

ЛЕОНОВА ДАРИНА

Київський національний університет технологій та дизайну

<https://orcid.org/0009-0007-7546-567X>e-mail: d.levitskaya@ukr.net**КИЗИМЧУК ОЛЕНА**

Дрезденський технічний університет

<https://orcid.org/0000-0002-8874-8931>e-mail: olena.kyzymchuk@mailbox.tu-dresden.de

ВПЛИВ МЕТОДУ ВВЕДЕННЯ МЕТАЛЕВОГО ДРОТУ НА ВЛАСТИВОСТІ ТРИКОТАЖУ ПЕРЕПЛЕТЕННЯ НАПІВМІЛАНСЬКИЙ ЛАСТИК

Захист від електромагнітного випромінювання стає дедалі важливішим питанням не тільки в промисловості, а й у повсякденному житті через збільшення кількості пристроїв, які випромінюють електромагнітні хвилі. Хоча в ряді випадків можна використовувати жорсткі екрани, більша гнучкість досягається завдяки розробці згинаючих, драпірувальних, а в ідеалі навіть розтяжних екранів. Трикотажні матеріали мають таку здатність, поєднуючи її з потенційно хорошим механічними та теплофізичними характеристиками, які залежать від структури і обраної сировини. З іншого боку, необхідні фізичні властивості, особливо провідність і магнітні властивості, повинні бути додані за допомогою провідних ниток чи металевого дроту. В роботі наведено результати досліджень параметрів структури, показників розтяжності та термофізичних властивостей гібридного трикотажного полотна, який вироблено переплетенням напівміланський ластик на плосков'язальній машині 8 класу з бавовняної пряжі та металевого дроту з нержавіючої сталі. Отримані дані були порівняні з відповідними показниками для трикотажного полотна того ж переплетення з бавовняної пряжі. Проведені дослідження дозволили встановити вплив способу введення металевого дроту на параметри структури та властивості гібридного трикотажного полотна. Виявлено, що трикотаж переплетення напівміланський ластик, який утворено при одночасному пров'язуванні металевого дроту з бавовняною пряжею, має високу пружність та формостійкість, однак значно вищу товщину та поверхневу густину у порівнянні гібридним трикотажем, в якому петельні ряди утворені по чергово з бавовняної пряжі та металевого дроту. В той же час чергування в полотні петельних рядів з бавовняної пряжі та металевого дроту призводить до більш суттєвої зміни термофізичних властивостей бавовняного трикотажу, перш за все через наявність розріджених ділянок. Гібридні текстильні матеріали характеризуються вищим ступенем інтенсивності проходження тепла та кращою відносною паропроникністю в порівнянні з трикотажем з бавовняною пряжею.

Ключові слова: металевий дріт, гібридні трикотажні полотна, бавовняна пряжа, напівміланський ластик, параметри структури, функціональні властивості.

LEONOVA DARYNA

Kyiv National University of Technologies and Design, Ukraine

KYZYMCHUK OLENA

TUD Dresden University of Technology, Germany

THE EFFECT OF THE INTRODUCING METHOD FOR METAL WIRE ON THE PROPERTIES OF THE HALF-MILANO RIB KNITTED FABRIC

Protection against electromagnetic radiation is becoming an increasingly important issue not only in industry but also in everyday life due to the increasing number of devices emitted the electromagnetic waves. Although a rigid screen can be used in some cases, a greater flexibility is achieved through the development of bendable, drapeable, and ideally even stretchable screens. Knitted materials are endowed with this ability as well as with potentially good mechanical and thermophysical characteristics, which depend on the structure and the selected raw materials. On the other hand, the necessary physical properties, especially conductivity and magnetic property, have to be added using conductive threads or metal wire. The paper presents the research results on the structure parameters, tensile and thermophysical properties of a hybrid knitted fabric. The hybrid knitted fabrics of Half Milano Rib interlooping were produced from cotton yarn and stainless steel metal wire on a 8 gauge flat bed knitting machine. The obtained results were compared with the corresponding indicators for the knitted fabric of the same interlooping from cotton yarn only. The conducted investigation made it possible to establish the effect of the introducing method for metal wire on the structural parameters and properties of the hybrid knitted fabric. It was found that the Half Milano rib knitted fabric that formed by simultaneously knitting a metal wire with the cotton yarn, has got the highest elasticity and dimensional stability, but the significantly higher thickness and surface density compared to the hybrid knit fabric, in which the courses were formed alternately from the cotton yarn and the metal wire. At the same time, the alternation of courses from cotton yarn and metal wire in the fabric leads to a more significant change in the thermophysical properties of cotton knit fabric, primarily due to the presence of areas with low density. Generally the hybrid knitted fabrics are characterized by a higher degree of heat transfer intensity and better relative vapor permeability compared to the knitted fabric from a cotton yarn only.

Keywords: metal wire, hybrid knitted fabric, cotton yarn, half-Milano rib, structural characteristic, functional property.

Постановка проблеми у загальному вигляді

та її зв'язок із важливими науковими чи практичними завданнями

Ринок технічного текстилю є галуззю, яка стрімко розвивається не тільки за обсягами виробництва та продажів, а й за масштабами створенням нових видів продукції та розширенням і поглибленням її асортименту. Сировинна база для таких виробів не обмежується звичайною пряжею та волокнами, а постійно розширюється за рахунок нових розробок та використання нетрадиційних видів

сировини. Серед них певна ніша належить металевому дроту, який застосовують для створення розумного текстиля [1], антен [2], датчиків [3], екранів від електромагнітного випромінювання [4 тощо]. Слід зазначити, що переробка металевих дротів на в'язальних машинах почалася багато років тому на круглов'язальних машинах малого діаметру, які працювали за принципом протилежного руху платин, але з розвитком техніки та трикотажного машинобудування його застосовують на машинах іншого типу, зокрема на плосов'язальних та основов'язальних машинах. На сьогодні металевий дріт переробляють як самостійно в металеве сітчасте полотно так і разом з іншою пряжею.

Спосіб уведення металевих дротів у структуру трикотажу варіюють залежно від призначення та вимог до кінцевого продукту. Частина розробок присвячена створенню трикотажних матеріалів для екранування шляхом введення в структуру трикотажу металевих дротів у вигляді утокових ниток [5]. Однак такі матеріали втрачають гнучкість у напрямку прокладання дроту, що знижує споживчі властивості матеріалів і обмежує сферу їх використання. Останніми роками через зростаючу увагу до функціоналізації повсякденного одягу збільшилася кількість розробок, в яких металевий дріт вводять у вигляді петель у структуру головних [6] та похідних [7] переплетень. Такі трикотажні полотна, завдяки своїй гнучкій структурі і здатності до формоутворення відкривають широкі можливості для розробки нових поколінь багатофункціональних і інтерактивних текстильних матеріалів [8, 9]. Отже важливим і актуальним питанням є розробка та дослідження трикотажних матеріалів, які містять в своїй структурі металевий дріт для надання екрануючих властивостей та мають достатній комфорт для застосування у повсякденному одязі.

Аналіз досліджень та публікацій

Незважаючи на складність переробки металевих дротів на в'язальному обладнанні через його обмежену гнучкість, їх застосовують для виготовлення захисних екранів від електромагнітного випромінювання [10, 11]. Серкан Тезель та Ясіна Кавустуран дослідили [12], як різні структури трикотажу та кількість металевих ниток, зокрема з міді, впливають на здатність текстилю захищати від електромагнітного випромінювання. Фатма Цекен та Озлем Кайкан вивчали вплив структури трикотажу та кількості провідних ниток на ефективність електромагнітного захисту трикотажних полотен. У роботі [13] розглядаються полотна, виготовлені з дротів (мідних та нержавіючої сталі), які оплетені поліакрилонітрильними нитками. Результати показали, що структура переплетення впливає на ефективність електромагнітного захисту. Крім того, трикотажні полотна, виготовлені на двофонтурних плосов'язальних машинах з більшою кількістю провідних ниток та більшою поверхневою густиною, не забезпечували очікуваного покращення в значеннях ефективності електромагнітного захисту порівняно з полотнами, виготовленими на однофонтурних плосов'язальних машинах. У іншій своїй роботі [14] автори проаналізували різні варіанти переплетення, використовуючи одинарні та подвійні дроти, щоб визначити, як структура полотна впливає на її його здатність блокувати електромагнітне випромінювання. В експериментах використовували полотна з мідними та сталевими дротами різного діаметра і кількості шарів. Було визначено, що полотна з подвійними шарами дротів мають значно кращі характеристики електромагнітного екранування на середніх і високих частотах, ніж полотна з одинарними шарами.

Хусейн Газі Турксој та Туба Алпїлдіз дослідили [15] здатність трикотажних полотен, виготовлених з гібридних ниток, захищати від електромагнітного випромінювання. Ці нитки поєднують провідні матеріали, такі як нержавіюча сталь або мідь, з іншими волокнами для підвищення ефективності захисту. У дослідженні встановлено, що рівень захисту залежить від таких факторів як: кількість провідних матеріалів, структура нитки та конкретна технологія виготовлення. Маріанна Грецька з колегами у своїй роботі [16] дослідили ефективність електромагнітного екранування текстильних трикотажних матеріалів з металізованими нитками. В експерименті використано три типи металізованих ниток для створення зразків на в'язальних машинах, а також проводилися вимірювання на частотах 1,161 ГГц і 870 МГц. Середній результат ефективності екранування для всіх полотен становить 92%. Дослідження допомагає зрозуміти, як різні комбінації ниток і їх розташування впливають на захисні властивості тканин.

Як видно з цього короткого огляду, головні дослідження трикотажних полотен, які містять в структурі металевий дріт, зосереджено на вивченні їх екрануючих властивостей. В той же час, з урахуванням зростання кількості приладів, що випромінюють електромагнітні хвилі, зростає потенціал використання матеріалів при виготовленні не лише спеціального [17], а й повсякденного одягу [18], що потребує більшої уваги до комфорту. Виробництво текстильних матеріалів з ефектом захисту від ЕМВ, які при цьому не втрачають своїх ергономічних та теплофізичних властивостей [19], набуватиме дедалі більшого масштабу. Однак, на сьогодні проведено недостатньо досліджень щодо впливу металевих дротів на структуру та властивості трикотажного полотна.

Формулювання цілей статті

Метою роботи є: дослідження параметрів структури та властивостей гібридного трикотажного полотна переплетення напівміланський ластик, яке виготовлено з бавовняної пряжі та металевих дротів з нержавіючої сталі, та встановлення впливу варіанту введення дроту на досліджувані показники.

Досліджувані матеріали та методи дослідження

Для дослідження обрано трикотаж переплетення напівміланський ластик, рапорт якого по висоті утворено чергуванням ряду ластика 1+1 та ряду гладі на одній голочниці (рис.1). Гібридні трикотажні полотна, які виготовлено напівміланським ластиком, виявили кращі показники екранування електромагнітного випромінювання [4] у порівнянні з іншими загальновідомими переплетеннями. Дана структура характеризується тим, що на одній стороні полотна (вважатимемо у подальшому виворітною) маємо подовжені петлі ластика, а на іншій (вважатимемо у подальшому лицьовою) – у петельному стовпчику вкорочені петлі ластика чергуються з петлями гладі звичайного розміру. Дане переплетення знайшло широке розповсюдження у виготовленні верхнього трикотажу.

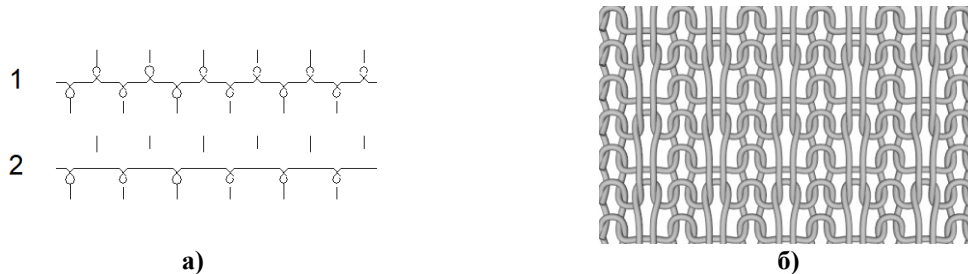


Рис. 1. Переплетення напівміланський ластик: а) – графічний запис; б) – 3D модель структури

Зразки гібридних трикотажних полотен вироблено на односистемній плосков'язальній машині 8 класу з бавовняної пряжі лінійної густини 30 x 2 текс діаметром 0,31 мм та металевому дроту з нержавіючої сталі діаметром 0,12 мм. У якості контрольного зразка (Варіант 1) виготовлено полотно переплетення напівміланський ластик тільки з бавовняної пряжі. Для дослідження впливу варіанту введення металевому дроту на структуру та властивості гібридних матеріалів використано два способи. При першому способі металевий дріт подавали у зону в'язання разом з бавовняною пряжею, у результаті чого усі петлі утворено з обох видів сировини (Варіант 2). При другому способі застосували чергування рядів з бавовняної пряжі та металевому дроту. Зміну нитководів на плосков'язальній машині проводили після кожного оберту каретки (Варіант 3).

Усі зразки трикотажу виготовлено при однакових умовах в'язання для забезпечення співставлення результатів дослідження. Після в'язання усі полотна приведено в умовно-рівноважний стан шляхом прання та висушування відповідно до ISO 6330:2021 [20] та подальшого відлежування упродовж 24 годин у нормальних кліматичних умовах відповідно до ISO 139:2005 [21]. Фото зразків, сировинний склад та значення технологічного зсідання наведено у таблиці 1.

Для експериментальних досліджень характеристик структури та властивостей означених вище варіантів трикотажу використано наступні стандартні та спеціалізовані методи:

- щільність в'язання, тобто кількість петельних стовпчиків та петельних рядів на 100 мм визначали за EN 14971:2006 [22] за допомогою текстильної лупи. Дослідження проводили окремо для лицьової та виворітної сторін полотна;

- петельний крок та висоту петельного ряду вимірювали за допомогою цифрового мікроскопу Microsafe ShinyVision MM-2288-5X-BN та розраховували за загальновідомими формулами [23]. Дослідження також проводили окремо для лицьової та виворітної сторін полотна;

- довжину нитки в петлі визначали відповідно EN 14970:2006 [24] з використанням стандартної лінійки. Дослідження проводили окремо для рядів ластика та гладі та окремо для бавовняної пряжі та металевому дроту;

- поверхневу густину полотна визначали за EN 12127:1997 [25] з використанням електронних ваг;

- товщину трикотажу визначали механічним товщиноміром з площадкою 5 см² та тиском 0,2 кПа відповідно до ISO 5084:1996 [26]. Слід зазначити, що висота ділянки, яка утворена з металевому дроту у полотна варіанта 3 менша за розмір площини вимірювання у товщиноміру, тобто при дослідженні уникнено можливий вплив на показник ділянок різної товщини;







- повну деформацію трикотажу та її складові визначали за циклом «навантаження-розвантаження-відпочинок» на релаксометрі стійка за загальновідомою методикою при наступних умовах: навантаження 6 Н упродовж 60 хв. та відпочинок упродовж 60 хв;

- вимірювання теплофізичних характеристик трикотажу (коефіцієнту теплопровідності $\lambda \cdot 10^{-3}$ Вт/(м·К), коефіцієнту температуропровідності $a \cdot 10^{-6}$ м²/с; коефіцієнту теплового поглинання b Вт·с^{1/2}/м²·К та теплового опору $R \cdot 10^{-3}$ К·м²/Вт) здійснювали на приладі ALAMBETA при перепаді температур 10°C і тиску на пробу 200 Па, а паропроникність полотен (абсолютну Ret, Pa·m²·W⁻¹ та відносну P, %) – на приладі PERMETEST у Технічному університеті м. Ліберець за спеціально розробленими методиками [27,28].

При дослідженні параметрів структури трикотажу проводили по 10 паралельних вимірів, а при дослідженні властивостей полотна – по 3 паралельних досліди. Для подальшого аналізу використовували середні значення показника. Для підтвердження коректності та достовірності результатів визначено середньоквадратичне відхилення показника та похибка дослідження, яка не перевищила 5% для жодного з дослідів.

Таблиця 1

Характеристика дослідних зразків трикотажу

Варіант трикотажу	Сировинний склад, %		Технологічне з'єднання, %		Фото трикотажу	
	бавовняна пряжа	металевий дріт	упоперек	уздовж	лицьова сторона	виворітна сторона
1	100	-	5,4 ± 1,1	4,2 ± 1,3		
2	48	52	0	4,4 ± 1,6		
3	56	44	4,4 ± 1,5	7,8 ± 2,9		

Аналіз результатів дослідження

Попередня візуальна оцінка отриманих гібридних трикотажних матеріалів (фото у табл.1) показала, що введення металевго дроту у структуру бавовняного трикотажу має значний вплив на форму та розміри петель. Так при одночасному пров'язуванні дроту з бавовняною пряжею (варіант 2) отримуємо петлі, які є значно вужчими, ніж у бавовняного трикотажу (варіант 1). Окрім того, збільшується відстань між сусідніми петлями у петельному ряді. Це є наслідком того, що розмір та форма петлі з дроту, яка надана у процесі в'язання, не змінюється упродовж релаксаційного періоду внаслідок відсутності пружних деформацій, які притаманні бавовняній пряжі. Це повністю співпадає з висновком зробленим у роботі [29]. При формуванні трикотажу шляхом чергування рядів з бавовняної пряжі та рядів з металевго дроту також маємо збільшення відстані між сусідніми петлями у петельному ряді. Це є результатом опосередкованої дії петель з дроту на петлі з бавовняної пряжі.

Результати дослідження параметрів структури трикотажного полотна наведено у таблиці 2. Очевидно, що введення в структуру трикотажу металевго дроту суттєво впливає на показники. Так кількість петельних стовпчиків у 100 мм полотна значно зменшується у гібридних полотнах (варіанти 2 та 3) у порівнянні з бавовняним полотном (варіант 1), що співпадає з результатами візуального оцінювання зразків. Зменшення становить 16-19 % для полотна при одночасному пров'язуванні металевго дроту з бавовняною пряжею (варіант 2) та 25 % для полотна, яке утворено чергуванням рядів з бавовняної пряжі та металевго дроту (варіант 3). Кількість петельних стовпчиків у 100 мм є однаковою з обох боків досліджуваних варіантів полотна, адже структури є врівноваженими з точки зору кількості робочих голок на обох голочницях, а незначну різницю (< 3 %) у значеннях можна віднести до похибки досліду. Слід зазначити, що наявність металевго дроту не впливає на кількість петельних рядів у 100 мм, тобто щільність уздовж полотна залишається незмінною. Різниця у показниках не перевищує 3 %. Кількість петельних рядів у 100 мм на лицьовому боці удвічі більша ніж на виворітному, що є властивістю переплетення напівміланський ластик [29].

Петельний крок А та висота петельного ряду В є оберненими показниками кількості петельних стовпчиків та рядів у 100 мм трикотажу [30]. Отже наявність металевго дроту в структурі трикотажу впливає на петельний крок і не змінює висоту петельного ряду (табл. 2). Петельний крок у гібридних полотнах збільшується внаслідок як зміни форми петлі (зменшення її ширини), так і зменшення телескопічного заходу між петлями, які утворені на різних голочницях. Петельний крок гібридного трикотажу вищий на 23 % (варіант 2) та на 32 % (варіант 3) ніж бавовняного трикотажу (варіант 1). Таким

чином, введення в структуру бавовняного трикотажу металевго дроту призводить до збільшення ширини полотна при незмінній його довжині, що повинно бути враховано при виготовленні трикотажних виробів.

Таблиця 2

Параметри структури трикотажного полотна переплетення напівміланський ластик

Показник		Варіант трикотажу		
		1	2	3
Кількість петельних стовпчиків у 100 мм $N_{ст}$	лицьова сторона	43,4 ± 0,5	36,4 ± 0,4	32,4 ± 0,3
	вिवорітна сторона	43,7 ± 0,5	35,4 ± 0,5	32,7 ± 0,2
Кількість петельних рядів у 100 мм N_p	лицьова сторона	97,0 ± 1,0	94,2 ± 1,5	96,2 ± 1,1
	вिवорітна сторона	48,4 ± 0,5	47,1 ± 0,7	47,8 ± 0,9
Петельний крок A , мм		2,30 ± 0,10	2,83 ± 0,12	3,04 ± 0,17
Висота петельного ряду B , мм	лицьова сторона	1,28 ± 0,10	1,32 ± 0,15	1,24 ± 0,12
	вिवорітна сторона	2,50 ± 0,20	2,59 ± 0,17	2,47 ± 0,10
Довжина бавовняної нитки в петлі l_b , мм	ластик 1+1	7,85 ± 0,08	7,78 ± 0,18	7,84 ± 0,20
	гладь	6,00 ± 0,11	6,10 ± 0,25	5,91 ± 0,19
	середня	7,23	7,22	7,20
Довжина дроту в петлі l_s , мм	ластик 1+1	-	7,70 ± 0,26	7,70 ± 0,17
	гладь	-	6,00 ± 0,19	5,80 ± 0,23
	середня	-	7,13	7,07
Товщина полотна M , мм		1,35 ± 0,09	1,45 ± 0,07	1,17 ± 0,04
Поверхнева густина m_s , гр/м ²		282,0 ± 10,2	435,8 ± 8,2	195,5 ± 9,7

Довжина нитки в петлі є визначальним параметром, який впливає на властивості трикотажу [23]. Результати дослідження (табл. 2, рис. 2) показують, що існує значна різниця (до 30%) між довжинами петель ластика (рис.2.а) та петель гладі (рис.2.б). Це можна пояснити процесом формування петель на машині. Переплетення ластик 1+1 утворюють по чергово голки обох голочниць, тобто протяжка поєднує петлі двох сусідніх фонтур. Її довжина залежить від відстані між голочницями, яка у даному випадку збільшена для нормалізації процесу переробки металевго дроту. Переплетення гладі формують на голках тільки передньої голочниці, а отже протяжка поєднує петлі на сусідніх голках однієї фонтури і її довжина залежить тільки від відстані між голками. Слід зазначити, що довжина нитки в петлі ластика (рис.2.а) не залежить від варіанту полотна, а довжина нитки в петлі гладі (рис.2.б) змінюється при уведенні металевго нитки в структуру. Однак дані зміни незначні і не перевищують допустимих 5 %.

Спостерігається також тенденція меншої довжини металевго дроту у порівнянні з бавовняною пряжею, що пов'язано перш за все з різними діаметром та пружністю даних видів сировини. У межах дослідження розраховані середні значення довжини нитки кожного виду (табл.2), при цьому враховано що при утворенні двох петель ластика 1+1 утворюється лише одна петля гладі. Встановлено, що середня довжина бавовняної пряжі в петлі становить 7,20-7,23 мм, а металевго дроту 7,07-7,13 мм, що може бути використано для розрахунку уробки кожного виду сировини та її необхідної кількості для виробництва відповідних гібридних матеріалів на плосков'язальному обладнанні 8 класу.

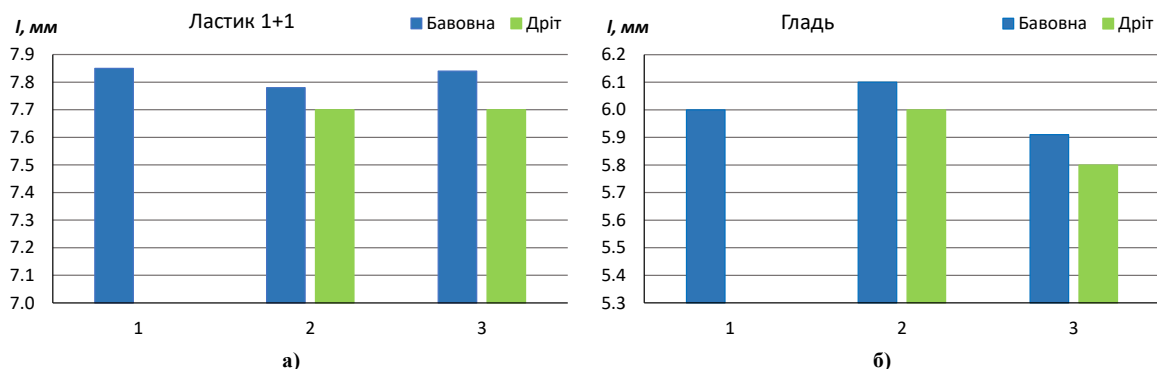


Рис. 2. Довжина петлі по складових: а) – ластик 1+1; б) – гладь

Результати дослідження товщини трикотажу (табл.2) демонструють ефект способу уведення металевго дроту на показник. Так при одночасному пров'язуванні металевго дроту та бавовняної пряжі (варіант 2) спостерігаємо збільшення товщини на 7,5 % у порівнянні з контрольним бавовняним полотном (варіант 1). Це є результатом того що кожна петля утворена з двох видів сировини, тобто загальна товщина сировини збільшена. В той же час при чергуванні рядів з бавовняної пряжі та металевго дроту товщина

полотна зменшується на 13,5 % у порівнянні з бавовняним трикотажем. Це можна пояснити тим, що у результаті збільшення петельного кроку у даній структурі відбувається не тільки зменшення телескопічного заходу петель різних фонтур, а і зближення таких петель по товщині полотна. В результаті чого петлі, які розташовані у різних шарах переплетення напівміланський ластик, намагаються розташуватися якнайближче в одному шарі.

Аналогічні залежності маємо для поверхневої густини трикотажу (табл.2). При одночасному пров'язуванні металевого дроту та бавовняної пряжі поверхнева густина гібридного трикотажу зростає і становить в середньому $435,8 \text{ г/м}^2$, а при почерговому пров'язуванні металевого дроту та бавовняної пряжі поверхнева густина знижується і становить в середньому $195,5 \text{ г/м}^2$ у порівнянні до $280,0 \text{ г/м}^2$ у бавовняного полотна. Тобто вага, а відповідно і витрата сировини, при застосуванні способу одночасного пров'язування більш ніж у двічі вищі за ті, які притаманні трикотажу з чергуванням рядів з різної сировини.

Важливою властивістю трикотажного полотна, яка виділяє його з поміж інших текстильних матеріалів, є його збільшена розтяжність, що сприяє широкому використанню у виготовленні різноманітного одягу. Діаграми розтягнення досліджуваних полотен наведено на рис.3. Очевидно, що уведення металевого дроту в структуру бавовняного трикотажу впливає на його розтяжність, а спосіб уведення металевого дроту впливає як на значення показників так і на характер залежності. Металевий дріт на відміну від бавовняної пряжі можна вважати абсолютно нерозтяжним, а отже саме його розташування та поведінка при розтягуванні буде визначальним. При дослідженнях уздовж петельного стовпчика (рис.3.а) трикотаж варіантів 1 та 3 поводить практично однаково, особливо у циклі навантаження. Це є результатом того, що трикотаж варіанту 3 має значні ділянки з бавовняної пряжі, які аналогічні трикотажу варіанту 1, а отже саме властивості бавовняної пряжі визначають поведінку матеріалу при розтягуванні. У трикотажі варіанту 2 кожна петля складається з обох видів сировини, а отже визначальними у даному випадку є властивості металевого дроту. При дослідженнях уздовж петельного ряду (рис.3.б) металевий дріт визначає поведінку обох гібридних трикотажних полотен (варіанти 2 та 3), а бавовняна пряжа – контрольного полотна (варіант 1), що віддзеркалено у значному збільшенні розміру останнього у циклі «навантаження».

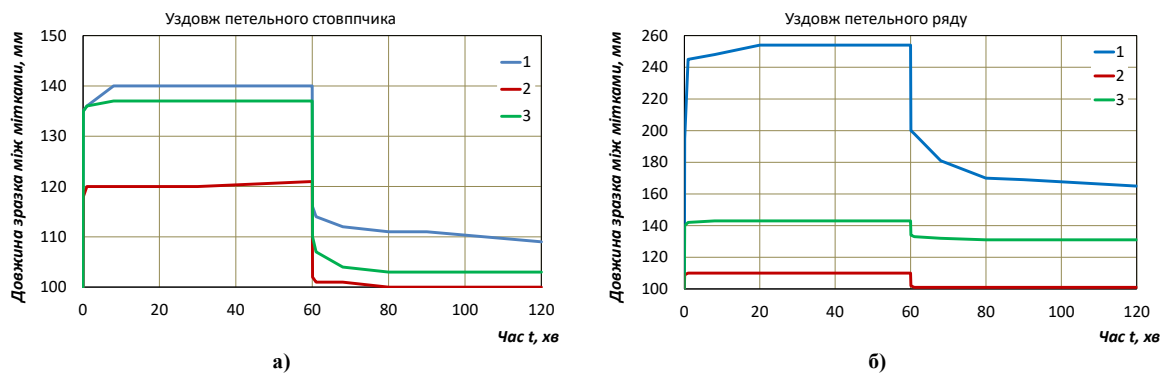


Рис. 3. Діаграми зміни довжини зразка трикотажу у циклі «навантаження-розвантаження-відпочинок»: а) – вздовж петельного стовпчика; б) – вздовж петельного ряду

Отримані діаграми дали змогу визначити показники повної деформації та їх складових, результати чого наведено у таблиці 3. Повна деформація гібридного трикотажного полотна варіанту 3 при розтягуванні уздовж петельного стовпчика відповідає показнику для бавовняного трикотажу, а повна деформація гібридного трикотажного полотна варіанту 2 є вдвічі меншою. Причини цього пов'язані з тим, петлі з якої сировини сприймають основне навантаження, і детально описані вище. Металевий дріт має значний вплив на залишкову деформацію трикотажу. Вона відсутня у трикотажу варіанту 2, тобто маємо абсолютно стабільну структуру після релаксації напруги, а у трикотажі варіанту 3 вона становить лише 3 %, що свідчить про формостійкість трикотажу при розтягуванні у цьому напрямі.

При розтягуванні уздовж петельного ряду повна деформація гібридних полотен значно менша за показник у бавовняного полотна. Найменш розтяжним є трикотаж варіанту 2, в якому усі петлі отримані сумісним пров'язуванням металевого дроту з бавовняною пряжею. Слід зазначити, що гібридний трикотаж варіанту 2 має залишкову деформацію на рівні 1 %, а отже він є формостійким. В той же час гібридний трикотаж варіанту 3 має значну (31 %) залишкову деформацію, що потрібно враховувати при використанні такого трикотажу у майбутніх виробках.

Окрім натуральних значень показників повної деформації та її складових важливими індикаторами деформаційних властивостей є частки складових у повній деформації (табл.3), які наглядно представлені на рис.4. Очевидно, що найкращим є полотно варіанту 2, яке при дослідженнях в обох напрямках має найбільшу частку швидкозворотної деформації при відсутності або незначній частці залишкової.

Важливим аспектом використання текстильних матеріалів у одязі є забезпечення комфорту

виробу. Комфорт одягу є складним терміном і питання про роль і вплив тих чи інших факторів дотепер залишається дискусійним. В даному дослідженні увагу приділено термо-фізіологічній складовій комфорту, яка забезпечує можливість організму за рахунок одягу пристосовуватися до змін у навколишній середовищі з метою підтримки більш-менш постійної температури і вологості шкіри. Результати дослідження представлено у таблиці 4.

Таблиця 3

Повна деформація трикотажного полотна переплетення напівміланський ластик та її складові

Показник		Варіант трикотажу		
		1	2	3
Розтягування уздовж петельного стовпчику				
Повна деформація ε , %		40	21	37
Складові	швидкооборотна ε_1 , %	24	19	27
	повільнооборотна ε_2 , %	7	2	7
	залишкова ε_3 , %	9	0	3
Частки	швидкооборотна Δ_1	0,60	0,90	0,73
	повільнооборотна Δ_2	0,18	0,10	0,19
	залишкова Δ_3	0,23	0,00	0,08
Розтягування уздовж петельного ряду				
Повна деформація ε , %		154	10	43
Складові	швидкооборотна ε_1 , %	54	8	9
	повільнооборотна ε_2 , %	35	1	3
	залишкова ε_3 , %	65	1	31
Частки	швидкооборотна Δ_1	0,35	0,80	0,21
	повільнооборотна Δ_2	0,23	0,10	0,07
	залишкова Δ_3	0,42	0,10	0,72

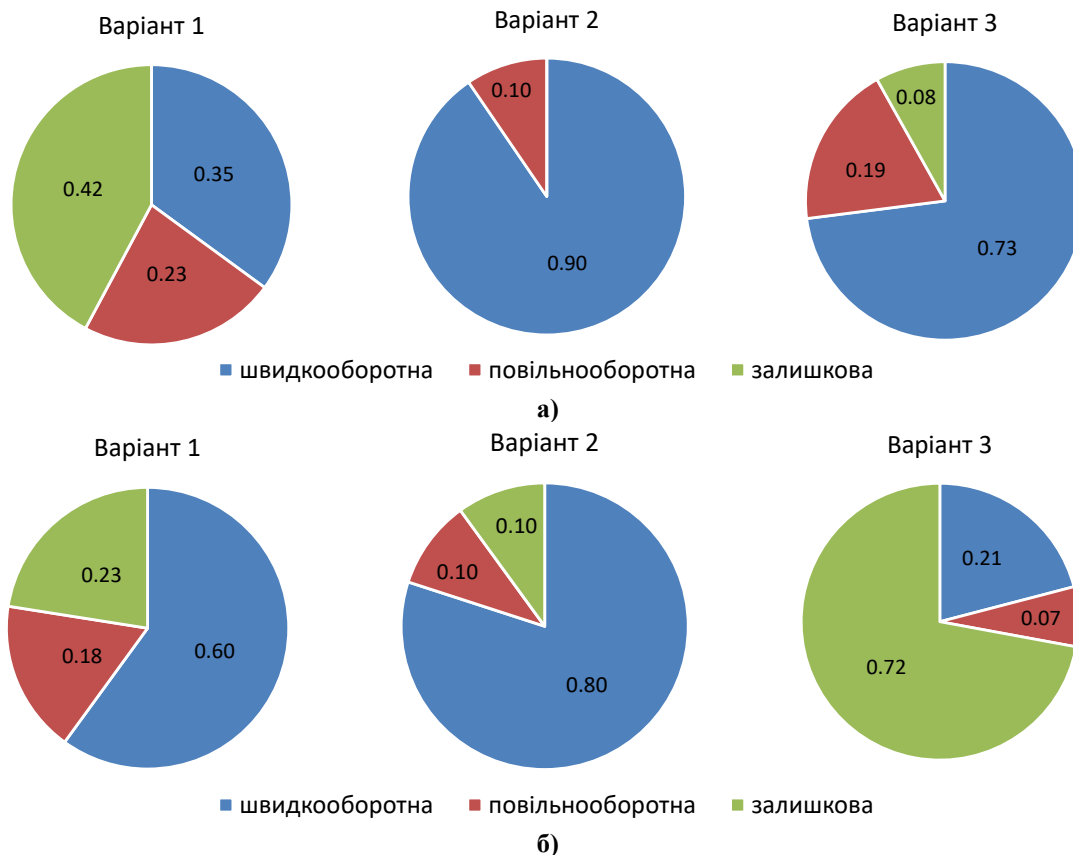


Рис. 4. Діаграми часток складових деформацій: а) – вздовж петельного стовпчику; б) – вздовж петельного ряду

Результати дослідження термофізичних властивостей на приладі «ALAMBETA» показують, що як і передбачалося введення в структуру бавовняного трикотажу металевго дроту значно впливає на значення показників: знижуються коефіцієнти теплопровідності та теплового поглинання, в той же час коефіцієнт температуро-провідності та тепловий опір знижуються. Це пов'язано зі значною відмінністю

коефіцієнта теплопровідності бавовни ($\lambda = 69,0 \cdot 10^{-3} \text{ Вт} \cdot \text{м}^{-1} \cdot \text{К}^{-1}$) та сталі ($\lambda = 45,5 \cdot \text{Вт} \cdot \text{м}^{-1} \cdot \text{К}^{-1}$). Тобто гібридні текстильні матеріали характеризуються вищим ступенем інтенсивності проходження тепла та вищу швидкість вирівнювання температури в різних точках текстильного матеріалу. Слід зазначити, що така тенденція більш виражена у гібридного трикотажу варіанту 3, який утворено чергуванням рядів з різних видів сировини.

Таблиця 4

Теплофізичні характеристики трикотажного полотна переплетення напівміланський ластик

Показник	Варіант трикотажу		
	1	2	3
Коефіцієнт теплопровідності $\lambda, \cdot 10^{-3} \text{ Вт}/(\text{м} \cdot \text{К})$	$86,4 \pm 1,2$	$71,7 \pm 1,0$	$54,6 \pm 0,8$
Коефіцієнт температуропровідності $a, 10^{-6} \text{ м}^2/\text{с}$	$0,21 \pm 0,02$	$0,26 \pm 0,04$	$0,40 \pm 0,01$
Коефіцієнт теплового поглинання $b, \text{ Вт} \cdot \text{с}^{1/2}/\text{м}^2 \cdot \text{К}$	$188,5 \pm 6,3$	$142,0 \pm 3,8$	$80,8 \pm 4,8$
Тепловий опір $R, \cdot 10^{-3} \text{ К} \cdot \text{м}^2/\text{Вт}$	$33,3 \pm 0,7$	$36,5 \pm 1,4$	$39,5 \pm 0,5$
Відносна паропроникність $P, \%$	$38,8 \pm 0,4$	$43,2 \pm 0,1$	$69,4 \pm 0,9$
Абсолютна паропроникність $\text{Ret}, \text{ Па} \cdot \text{м}^2 \cdot \text{В}^{-1}$	$12,20 \pm 0,04$	$10,30 \pm 0,05$	$5,60 \pm 0,01$

Введення в структуру бавовняного трикотажу металевго дроту також впливає на паропроникність трикотажу (табл.4). Результати дослідження показують що гібридні трикотажні полотна характеризуються вищою відносною паропроникністю у порівнянні з бавовняним полотном, в той же час абсолютна паропроникність зменшується. Як і у випадку термофізичних властивостей тенденція більш виражена у гібридного трикотажу варіанту 3 через наявність розріджених ділянок з металевго дроту (таблиця 1).

Отже проведені дослідження дозволили встановити вплив способу введення металевго дроту на параметри структури та властивості гібридного трикотажного полотна. Виявлено, що трикотаж переплетення міланський ластик, який утворено при одночасному пров'язуванні металевго дроту з бавовняною пряжею, має високу пружність та формостійкість, однак значно вищу товщину та поверхневу густину у порівнянні гібридним трикотажем, в якому петельні ряди утворені почергово з бавовняної пражі та металевго дроту.

Висновки з даного дослідження

В результаті дослідження структури та властивостей гібридних трикотажних полотен переплетення напів-міланський ластик, які містять поряд з бавовняною пряжею металевий дріт з нержавіючої сталі, встановлено наступне:

- введення металевго дроту в структуру бавовняного трикотажу впливає на щільність полотна по ширині (кількість петельних стовпчиків у 100 мм зменшується) при не змінній щільності по висоті (кількість петельних рядів у 100 мм постійна). Спосіб уведення металевго дроту суттєво впливає на показник: кількість петельних стовпчиків у 100 мм становить $36,4 \pm 0,4$ та $32,4 \pm 0,3$ для гібридного трикотажу, який утворено при одночасному пров'язуванні дроту з бавовняною пряжею та почерговим їх в'язанням відповідно, у порівнянні з $43,4 \pm 0,5$ для бавовняного трикотажу;
- введення в структуру бавовняного трикотажу металевго дроту призводить до збільшення ширини полотна на 23 % та на 32 % залежно від способу введення дроту при незмінній його довжині, що повинно бути враховано при виготовленні трикотажу, особливо при використанні різних варіантів в одному виробі;
- введення металевго дроту в структуру бавовняного трикотажу має незначний вплив на довжину нитки в петлі, якщо полотна виготовлені при однакових технологічних умовах. Різниця в показниках не перевищує 5 %, що знаходиться у межах похибки дослідження;
- середня довжина бавовняної пражі в петлі становить 7,20-7,23 мм, а металевго дроту 7,07-7,13 мм, що важливо врахувати у технологічних розрахунках при виробництві відповідних гібридних матеріалів на плосков'язальному обладнанні 8 класу;
- спосіб введення металевго дроту у структуру бавовняного трикотажу суттєво впливає на його товщину. При одночасному пров'язуванні товщина гібридного трикотажу зростає і становить в середньому 1,45 мм, а при почерговому пров'язуванні металевго дроту та бавовняної пражі товщина знижується і становить в середньому 1,17 мм у порівнянні до 1,35 мм бавовняного полотна;
- поверхнева густина гібридного трикотажу, який виготовлено одночасним пров'язуванням металевго дроту та бавовняної пражі, більш ніж удвічі перевищує поверхневу густину гібридного трикотажу, який виготовлено чергуванням рядів з металевго дроту та бавовняної пражі, що потрібно врахувати при виборі полотна для певного виробу;
- спосіб введення металевго дроту в структуру трикотажного полотна значно впливає на деформаційні властивості трикотажу. При одночасному пров'язуванні металевго дроту з бавовняною пряжею повна деформація значно зменшується в обох напрямках, а при чергуванні рядів з металевго дроту та бавовняної пражі спостерігаємо значне зниження показника лише при розтягуванні уздовж петельного ряду і залишається на рівні повної деформації трикотажу з бавовняної пражі;

- гібридний трикотаж, який отримано при одночасному пров'язуванні металевого дроту з бавовняною пряжею, є формостійким в обох напрямках, що підтверджено відсутністю залишкової деформації. Гібридний трикотаж, який отримано чергуванням рядів з металевого дроту та бавовняної пряжі, є формостійким лише при розтягуванні уздовж петельних стовпчиків, при значній до 30 % залишковій деформації при розтягуванні уздовж петельних рядів;

- введення в структуру бавовняного трикотажу металевого дроту значно впливає на значення показників термофізичних властивостей та паропроникності: знижуються коефіцієнти теплопровідності та теплового поглинання, а також абсолютна паропроникність. В той же час коефіцієнт температуропровідності, тепловий опір та відносна паропроникність знижуються. Тенденція більш виражена у гібридного трикотажу, який утворено чергуванням рядів з різних видів сировини.

Отримані результати є важливим інструментом при створенні та виборі матеріалів для функціональних виробів, адже надають рекомендації щодо різних властивостей. Так незважаючи на вищі показники формостійкості трикотаж, в якому металевий дріт одночасно пров'язують з бавовняною пряжею, має вдвічі вищу поверхневу густину, що може обмежити його застосування.

Література

1. Liu, S., Zhang, Q., Wang, H., & Wang, X. (2016). Smart E-textile: Resistance properties of conductive knitted fabric – single pique. *Textile Research Journal*, 87(14), 1669–1684. <https://doi.org/10.1177/0040517516658509>
2. Rafiq, M., Ali, U., Khan, M. A., & Hussain, T. (2024). A review on the manufacturing techniques for textile based antennas. *Journal of Engineered Fibers and Fabrics*, 19. <https://doi.org/10.1177/15589250241226585>
3. Li, Q., & Tao, X. (2011). A stretchable knitted interconnect for three-dimensional curvilinear surfaces. *Textile Research Journal*, 81(11), 1171–1182. <https://doi.org/10.1177/0040517511399965>
4. Tunakova, V., Militky, J., Mishra, R., & Kovacic, V. (2020). Hybrid knitted fabric for electromagnetic radiation shielding. *Journal of Engineered Fibers and Fabrics*, 15. <https://doi.org/10.1177/1558925020925397>
5. Ciesielska-Wróbel, I., & Grabowska, K. (2012). Estimation of the EMR shielding effectiveness of knit structures. *Fibres & Textiles In Eastern Europe*, 20(2(91)), 53–60.
6. Soyaslan, D., Çömlekçi, S., & Göktepe, Ö. (2010). Determination of electromagnetic shielding performance of plain knitting and 1x1 rib structures with coaxial test fixture relating to ASTM D4935. *Journal of the Textile Institute*, 101(10), 890–897. <https://doi.org/10.1080/00405000902945360>
7. Sancak, E., Kocak, D., Kaynak, H. K., & Topalbekiroglu, M. (2018). The effects of fabric and conductive wire properties on electromagnetic shielding effectiveness and surface resistivity of interlock knitted fabrics. *Fibers and Polymers*, 19(4), 843–853. <https://doi.org/10.1007/s12221-018-7906-8>
8. Roh, J. S., Lee, J. H., Kim, J. H., & Kang, T. J. (2008). Electromagnetic shielding effectiveness of multifunctional metal composite fabrics. *Textile Research Journal*, 78(9), 825–835. <https://doi.org/10.1177/0040517507089748>
9. Arabuli, A., Bajzik, V., & Kyzymchuk, O. (2023). Electromagnetic shielding effectiveness of hybrid knitted fabrics with stainless steel wire. *Technologies and Engineering*, (4), 77–87. <https://doi.org/10.30857/2786-5371.2023.4.7>
10. Bedeloglu, A. (2013). Electrical, electromagnetic shielding, and some physical properties of hybrid yarn-based knitted fabrics. *Journal of the Textile Institute*, 104(11), 1247–1257. <https://doi.org/10.1080/00405000.2013.796627>
11. Perumalraj, R., & Dasaradan, B. S. (2009). Electromagnetic shielding effectiveness of copper core yarn knitted fabrics. *Indian Journal of Fibre and Textile Research*, 34(2), 149–154.
12. Tezel, S., Uysal, M., & Babaarslan, O. (2023). Influence of knitting structure and metal wire amount on electromagnetic shielding effectiveness of knitted fabrics. *Textile and Apparel*, 33(1), 37–44. <https://doi.org/10.32710/tekstilvekonfeksiyon.987174>
13. Çeken, F., Uysal, M., & Babaarslan, O. (2012). The electromagnetic shielding properties of some conductive knitted fabrics produced on single or double needle bed of a flat knitting machine. *Journal of the Textile Institute*, 103(9), 968–979. <https://doi.org/10.1080/00405000.2011.639514>
14. Çeken, F. (2011). The electromagnetic shielding properties of copper and stainless steel knitted fabrics. *Tekstil*, 60(7), 321–328.
15. Ortlek, H. G., Alpyildiz, T., & Kilic, G. (2013). Determination of electromagnetic shielding performance of hybrid yarn knitted fabrics with anechoic chamber method. *Textile Research Journal*, 83(1), 90–99. <https://doi.org/10.1177/0040517512456758>
16. Grecka, M., Frydrych, I., & Matusiak, M. (2015). EMF shielding effectiveness of knitted fabrics of metallized threads. *Materials Science. Textile and Clothing Technology*, 9, 50. <https://doi.org/10.7250/mstct.2014.008>

17. Кизимчук, О. П., Арабулі, С. І., & Власенко, В. І. (2019). Текстиль для захисту від електромагнітного випромінювання. *Вісник Київського національного університету технологій та дизайну. Серія Технічні науки*, 134(3), 48–61. <https://doi.org/10.30857/1813-6796.2019.3.5>
18. Tunakova, V., Militky, J., Mishra, R., & Kovacic, V. (2020). Fashion clothing with electromagnetic radiation protection: Aesthetic properties and performance. *Textile Research Journal*, 90(21-22), 2504–2521. <https://doi.org/10.1177/0040517520923047>
19. Bajzik, V., Militky, J., Kyzymchuk, O., & Tunakova, V. (2024). Hybrid knitted fabric for electromagnetic radiation shielding: Thermo-physical properties. *Textile Research Journal*, 94(7–8), 814–828. <https://doi.org/10.1177/00405175231218741>
20. International Organization for Standardization. (2021). *ISO 6330:2021 - Textiles—Domestic washing and drying procedures for textile testing*.
21. International Organization for Standardization. (2005). *ISO 139:2005 - Textiles—Standard atmospheres for conditioning and testing*.
22. European Committee for Standardization. (2006). *EN 14971:2006 - Textiles—Knitted fabrics—Determination of the number of stitches per unit length and unit area*.
23. Krylova, L. O., & Melnyk, L. M. (2015). *Osnovy teorii viazannia: Pidruchnyk [Fundamentals of knitting theory: A textbook]*. Kyiv: Kaf.
24. European Committee for Standardization. (2006). *EN 14970:2006 - Textiles—Knitted fabrics—Determination of stitch length and yarn linear density in weft knitted fabrics*.
25. European Committee for Standardization. (1997). *EN 12127:1997 - Textiles—Fabrics—Determination of mass per unit area using small samples*.
26. International Organization for Standardization. (1996). *ISO 5084:1996 - Textiles—Determination of thickness of textiles and textile products*.
27. Mangat, M., & Hes, L. (2014). Thermal resistance of denim fabric under dynamic moist condition and its investigational confirmation. *Fibres and Textiles in Eastern Europe*, 22(6), 101–105.
28. Fung, F., Wong, A. S. W., & Li, Y. (2020). Water vapor resistance measured on sweating thermal manikin and Permetest skin model in the vertical orientation. *Communications in Development and Assembling of Textile Products*, 1(1), 65–73. <https://doi.org/10.25367/cdatp.2020.1.p65-73>
29. Kyzymchuk, O., Arabuli, A., Bajzik, V., & Tunakova, V. (2024). Effect of metal wire on the structure of hybrid knitted fabric. In *Book of Proceedings of 11th International Textile, Clothing & Design Conference: Magic World of Textiles* (pp. 69–74). Dubrovnik, Croatia. ISSN 2718-3262.
30. Bukhonka, N. P., & Kyzymchuk, O. P. (2023). The effect of miss stitches on the dimensional and stretch properties of double weft cotton/flax knitted fabrics. *Journal of Engineered Fibers and Fabrics*, 18. <https://doi.org/10.1177/15589250231210954>

References

1. Liu, S., Zhang, Q., Wang, H., & Wang, X. (2016). Smart E-textile: Resistance properties of conductive knitted fabric – single pique. *Textile Research Journal*, 87(14), 1669–1684. <https://doi.org/10.1177/0040517516658509>
2. Rafiq, M., Ali, U., Khan, M. A., & Hussain, T. (2024). A review on the manufacturing techniques for textile based antennas. *Journal of Engineered Fibers and Fabrics*, 19. <https://doi.org/10.1177/15589250241226585>
3. Li, Q., & Tao, X. (2011). A stretchable knitted interconnect for three-dimensional curvilinear surfaces. *Textile Research Journal*, 81(11), 1171–1182. <https://doi.org/10.1177/0040517511399965>
4. Tunakova, V., Militky, J., Mishra, R., & Kovacic, V. (2020). Hybrid knitted fabric for electromagnetic radiation shielding. *Journal of Engineered Fibers and Fabrics*, 15. <https://doi.org/10.1177/1558925020925397>
5. Ciesielska-Wróbel, I., & Grabowska, K. (2012). Estimation of the EMR shielding effectiveness of knit structures. *Fibres & Textiles In Eastern Europe*, 20(2(91)), 53–60.
6. Soyaslan, D., Çömlekçi, S., & Göktepe, Ö. (2010). Determination of electromagnetic shielding performance of plain knitting and 1x1 rib structures with coaxial test fixture relating to ASTM D4935. *Journal of the Textile Institute*, 101(10), 890–897. <https://doi.org/10.1080/00405000902945360>
7. Sancak, E., Kocak, D., Kaynak, H. K., & Topalbekiroglu, M. (2018). The effects of fabric and conductive wire properties on electromagnetic shielding effectiveness and surface resistivity of interlock knitted fabrics. *Fibers and Polymers*, 19(4), 843–853. <https://doi.org/10.1007/s12221-018-7906-8>
8. Roh, J. S., Lee, J. H., Kim, J. H., & Kang, T. J. (2008). Electromagnetic shielding effectiveness of multifunctional metal composite fabrics. *Textile Research Journal*, 78(9), 825–835. <https://doi.org/10.1177/0040517507089748>
9. Arabuli, A., Bajzik, V., & Kyzymchuk, O. (2023). Electromagnetic shielding effectiveness of hybrid knitted fabrics with stainless steel wire. *Technologies and Engineering*, (4), 77–87. <https://doi.org/10.30857/2786-5371.2023.4.7>
10. Bedeloglu, A. (2013). Electrical, electromagnetic shielding, and some physical properties of hybrid yarn-based knitted fabrics. *Journal of the Textile Institute*, 104(11), 1247–1257. <https://doi.org/10.1080/00405000.2013.796627>
11. Perumalraj, R., & Dasaradan, B. S. (2009). Electromagnetic shielding effectiveness of copper core yarn knitted fabrics. *Indian Journal of Fibre and Textile Research*, 34(2), 149–154.
12. Tezel, S., Uysal, M., & Babaarslan, O. (2023). Influence of knitting structure and metal wire amount on electromagnetic shielding effectiveness of knitted fabrics. *Textile and Apparel*, 33(1), 37–44. <https://doi.org/10.32710/tekstilvekonfeksiyon.987174>
13. Çeken, F., Uysal, M., & Babaarslan, O. (2012). The electromagnetic shielding properties of some conductive knitted fabrics produced on single or double needle bed of a flat knitting machine. *Journal of the Textile Institute*, 103(9), 968–979. <https://doi.org/10.1080/00405000.2011.639514>
14. Çeken, F. (2011). The electromagnetic shielding properties of copper and stainless steel knitted fabrics. *Tekstil*, 60(7), 321–328.
15. Orlek, H. G., Alpyildiz, T., & Kilic, G. (2013). Determination of electromagnetic shielding performance of hybrid yarn knitted fabrics with anechoic chamber method. *Textile Research Journal*, 83(1), 90–99. <https://doi.org/10.1177/0040517512456758>

16. Grecka, M., Frydrych, I., & Matusiak, M. (2015). EMF shielding effectiveness of knitted fabrics of metallized threads. *Materials Science. Textile and Clothing Technology*, 9, 50. <https://doi.org/10.7250/mstct.2014.008>
17. Kyzymchuk, O. P., Arabuli, S. I., & Vlasenko, V. I. (2019). Tekstyl dlia zakhystu vid elektromahnitnoho vyprominiuvannia. *Visnyk Kyivskoho natsionalnoho universytetu tekhnologii ta dyzainu. Seria Tekhnichni nauky*, 134(3), 48–61. <https://doi.org/10.30857/1813-6796.2019.3.5>
18. Tunakova, V., Militky, J., Mishra, R., & Kovacic, V. (2020). Fashion clothing with electromagnetic radiation protection: Aesthetic properties and performance. *Textile Research Journal*, 90(21-22), 2504–2521. <https://doi.org/10.1177/0040517520923047>
19. Bajzik, V., Militky, J., Kyzymchuk, O., & Tunakova, V. (2024). Hybrid knitted fabric for electromagnetic radiation shielding: Thermo-physical properties. *Textile Research Journal*, 94(7–8), 814–828. <https://doi.org/10.1177/00405175231218741>
20. International Organization for Standardization. (2021). ISO 6330:2021 - Textiles—Domestic washing and drying procedures for textile testing.
21. International Organization for Standardization. (2005). ISO 139:2005 - Textiles—Standard atmospheres for conditioning and testing.
22. European Committee for Standardization. (2006). EN 14971:2006 - Textiles—Knitted fabrics—Determination of the number of stitches per unit length and unit area.
23. Krylova, L. O., & Melnyk, L. M. (2015). *Osnovy teorii viazannia: Pidruchnyk [Fundamentals of knitting theory: A textbook]*. Kyiv: Kaf.
24. European Committee for Standardization. (2006). *EN 14970:2006 - Textiles—Knitted fabrics—Determination of stitch length and yarn linear density in weft knitted fabrics*.
25. European Committee for Standardization. (1997). *EN 12127:1997 - Textiles—Fabrics—Determination of mass per unit area using small samples*.
26. International Organization for Standardization. (1996). *ISO 5084:1996 - Textiles—Determination of thickness of textiles and textile products*.
27. Mangat, M., & Hes, L. (2014). Thermal resistance of denim fabric under dynamic moist condition and its investigational confirmation. *Fibres and Textiles in Eastern Europe*, 22(6), 101–105.
28. Fung, F., Wong, A. S. W., & Li, Y. (2020). Water vapor resistance measured on sweating thermal manikin and Permetest skin model in the vertical orientation. *Communications in Development and Assembling of Textile Products*, 1(1), 65–73. <https://doi.org/10.25367/cdatp.2020.1.p65-73>
29. Kyzymchuk, O., Arabuli, A., Bajzik, V., & Tunakova, V. (2024). Effect of metal wire on the structure of hybrid knitted fabric. In *Book of Proceedings of 11th International Textile, Clothing & Design Conference: Magic World of Textiles* (pp. 69–74). Dubrovnik, Croatia. ISSN 2718-3262.
30. Bukhonka, N. P., & Kyzymchuk, O. P. (2023). The effect of miss stitches on the dimensional and stretch properties of double weft cotton/flax knitted fabrics. *Journal of Engineered Fibers and Fabrics*, 18. <https://doi.org/10.1177/15589250231210954>