009
Схильність до пілінгованості (2000 циклів з лицьової/виворітної сторони), бали, не менше	3	4/3	3/2-3	3-4/3-4	ДСТУ ISO 12945-2:2005
Товщина полотна, мм, не менше	5	4,65	5	4,32	ДСТУ ISO 5084:2004



**Рис. 4. Фото дослідних зразків після випробувань на пілінгоутворення за методом Мартіндейла (1 – лицьова сторона, 2 – виворітна сторона):**  
 А – зразок 04251; Б – зразок 0005/1; В – зразок 0082/1

Незважаючи на відсутність операції розчісування (combing), зразки №0425 та №0005/1 зберегли стабільність ворсового шару на рівні 3–4 балів, що відповідає вимогам нормативної документації [17]. Це підтверджує, що вибір в'язального обладнання 24 класу [10] та нитки 150d/f48 [14] забезпечує достатню силу закріплення волокон у петельній структурі ґрунту, запобігаючи їх швидкому скочуванню, навіть за умови зменшення щільності в'язання задля збільшення наскрізної пористості та забезпечення високого рівня повітропроникності трикотажного матеріалу.

**Висновки.** Вперше встановлено характер впливу параметрів диференційованого багатоетапного ворсування на універсальному двобарабанному обладнанні на баланс показників товщини та повітропроникності ворсового трикотажного матеріалу типу «Polar fleese», виробленого плюшевим переплетенням. Доведено, що виключення етапу примусового розчісування при збереженні імітаційного ворсування на знижених швидкостях дозволяє розв'язати

наукове протиріччя між «Loft-ефектом» та дифузійною спроможністю матеріалу, забезпечуючи приріст повітропроникності на 20–30% порівняно з традиційними методами опорядження за умови збереження товщини у 5 мм.

Розроблений енергоефективний технологічний цикл механічного опорядження ворсового трикотажу типу «Polar fleese» на універсальному обладнанні дозволяє без використання розчісувальних (combing) машин отримувати матеріали, що повністю відповідають вимогам до показників якості матеріалу куртки утеплювача [17], а саме: гладко пофарбованого трикотажного ворсового начісного полотна типу «фліс». Впровадження результатів дослідження у виробничий процес ПрАТ «Трикотажна фабрика «Роза» (Україна) дозволило знизити собівартість продукції та забезпечити високі функціональні властивості трикотажного ворсового начісного полотна типу «фліс», що використовується у якості матеріалу куртки костюма утеплювача.

#### Література

1. Glombikova V., Komarkova P., Hercikova E., Havelka A. How high-loft textile thermal insulation properties depend on compressibility. *Autex Research Journal*. 2020. No. 20(3). P. 338–343.
2. Seddik K. M., Yahia S. Impact of nap-processing and weft density on the functionalization and protection properties of polyester uniforms produced with fancy weaves. *Research Journal of Textile and Apparel*. 2025. No. 29 (4). P. 922–938.

#### References

1. Glombikova, V., Komarkova, P., Hercikova, E., & Havelka, A. (2020). How high-loft textile thermal insulation properties depend on compressibility. *Autex Research Journal*, 20(3), 338–343.
2. Seddik, K. M., & Yahia, S. (2025). Impact of nap-processing and weft density on the functionalization and protection properties of polyester uniforms produced with fancy weaves. *Research Journal of Textile and Apparel*, 29(4), 922–938.

3. Islam M. R., Golovin K., Dolez P. I. Clothing thermophysiological comfort: A textile science perspective. *Textiles*. 2023. No. 3 (4). P. 353–407.
4. Maduna L., Patnaik A. Heat, moisture and air transport through clothing textiles. *Textile Progress*. 2020. No. 52 (3). P. 129–166.
5. Das A., Alagirusamy R. *Science in clothing comfort* (pp. 31–53). New Delhi: Woodhead Publishing India Pvt Limited, 2010.
6. Kumbasar E. P. A., Marmaralı Arzu, Oglakcioglu N. Finishing treatment effects on thermal comfort properties of three-yarn fleece fabrics. *AATCC Review*. 2011. Vol. 11, No. 4. P. 46–51.
7. Onofrei E., Rocha A. M., Catarino A. The influence of knitted fabrics' structure on the thermal and moisture management properties. *Journal of engineered Fibers and Fabrics*. 2011. No. 6 (4). Art. 155892501100600403.
8. Schacher L., Adolphe D., Drean J.-Y. Comparison between thermal insulation and thermal properties of classical and microfibrils polyester fabrics. *International Journal of Clothing Science and Technology*. 2000. No. 12. P. 84–95. DOI: <https://doi.org/10.1108/09556220010371711>.
9. Li Y. The science of clothing comfort. *Textile Progress*. 2001. No. 31 (1–2). P. 1–135.
10. Spencer D. J. *Knitting Technology: A Comprehensive Handbook and Practical Guide*. 3rd ed. Cambridge: Woodhead Publishing Limited, 2001. 445 p.
11. Kaikobad M., Mahmud M. F., Sayam A., Paul S., Reza M. M., Faruque M., Apel N., Sarker E. Evaluation of physical and mechanical characteristics of Three-Thread Fleece knit fabric for their structural changes. *Heliyon*. 2023. Art. e21588. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2023.e21588>.
12. Gunesoglu S., Babalik E. Statistical Study on the Effect of Yarn Fineness on Heat and Mass Transfer Properties of Single Jersey Knitted Fabrics. *Fibres & Textiles in Eastern Europe*. 2023. Vol. 31, No. 5. P. 1–9. DOI: <https://doi.org/10.2478/ftce-2023-0040>.
13. Baczek M., Gruszka I. Investigation of air permeability of new generation fleece fabrics in dry and wet state, 2014.
14. Özkan E. T., Kaplangiray B. M. Investigating thermophysiological comfort properties of polyester knitted fabrics. *Journal of Textile Engineering & Fashion Technology*. 2019. No. 5(1). P. 50–56. DOI: <https://doi.org/10.15406/jteft.2019.05.00180>.
15. Farha F. I., Smriti S. A., Sarker Md. A. A. H., Xu F. Fibrous Impact on Several Primary Characteristics of Three-Thread Fleece Fabric. *AATCC Journal of Research*. 2019. No. 6(5). P. 30–38. DOI: <https://doi.org/10.14504/ajr.6.5.5>.
16. Technology of Raising and Felting. *Danti Paolo & C. S.r.l.* URL: <https://www.danti.it/technology/technology-raising/>
17. Т С А 0 1 X J . 3 0 6 5 5 - 2 9 1 : 2 0 2 0 ( 0 1 ) . К у р т к а к о с т ю м а у т е п л ю в а ч а . Т е х н і ч н а с п е ц и ф і к а ц і я М і н і с т е р с т в а О б о р о н и У к р а ї н и .
3. Islam, M. R., Golovin, K., & Dolez, P. I. (2023). Clothing thermophysiological comfort: A textile science perspective. *Textiles*, 3(4), 353–407.
4. Maduna, L., & Patnaik, A. (2020). Heat, moisture and air transport through clothing textiles. *Textile Progress*, 52(3), 129–166.
5. Das, A., & Alagirusamy, R. (2010). *Science in clothing comfort* (pp. 31–53). New Delhi: Woodhead Publishing India Pvt Limited.
6. Kumbasar, E. P. A., Marmaralı, A., & Oglakcioglu, N. (2011). Finishing treatment effects on thermal comfort properties of three-yarn fleece fabrics. *Tekstil ve Konfeksiyon*, 21(1), 46–51.
7. Onofrei, E., Rocha, A. M., & Catarino, A. (2011). The influence of knitted fabrics' structure on the thermal and moisture management properties. *Journal of Engineered Fibers and Fabrics*, 6(4), 155892501100600403.
8. Schacher, L., Adolphe, D., & Drean, J.-Y. (2000). Comparison between thermal insulation and thermal properties of classical and microfibrils polyester fabrics. *International Journal of Clothing Science and Technology*, 12(2), 84–95. <https://doi.org/10.1108/09556220010371711>.
9. Li, Y. (2001). The science of clothing comfort. *Textile Progress*, 31(1–2), 1–135.
10. Spencer, D. J. (2001). *Knitting Technology: A Comprehensive Handbook and Practical Guide* (3rd ed.). Cambridge: Woodhead Publishing Limited.
11. Kaikobad, M., Mahmud, M. F., Sayam, A., Paul, S., Reza, M. M., Faruque, M., Apel, N., & Sarker, E. (2023). Evaluation of physical and mechanical characteristics of Three-Thread Fleece knit fabric for their structural changes. *Heliyon*, 9(1), e21588. <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2023.e21588>.
12. Gunesoglu, S., & Babalik, E. (2023). Statistical Study on the Effect of Yarn Fineness on Heat and Mass Transfer Properties of Single Jersey Knitted Fabrics. *Fibres & Textiles in Eastern Europe*, 31(5), 1–9. <https://doi.org/10.2478/ftce-2023-0040>
13. Baczek, M., & Gruszka, I. (2014). Investigation of air permeability of new generation fleece fabrics in dry and wet state.
14. Özkan, E. T., & Kaplangiray, B. M. (2019). Investigating thermophysiological comfort properties of polyester knitted fabrics. *Journal of Textile Engineering & Fashion Technology*, 5(1), 50–56. <https://doi.org/10.15406/jteft.2019.05.00180>
15. Farha, F. I., Smriti, S. A., Sarker, M. A. A. H., & Xu, F. (2019). Fibrous Impact on Several Primary Characteristics of Three-Thread Fleece Fabric. *AATCC Journal of Research*, 6(5), 30–38. <https://doi.org/10.14504/ajr.6.5.5>.
16. Danti Paolo & C. S.r.l. (n.d.). Technology of Raising and Felting. Retrieved from <https://www.danti.it/technology/technology-raising/>
17. TS A01XJ.30655-291:2020 (01). Куртка костюма утеплювача. Технічна специфікація Міністерства Оборони України. [Insulation suit jacket. Technical specification of the Ministry of Defense of Ukraine] [in Ukrainian].

18. ДСТУ ISO 12945-2:2005. Матеріали текстильні. Визначення схильності до утворення пілінгу.
19. Девогоуц Д. В., Галавська Л. Є. Пошук шляхів удосконалення характеристик ворсового матеріалу типу "фліс". Тези доповідей конф. ХНУ, 2024.
20. Випробувальна лабораторія ТОВ "ЄВРО ФУДС ГБ УКРАЇНА". Атестат про акредитацію № 2Н1142 від 23.01.2024 р., виданий Національним агентством з акредитації України (НААУ) на відповідність вимогам ДСТУ EN ISO/IEC 17025:2019. м. Бровари, Україна 2024.
21. ISO 11092:2014. Textiles – Physiological effects – Measurement of thermal and water-vapour resistance.
18. DSTU ISO 12945-2:2005. Materialy tekstylni. Vyznachennia skhylnosti do utvorennia pilinhu [Textiles. Determination of fabric propensity to surface fuzzing and to pilling] [in Ukrainian].
19. Devohuts, D. V., & Halavska, L. Ye. (2024). Poshuk shliakhiv udoskonalennia kharakterystyk vorsovoho materialu typu "flis" [Searching for ways to improve the characteristics of "fleece" type pile material]. *Tezy dopovidei konf. KhNU – Abstracts of the KhNU conference* [in Ukrainian].
20. Testing Laboratory LLC "EURO FOODS GB UKRAINE". (2024). Atestat pro akredytatsiiu № 2N1142 vid 23.01.2024 r., vydanyy Natsionalnym ahentstvom z akredytatsii Ukrainy (NAAU) na vidpovidnist vymoham DSTU EN ISO/IEC 17025:2019 [Accreditation certificate No. 2H1142 dated 01.23.2024, issued by the National Accreditation Agency of Ukraine (NAAU) for compliance with the requirements of DSTU EN ISO/IEC 17025:2019]. Brovary, Ukraine [in Ukrainian].
21. ISO 11092:2014. Textiles – Physiological effects – Measurement of thermal and water-vapour resistance.