

ЛЕВИЦЬКА Д.Р., КИЗИМЧУК О.П.

Київський національний університет технологій та дизайну, Україна

## ТРИКОТАЖНІ ПОЛОТНА ДЛЯ ЗАХИСТУ ВІД ЕЛЕКТРОМАГНІТНОГО ВИПРОМІНЮВАННЯ: БУДОВА, ПРИНЦИП ЕКРАНУВАННЯ ТА КОМФОРТНІСТЬ

*Надійний захист від дії електромагнітного випромінювання (ЕМВ) може бути досягнений за рахунок використання текстильних екранів, які отримують за різними технологіями. Трикотажні матеріали, які одержані шляхом увязування в структуру струмопровідних ниток або металевих дротів, набувають все більшого розповсюдження з огляду на можливість їхнього подальшого використання у захисному одязі.*

**Метою роботи** є дослідження екрануючих властивостей та показників термофізіологічного комфорту промислових трикотажних матеріалів, які призначені для екранування електромагнітного випромінювання.

**Методи.** Ефективність екранування текстильних матеріалів до дії ЕМВ визначали відповідно до ASTM 4935-10 в діапазоні частот 30 МГц - 1,5 ГГц. Показники теплофізіологічного комфорту визначали за спеціально розробленими методиками.

**Головні результати.** Серед трикотажних полотен для захисту від електромагнітного випромінювання, які обрані для дослідження серед наявних на ринку України, найвищу екрануючу здатність (понад 50 дБ) має основов'язаний трикотаж переплетення трико-сукно. Ефективність екранування цього полотна забезпечується, головним чином, механізмом поглинання, в той час як ефективність екранування полотна утокового переплетення – механізмами поглинання та відбиття практично в рівних частках. Досліджені трикотажні матеріали для захисту від ЕМВ характеризуються широким діапазоном значень теплофізичних властивостей та високими показниками паропроникності, що дозволяє використовувати їх у спеціальному та повсякденному одязі, надаючи йому захисних функцій.

**Новизна роботи** полягає в обґрунтованому аналізі наукових публікацій з розробки та дослідження трикотажних матеріалів для захисту від електромагнітного випромінювання та узагальненні головних результатів попередніх розробок, що створює підґрунтя для розробки нових та удосконалення існуючих трикотажних матеріалів для екранування.

**Практична значимість** роботи полягає в тому, що отримані значення ефективності екранування та показників термофізіологічного комфорту трикотажних матеріалів можуть бути використані у якості базових при розробці та проектуванні новітніх текстильних матеріалів для захисту від електромагнітного випромінювання.

**Ключові слова.** Текстильні екрани, електромагнітне випромінювання, трикотаж, ефективність екранування, термофізіологічний комфорт

### KNITTED MATERIALS FOR ELECTROMAGNETIC RADIATION SHIELDING: STRUCTURE, SHIELDING PRINCIPLE AND COMFORT

LEVYTSKA D., KYZYMCHUK O.

Kyiv National University of Technologies and Design, Ukraine

**Abstract.** Reliable protection against electromagnetic radiation (EMR) can be achieved through the use of textile screens, which are obtained by various technologies. Knitted materials produced by

*incorporating conductive threads or metal wires into the structure are becoming more common due to further use in protective clothing manufacturing.*

**The purpose** of this work is to study the shielding effectiveness and thermophysiological comfort of industrial knitted fabrics for electromagnetic radiation shielding.

**Methodology.** Standardized methods ASTM 4935-10 was used to determine the shielding effectiveness of knitted materials in the frequency range of 30 MHz - 1.5. The indicators of thermophysiological comfort were determined by specially developed methods.

**Results.** Three knitted fabrics for protection against electromagnetic radiation available at Ukrainian market have been studied. The warp knitted fabric of locknit interlooping has got the highest shielding efficiency (over 50 dB). The shielding efficiency of this fabric is provided mainly by the absorption mechanism, while the shielding efficiency of filling knitted fabric is provided by the absorption and reflection mechanisms in almost equal proportion. The studied knitted fabrics for EMR shielding are characterized by a wide values range of thermophysical properties and high vapor permeability, which allows them to be used in special and casual clothing with protective functionality.

**The novelty** of the work is in a thorough analysis of scientific publications on the development and research of knitted materials for protection against electromagnetic radiation as well summarizing the main results of previous developments, which creates a basis for creating new and developing existing knitted materials for shielding.

**The practical value** of the work is in the future using the obtained values of shielding efficiency and thermophysiological comfort of knitted materials as basic indicators for the design and development of new textile materials for protection against electromagnetic radiation.

**Keywords.** Textile screens, electromagnetic radiation, knitted fabric, shielding efficiency, thermophysiological comfort.

**Вступ.** Забрудненість навколишнього середовища електромагнітним випромінюванням (ЕМВ) за останні десятиліття зросла не менше ніж у мільйон разів і набула глобального характеру переваживши за значенням вплив хімічних та радіаційних факторів. Рівень електромагнітного випромінювання зараз значно перевищує природний рівень, який був встановлений у процесі розвитку біосистем. Високий ступінь загроз посилюється тим, що наслідки можуть виявитися через достатньо довгий період часу та негативно впливати на стан імунної та генетичної стійкості поколінь.

Для захисту від ЕМВ, що випромінюється діючими електричними та електронними пристроями, широко використовують екрани на основі текстильних матеріалів, які мають ряд переваг [1, 2]: малу вагу, гнучкість та комфорт. Останній набуває дедалішої важливості з точки зору застосування таких матеріалів в одязі [3] та побуті [4].

Текстиль сам по собі не захищає від ЕМВ, однак, він може бути успішно перетворений в захисний матеріал після зміни сировинного складу матеріалів, створення нового виробничого процесу або адаптування технології, які можуть зробити їх електропровідними [5]. Основні публікації

щодо текстильних екранів для захисту від електромагнітного випромінювання (ЕМВ) стосуються розробки нових текстильних матеріалів [6] та методів їх отримання [7], а також досліджень їх функціональних властивостей [8]. Текстильні захисні матеріали виготовляють з провідних полімерів, металевих волокон, металевих дротів (алюміній (Al), срібло (Ag), нікель (Ni), мідь (Cu) і нержавіюча сталь (SS), ниток з металевим покриттям або комплексних ниток.

**Постановка завдання.** Існує можливість отримання захисних текстильних екранів шляхом переробки струмопровідних ниток на в'язальному обладнанні. Технологія трикотажу надає більш широкі можливості у формуванні не тільки прямолінійних ділянок провідних ниток, а і формувати з них петлі та накиди, що може вплинути на ефективність екранування. Для отримання трикотажних екранів для захисту від ЕМВ використовують як кулірне в'язання [9] так і основов'язання [10].

Головними переплетеннями, які використовують для отримання текстильних екранів на кулірних машинах є гладь, ластик та інтерлок. Так, метою дослідження, які проводив Tezel S з колегами [11] було дослідити ефективність електромагнітного екранування тонкого і легкого трикотажного

полотна переплетення гладь, яке може бути використано для повсякденного одягу, наприклад футболки. Результати випробувань методом вимірювання вільного простору виявили, що трикотажні полотна одинарного переплетення гладь мають здатність до поляризації електричного поля в тому ж напрямку, що і основний напрям електропровідних металевих дротів у полотні. За результатами випробувань встановлено, що всі структури досліджуваних полотен мають ефективність екранування більше 7 дБ (80% або вище) для діапазонів стільникового зв'язку GSM-850 та GSM-900.

У іншому дослідженні [12] перевагу було віддано виробництву двокомпонентних волокон: титанат барію використано як серцевину для надання функціональності пряжі, а стандартну поліетилентерефталату пряжу – як оболонку. Трикотажні полотна переплетення гладь двох щільностей отримано на круглов'язальних машинах 14 та 22 класів. Полотна, які містять титанат барію, виявили вищий рівень захисту, ніж полотна без нього. Значення ефективності екранування полотна становлять понад 10 дБ в інтервалі випромінювання до 0,03-0,11 ГГц і понад 7 дБ в інтервалі до 0,34-0,77 ГГц. Ці тканини можна використовувати для виготовлення повсякденного одягу або офісної форми.

Інший підхід для отримання електропровідної пряжі представлено у статті [6], в межах якої трикотажні полотна переплетень гладь та ластик 1+1 виробляли з одно- і двохшарової гібридної пряжі, яка отримана обвиванням акрилової пряжі дротами з нержавіючої сталі, що мають два різних діаметри. Встановлено, що збільшення вмісту дроту значно збільшує провідність полотна. Полотна переплетення ластик 1+1 демонструють кращі значення ефективності екранування порівняно з полотнами переплетення гладь. Полотна з двічі обвитої пряжі та полотна, в яких використано дріт меншого діаметру, демонструють кращі екрануючі властивості. Найвище значення ефективності екранування ЕМВ було отримано для трикотажу ластичного переплетення з дротом 35 мкм з нержавіючої сталі. Гібридні трикотажні полотна, що містять металевий дріт та акрилове волокно, можуть бути використані для виготовлення захисного текстилю, такого як штори, віконні екрани та корпуси для електричних / електронних пристроїв

У роботі [9] розроблено та досліджено трикотажні структури трьох типів (гладь, подвійна гладь та двохшаровий на базі подвійної гладі з поєднанням в певних рядах

і прокладанням поперечних утокових ниток), які містять феромагнітні та електропровідні матеріали і призначені для індивідуального захисту від виробничої небезпеки. Аналіз структур вказує на екрануючі властивості як електричного, так і магнітного поля в деяких вузьких діапазонах. В результаті досліджень встановлено, що трикотажні структури є кращим варіантом для використання в засобах індивідуального захисту (комбінезонах або обмундируванні), що захищають від ЕМВ за умови, що вони виготовлені з належного феромагнітного матеріалу, включеного в структуру. Ефективність екранування трикотажних матеріалів залежить від розташування феромагнітних та електропровідних ниток у в'язаній структурі.

D. Soyaslan, S. Çömlekçi and Ö. Göktepe досліджували трикотажні полотна чотирьох переплетень (гладь, ластик 1+1 звичайні та з прокладанням утокових ниток), які виготовлено на плосков'язальній машині 7 класу із застосуванням бавовняних ниток та мідного дроту [13]. Трикотаж переплетення ластик 1+1 з утоковою ниткою визначено як найкраща структура для роботи обладнання в смузі ультрависокої частоти. Щільність в'язання є ефективним параметром у діапазоні частот 27–300 МГц, а вміст струмопровідного компоненту ефективний у діапазоні частот 27–800 МГц. На частотах, що перевищують 800 МГц, збільшення як діаметра, так і вмісту струмопровідних ниток не впливає на ефективність екранування ЕМВ трикотажу.

Perumalraj R. and Dasaradan B.S. проводили дослідження ефективності електромагнітного екранування трикотажного полотна з пряжі з мідним ядром [14]. Встановлено, що зі збільшенням товщини, кількості петельних рядів та стовпчиків ефективність екранування зростає. Трикотажне полотно переплетення інтерлок має кращу ефективність електромагнітного екранування, ніж ластик та гладь. Зі збільшенням діаметра мідного дроту спостерігається зниження ефективності екранування.

У іншій роботі [15] досліджено трикотажні матеріали зі струмопровідних дротів мідного та з нержавіючої сталі, які обкручені акриловими нитками, а також стрижневої пряжі з електропровідних ниток для перевірки електромагнітних захисних властивостей полотна. Встановлено, що петельна структура тканин впливає на ефективність електромагнітного екранування. Порівнянням одинарних переплетень похідна гладь та лакоста було встановлено, що трикотаж переплетення лакоста має більш

високі значення ефективності екранування, особливо в діапазонах низьких частот. Більше того, трикотажне полотно переплетення лакоста ефективне в широких діапазонах частот ЕМВ. Отже наявність накидів у структурі трикотажу є дуже ефективним для відбивання електромагнітних хвиль. Дослідження ефективності екранування трикотажу подвійних переплетень інтерлок та піке показало подібність результатів. Лише в середньо-частотному діапазоні спостерігалось значне збільшення значень SE у трикотажу переплетення подвійне піке. Зроблено висновок, що це може бути пов'язано з наявністю довгих протяжок, які розташовані за остовами петель у структурі полотна. Крім того, полотна, які зв'язані на двох фонтурах в'язальної машини з більшою кількістю струмопровідних ниток та збільшеної ваги, не могли забезпечити цілеспрямоване поліпшення значень ефективності екранування у порівнянні з полотнами, які виготовлені на одній фонтурі в'язальної машини.

Командою чеських та українських науковців розроблено гібридні трикотажні матеріали зля захисту від електромагнітного випромінювання [16], які утворені як одночасним пров'язуванням сталевого дроту разом з бавовняною пряжею, так і чергуванням сировини за рапортом. Ефективність екранування розроблених полотен на низьких частотах (до 0,3 ГГц) перевищує 10 дБ і залежить від розташування ниток з нержавіючої сталі в структурі трикотажу. Встановлено, що накраші екрануючі властивості має трикотаж переплетення напів міланський ластик. Було виявлено, що двошарові матеріали забезпечують збільшення ефективності екранування, а при орієнтації шарів під кутом 90° ефективність зростає на 10 – 15 дБ порівняно з одношаровою структурою.

Низку наукових досліджень присвячено вивченню екрануючих властивостей основов'язаного трикотажу. Так Yu Zhi-Cai з колегами [8] досліджували електромагнітне екранування та інші функціональні властивості еластичних в'язаних полотен, які виготовлені на тамбурній основов'язальній машині. У якості поперечного утоку на лицьовій стороні полотна використовували струмопровідні композитні нитки. В якості ґрунтової нитки обрано поліестер, а для надання еластичності введено поліуретанові нитки як повздовжній уток. Експериментальні результати показали, що розтягування суттєво не вплинуло на екранування полотна в діапазоні подовження 0 – 40 %. Двошарові полотна з кутами

накладання 0°/90° демонструють кращий захисний ефект від електромагнітного випромінювання порівняно з полотнами з кутами накладання 0°/0°, адже в ламінованих матеріалах з інтервалом 90° металевий дріт утворює структуру металевої сітки.

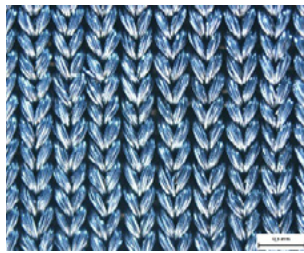

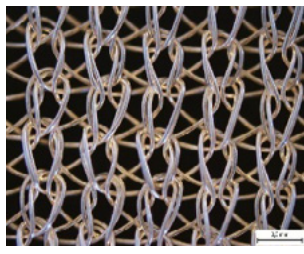
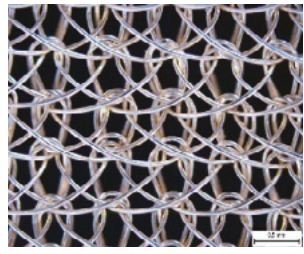
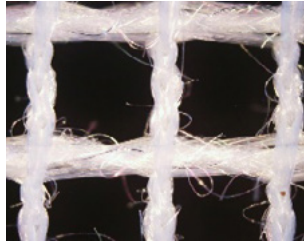
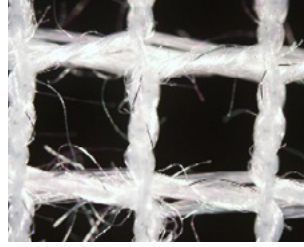
Отже проведений аналіз наукової літератури з розробки трикотажних екранів для захисту від електромагнітного випромінювання показав, що на ефективність екранування таких матеріалів впливають вид переплетення і форма, яку приймає струмопровідна нитка в структурі, щільність та товщина трикотажу, а також його заповненість.

Слід зазначити, що сучасний ринок текстильних матеріалів для захисту від ЕМВ представлений широким спектром виробників, зокрема Bekaert (Бельгія), YSHIELD (Німеччина), Jinan EMI Shielding Technology CO (Китай), Holland Shielding System BV (Нідерланди), Swiss Shield Ltd (Швейцарія) тощо.

**В роботі проведено** дослідження екрануючих властивостей та показників комфорту промислових трикотажних матеріалів, які призначені для екранування ЕМВ. Дослідження проводяться з **метою** встановлення базових значень показників при розробці нового асортименту текстильних матеріалів для екранування електромагнітного випромінювання. З огляду на можливість використання матеріалів в одязі, комфорт оцінювали за показниками теплофізичних характеристик та паропроникністю.

**Предмет дослідження.** Для дослідження у роботі було обрано наявні на ринку України трикотажні полотна з екрануючими властивостями. Характеристики матеріалів представлені в табл.1. Серед досліджуваних полотен є кулірне (варіант 1), основов'язане (варіант 2) та утокове на базі ланцюжка (варіант 3) полотна. Полотна варіантів 2 та 3 мають більш відкриту петельну структуру з наявними отворами, в той час як полотно варіанту 1 щільне за рахунок використання високорозтяжних ниток спандекс, які одночасно надають йому високої розтяжності (50 % по ширині та 80 % по довжині полотна). Обрані полотна різняться за поверхневою густиною (від 40 до 130 г/м<sup>2</sup>), що свідчить про широкий спектр показника та можливість використання у виробках різного призначення. Усі полотна містять срібло, однак у полотна 3 варіанту його вміст незначний (1 %), але водночас дане полотно має в своєму складі 21 % міді.

**Таблиця 1 – Характеристики текстильних матеріалів**

Варіант	Сировинний склад, [%]	Поверхнева густина, [г/м <sup>2</sup> ]	Зовнішній вигляд при збільшенні: 5x (SEM)	
			лице	виворіт
1	Спандекс – 80 Срібло – 20	130		
2	Поліамід – 80 Срібло – 20	40		
3	Полефір – 78 Мідь – 21 Срібло - 1	65		

**Методи дослідження.** Ефективність екранування текстильних матеріалів до дії ЕМВ визначали відповідно до ASTM 4935-10 в діапазоні частот 30 МГц - 1,5 ГГц із застосуванням EM-2107A (Electro Metrics). Даний метод використовують для вимірювання ефективності електромагнітного екранування плоских матеріалів для плоскої хвилі. Ефективність екранування визначається шляхом порівняння різниці в згасанні еталонного зразку з тестовим зразком з урахуванням вхідних і вихідних втрат. Процедура вимірювання складається з двох етапів: на першому етапі еталонний зразок поміщується в тестовий адаптер для компенсації ємності зв'язку. Зразок має форму 33-міліметрового кола всередині 133/76-мм кільця. На другому етапі використовують зразок досліджуваного матеріалу. Дослідження проводили з використанням векторного аналізатора Rohde & Schwarz ZNC3 (діапазон частот від 9 кГц до 3 ГГц).

Ефективність екранування (SE), яка виражається у децибелах [дБ], є сумою втрат відбиття та поглинання. Її визначають відношенням енергії, яку отримано при використанні матеріалу до енергії, яку

отримано без його застосування і залежно від типу приймача може бути визначено за наступними формулами:

$$SE = 10 \log P_1/P_0 = SE_A + SE_R + SE_M \text{ [дБ]}, \quad (1)$$

де  $P_1$  – потужність, яку отримано при використанні матеріалу;  
 $P_0$  – потужність, яку отримано без використання матеріалу;  
 $SE_A$  – ефективність екранування за рахунок поглинання;  
 $SE_R$  – ефективність екранування за рахунок відбиття;  
 $SE_M$  – ефективність екранування за рахунок багаторазового відбиття в структурі.

Визначення виду переплетення та параметрів структури трикотажних полотен проводили за стандартними методами відповідно ISO 23606:2009, EN 14970:2006 та ISO 5084:1996

Дослідження обраних показників комфортності проводили за спеціально розробленими методиками. Відносну паропроникність P [%] полотен досліджували на приладі «PERMETEST». Пробу текстильного матеріалу діаметром 90 мм розташовують

на відстані  $1,0 \div 1,5$  мм від попередньо зволоженої пористої поверхні. Тепловий потік, який генерується під час випаровування рідкої води з пористої поверхні, вимірюється датчиком. Час дослідження  $2 \div 8$  хвилин. Вимірювання теплофізичних характеристик текстильних матеріалів здійснювали на приладі «ALAMBETA» при

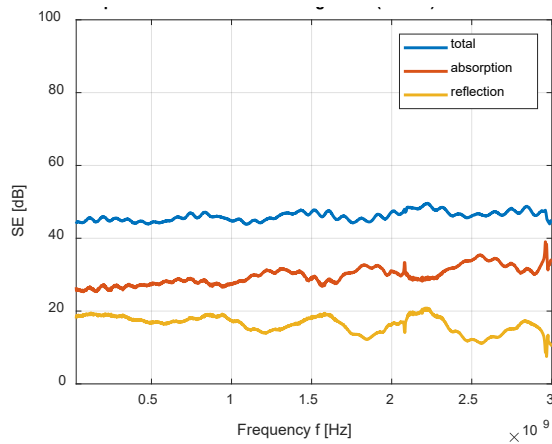
перепаді температур  $10^{\circ}\text{C}$  и тиску на пробу  $P = 200$  Па. Температура верхньої обігріваної пластини становила  $34^{\circ}\text{C}$ . В основу роботи приладу покладений принцип стаціонарного теплового потоку від пластини з постійним у часі температурним полем через матеріал до пластини з температурою, яка дорівнює температурі навколишнього середовища ( $24^{\circ}\text{C}$ ). У результаті в пробі текстильного матеріалу створюється різниця температур, що доводиться до сталості і по закінченню виміру на дисплеї приладу видаються наступні теплофізичні характеристики: товщина,  $h$  [мм]; коефіцієнт теплопровідності  $\lambda \cdot 10^{-3}$  [Вт/(м·К)]; коефіцієнт температуропроводності,  $a \cdot 10^{-6}$  [м<sup>2</sup>/с]; коефіцієнт теплового поглинання,  $b$  [Вт·с<sup>1/2</sup>/м<sup>2</sup>·К]; тепловий опір,  $R \cdot 10^{-3}$  [К·м<sup>2</sup>/Вт]; щільність теплового потоку,  $q \cdot 10^{-3}$  [Вт/м<sup>2</sup>].

**Результати дослідження та їх обговорення.**

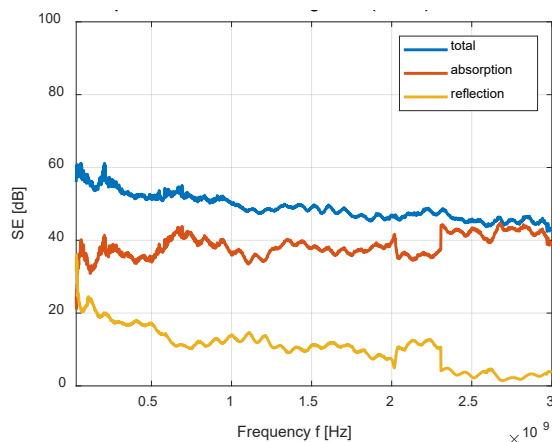
Ефективність екранування промислових трикотажних матеріалів для захисту від ЕМВ. Результати дослідження ефективності екранування в діапазоні частот від 9 кГц до 3 ГГц представлені на графіках рис.1 в розрізі основних механізмів послаблення ЕМВ: поглинання та відбиття. Слід зазначити, що всі матеріали мають здатність до екранування електромагнітного випромінювання у досліджуваному діапазоні.

Найвищі екрануючу здатність ( $SE=50 \div 60$  дБ) має основов'язаний трикотаж варіанту 2 (рис.1.б), при цьому показник дещо знижується при збільшенні частоти. Кулірний трикотаж варіанту 1 (рис.1.а) має практичну однакову ефективність екранування ( $SE=45$  дБ) у досліджуваному діапазоні частот. Трикотаж утокового переплетення варіанту 3 (рис.1.в) має найнижчу ефективність екранування серед досліджуваних матеріалів, яка значною мірою залежить від частотного діапазону. Найбільш ефективним є використання даного трикотажу при випромінюванні 1,4 ГГц ( $SE=40$  дБ), подальше зменшення або збільшення частоти випромінювання призводить до зниження ефективності екранування. Різницю в показниках можна пояснити різною структурою полотен та формою і розташуванням провідних елементів в структурі.

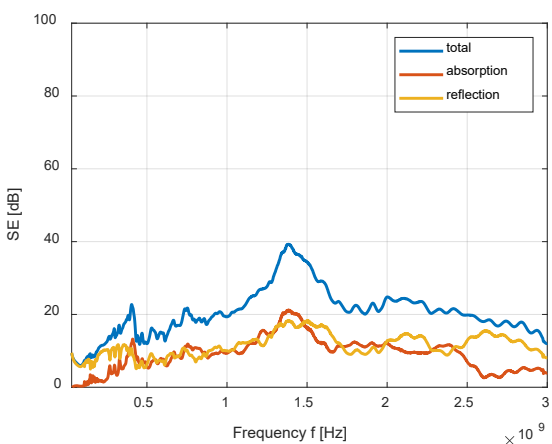
Слід звернути увагу, що ефективність екранування полотен варіантів 1 (рис.1.а) та 2 (рис.1.б) забезпечується, головним чином, механізмом поглинання, в той час як ефективність екранування полотна варіанту 3 (рис.1.в) забезпечується механізмами поглинання та відбиття практично в рівних



а



б



в


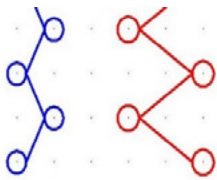
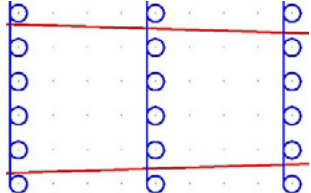
**Рисунок 1 – Ефективність екранування трикотажних матеріалів: а – варіант 1; б – варіант 2; в – варіант 3**

частках. Таку різницю можна пояснити, перш за все, різною будовою матеріалу: полотно утокового переплетення на базі ланцюжка (варіант 3) має найбільші отвори, що знижує ефективність механізму поглинання. З іншого боку, це полотно має незначний вміст срібла, але в ньому присутня мідь, що також може підвищити ефективність механізму видбиття.

*Переплетення та параметри структури трикотажних матеріалів для захисту від ЕМВ.* Результати визначення структурних характеристик досліджуваних полотен представлено у таблиці 2. Очевидно, що полотно кулірного переплетення

гладь (варіант 1) є найбільш щільним за рахунок використання високопружних ниток спандекс та має найбільшу товщину. Основов'язане полотно варіанту 2 виготовлене двоGREBINКОВИМ одинарним переплетенням трико-сукно з закритими петлями при повному набірні обох GREBINOK та їх зустрічному зсуві за спинками голок, що дозволяє отримати вертикальні петельні стовпчики без нахилу остовів петель у них. Трикотаж має наскрізні отвори різної конфігурації, які зумовлені взаємним розташуванням протяжок двох GREBINOK.

**Таблиця 2 – Вид переплетення та параметри структури трикотажних матеріалів**

Варіант	Перепле-тєння	Графічний запис переплетення	Кількість у 100 мм петельних		Товщина, мм
			рядів	стовпчиків	
1	Гладь		540 ± 0	330 ± 0	0,371 ± 0,000
2	Трико-сукно		260 ± 6	170 ± 5	0,295 ± 0,002
3	Уток-ланцюжок		320 ± 2	95 ± 1	0,270 ± 0,001

Найменш щільну структуру має полотно варіанту 3, ґрунтовим переплетенням якого є ланцюжок. Прокладання ґрунтових ниток відбувалося не на кожну голку, що дозволило створити значну (понад 1 мм) відстань між сусідніми петельними стовпчиками. З метою утворення чітко виражених наскрізних квадратних чарунок поперечні уткові нитки прокладено в кожному четвертому ряді. Отже даний варіант трикотажу є найбільш пористим з отворами площею біля 1 мм<sup>2</sup> та має найменшу товщину.

*Показники комфорту промислових трикотажних матеріалів для захисту від ЕМВ.* Комфорт одягу має два основних аспекти – термофізіологічний і сенсорний комфорт. Перший стосується здатності тканин до поглинання і розсіювання метаболічного тепла і вологи, тоді як останній відноситься до взаємодії матеріалу з органами почуттів

користувача, особливо з тактильною реакцією шкіри на зміну теплоти і вологості.

Досліджені трикотажні матеріали характеризуються широким діапазоном значень теплофізичних властивостей (табл.3). Коефіцієнт теплопровідності ( $\lambda$ ) характеризує ступінь інтенсивності проходження тепла через текстильний матеріал: найменше значення він має у полотна варіанту 3 з найбільш пористою структурою, а найбільше – у найщільнішого полотна варіанту 1. Така залежність вказує на вплив повітря, яке заповнює пори матеріалу і має дуже низьке значення коефіцієнта теплопровідності ( $\lambda = 26,0 \cdot 10^{-3} \text{ Вт} \cdot \text{м}^{-1} \cdot \text{К}^{-1}$ ). Тепловий опір (R) трикотажних матеріалів для екранування ЕМВ є незначним і знаходиться в межах від  $6,4 \cdot 10^{-3}$  до  $10,3 \cdot 10^{-3} \text{ Вт}^{-1} \cdot \text{К} \cdot \text{м}^2$ , отже дані матеріали не мають теплозахисних властивостей.

**Таблиця 3 – Показники теплопроводності та паропроникності трикотажних полотен**

Варіант	Коефіцієнт теплопроводності, $\lambda \cdot 10^{-3}$ , Вт · м <sup>-1</sup> · К <sup>-1</sup>	Коефіцієнт температуропроводності, $a \cdot 10^{-6}$ , м <sup>2</sup> · с <sup>-1</sup>	Коефіцієнт теплового поглинання, $b$ , Вт · с <sup>1/2</sup> /м <sup>2</sup> · К	Тепловий опір, $r \cdot 10^{-3}$ , Вт <sup>-1</sup> · К · м <sup>2</sup>	Відносна паропроникність, Р %
1	57,4 ± 0,3	0,073 ± 0,001	212,7 ± 2,9	6,4 ± 0,1	79,0 ± 0,5
2	32,8 ± 0,6	0,051 ± 0,009	147,6 ± 8,3	9,1 ± 0,1	88,2 ± 0,7
3	26,0 ± 0,3	0,045 ± 0,005	124,6 ± 7,5	10,3 ± 0,1	87,5 ± 0,5

Коефіцієнт температуропровідності (**a**) характеризує швидкості вирівнювання температури в різних точках текстильного матеріалу і для досліджуваних полотен є незначним ( $a < 0,1 \cdot 10^{-6} \text{ м}^2 \cdot \text{с}^{-1}$ ). Коефіцієнт теплового поглинання (**b**) є показником, який характеризує теплове відчуття людини при доторканні до текстильного матеріалу. Його визначають як  $b$ . Зі збільшенням числового значення цього коефіцієнта підвищуються неприємні холодкові відчуття людини при торканні текстильних матеріалів. Результати проведених досліджень показали, що найбільш приємним на дотик є полотно варіанту 3, а найменш приємним – варіанту 1.

Досліджені текстильні матеріали характеризуються високим значенням паропроникних властивостей (табл.3), що пов'язано з їх здатністю переносити вологу через свою структуру. Основов'язані трикотажні полотна (варіанти 2 та 3) мають вищі значення позника, адже їх структура є більш пористою, а на доданок їх товщина значно менша ніж кулірного полотна (варіант 1).

**Висновки**

Серед текстильних матеріалів для захисту від ЕМВ чинне місце займають трикотажні матеріали, які отримані шляхом пров'язування струмопровідних ниток та металевих дротів (срібла, міді, нержавіючої сталі) у петлі. Досліджувані трикотажні матеріали для для захисту від ЕМВ, які наявні на ринку України, мають високу здатність до екранування електромагнітного випромінювання у діапазоні

частот від 9 кГц до 3 ГГц. Найвищі екрануючу здатність ( $SE=50 \div 60 \text{ дБ}$ ) має основов'язаний трикотаж переплетення трико-сукно.

В результаті проведених досліджень встановлено, що механізм поглинання грає головну роль у екрануванні полотнами переплетень гладь та трико-сукно, в той час як ефективність екранування полотна утокового переплетення забезпечується механізмами поглинання та відбиття практично в рівних частках.

Полотно кулірного переплетення гладь є найбільш щільним за рахунок використання високопружних ниток спандекс та має найбільшу товщину. Найменш щільну структуру та найменшу товщину має основов'язане полотно, ґрунтовим переплетенням якого є ланцюжок, а поперечні уткові нитки прокладені у кожному четвертому ряді, що дозволяє створити наскрізні отвори площею 1 мм<sup>2</sup>.

Досліджені трикотажні матеріали характеризуються високим значенням паропроникних властивостей, а також широким діапазоном значень теплофізичних властивостей, що дозволяє використовувати їх при проєктуванні захисного одягу як спеціального так і повсякденного призначення.

Отримані значення досліджуваних параметрів можуть бути використані у якості базових при розробці та проєктуванні новітніх текстильних матеріалів для захисту від електромагнітного випромінювання.



## Література

1. Maity S., Singha K., Singha M. Textiles in Electromagnetic Radiation Protection // , International Journal of Safety and Security Engineering. – 2013, Vol. 2 (2). – P. 11-19.
2. Malik P., Sharma A., Gianender, Sharma J.P. Textiles for protection against Electromagnetic Radiations: A review // International journal of engineering research and applications. – 2018, Vol. 8, Is. 6 (III). – P. 32-37.
3. Tunakova V., Tunak M., Tesinova P., Seidlova M., Prochazka J. Fashion clothing with electromagnetic radiation protection: aesthetic properties and performance. // Textile Research Journal. – 2020, Vol. 90, Is. 21-22. – P. 2504-2521.
4. Арабулі С. І., Кизимчук О. П., Арабулі А. Т., Власенко В.І., Байзюк В., Очеретна Л.В., Тунак М. Інтер'єрний текстиль з екрануючими властивостями до дії електромагнітного випромінювання // Art and design. – 2020, № 3. – С. 145-155.
5. Арабулі С. І., Кизимчук О. П., Власенко В.І. Текстиль для захисту від електромагнітного випромінювання // Вісник КНУТД. – 2019, № 3 (134). – С. 48-61.
6. Bedeloglu A. Electrical, electromagnetic shielding, and some physical properties of hybrid yarn-based knitted fabrics // The Journal of the Textile Institute. – 2013, Vol. 104 (11). – P. 1247–1257.
7. Palanisamy S., Tunakova V., Militky J. Fiber-based structures for electromagnetic shielding – comparison of different materials and textile structures // Textile Research Journal. – 2018, Vol. 88, Is. 17. – P. 1992-2012.
8. Yu Z-C., He H-L., Lu Y-H., Zhang J-F., Lou C-W., Chen A-P., Lin J-H. Functional Properties and Electromagnetic Shielding Behaviour of Elastic Warp-knitted Fabrics // FIBRES & TEXTILES in Eastern Europe. – 2015, Vol. 23, No 5 (113). – P. 78-83.
9. Ciesielska-Wróbel I, Grabowska K. Estimation of the EMR Shielding Effectiveness of Knit Structures // FIBRES & TEXTILES in Eastern Europe. – 2012. Vol. 20, No 2 (91). – P. 53-60.
10. Lin J.H., Huang Y.T., Li T.T., Lin C.M., Lou C.W. Manufacture technique and performance evaluation of electromagnetic-shielding/far-infrared elastic warp-knitted composite fabrics // The Journal of the Textile

## References

1. Maity S, Singha K and Singha M. Textiles in Electromagnetic Radiation Protection, J. Saf. Eng., 2013; 2 (2): 11-19. DOI: 10.5923/j.safety.20130202.01.
2. Malik P, Sharma A, Gianender, et al. Textiles for protection against Electromagnetic Radiations: A review, Int J Eng Res Appl., 2018; 8, 6 (III): 32-37. DOI: 10.9790/9622-0806033237.
3. Tunakova V, Tunak M, Tesinova P, et al. Fashion clothing with electromagnetic radiation protection: aesthetic properties and performance. Text Res J, 2020; 90, 21-22: 2504-2521. DOI: 10.1177/0040517520923047.
4. Arabuli S, Kyzymchuk O, Arabuli A, et al. Interior textile with shielding properties against electromagnetic radiation. Art and design. 2020; 3: 145-155. DOI: 10.30857/2617-0272.2020.3.12.
5. Arabuli S, Kyzymchuk O, Vlasenko V. Textiles for electromagnetic radiation shielding. Bulletin of the Kyiv National University of Technologies and Design. Technical Science Series. 2019; 3 (134): 48-61. DOI: 10.30857/1813-6796.2019.3.5.
6. Bedeloglu A. Electrical, electromagnetic shielding, and some physical properties of hybrid yarn-based knitted fabrics, J. Text. Inst. 2013; 104 (11): 1247–1257. DOI: 10.1080/00405000.2013.796627.
7. Palanisamy S, Tunakova V, Militky J. Fiber-based structures for electromagnetic shielding – comparison of different materials and textile structures, Text Res J. 2018; 88, 17: 1992-2012. DOI: 10.1177/0040517517715085.
8. Yu Z-C, He H-L, Lu Y-H, et al. Functional Properties and Electromagnetic Shielding Behaviour of Elastic Warp-knitted Fabrics. Fibres Text. East. Eur. 2015; 23, 5 (113): 78-83. DOI: 10.5604/12303666.1161761.
9. Ciesielska-Wróbel I, Grabowska K. Estimation of the EMR Shielding Effectiveness of Knit Structures. Fibres Text. East. Eur. 2012; 20, 2 (91): 53-60.
10. Lin JH, Huang YT, Li TT, et al. Manufacture technique and performance evaluation of electromagnetic-shielding/far-infrared elastic warp-knitted composite fabrics. J. Text. Inst. 2016; 107 (4): 493-503.

Institute. – 2016, Vol. 107 (4). – P. 493-503.

DOI: 10.1080/00405000.2015.1045253.

11. Tezel S., Kavusturan Y., Vandenbosch G.A., Volski V. Comparison of electromagnetic shielding effectiveness of conductive single jersey fabrics with coaxial transmission line and free space measurement techniques // Textile Research Journal. – 2013, Vol. 84 (5). – P. 461–476.

11. Tezel S, Kavusturan Y, Vandenbosch GA and Volski V. Comparison of electromagnetic shielding effectiveness of conductive single jersey fabrics with coaxial transmission line and free space measurement techniques. Text Res J. 2013; 84 (5): 461–476. DOI: 10.1177/0040517513503728.

12. Celen R., Ulcay Y. Investigating electromagnetic shielding effectiveness of knitted fabrics made by barium titanate/polyester bicomponent yarn // Journal of Engineered Fibers and Fabrics. – 2019, Vol. 14.

12. Celen R and Ulcay Y. Investigating electromagnetic shielding effectiveness of knitted fabrics made by barium titanate/polyester bicomponent yarn. J Eng Fibers Fabr. 2019; 14. DOI: 10.1177/1558925019837806.

13. Soyaslan D., Çömlekçi S., Göktepe Ö. Determination of electromagnetic shielding performance of plain knitting and 1X1 rib structures with coaxial test fixture relating to ASTM D4935 // The Journal of The Textile Institute. – 2010, Vol. 101, No 10. – P. 890-897.

13. Soyaslan D, Çömlekçi S and Göktepe Ö. Determination of electromagnetic shielding performance of plain knitting and 1X1 rib structures with coaxial test fixture relating to ASTM D4935. J. Text. Inst. 2010; 101, 10: 890-897. DOI: 10.1080/00405000902945360.

14. Perumalraj R., Dasaradan B.S. Electromagnetic shielding effectiveness of copper core yarn knitted fabrics // Indian Journal of Fibre and Textile Research. – 2009, Vol. 34 (2). – P. 149-154.

14. Perumalraj R and Dasaradan BS. Electromagnetic shielding effectiveness of copper core yarn knitted fabrics. Indian J Fibre Text Res. 2009; 34 (2): 149-154.

15. Çeken F, Kayacan O, Özkurt A, Uğurlu S.S. The electromagnetic shielding properties of some conductive knitted fabrics produced on single or double needle bed of a flat knitting machine // The Journal of the Textile Institute. – 2012, Vol. 103, Is. 9. – P. 968–979.

15. Çeken F, Kayacan O, Özkurt A and Uğurlu SS. The electromagnetic shielding properties of some conductive knitted fabrics produced on single or double needle bed of a flat knitting machine, J. Text. Inst. 2012; 103, 9: 968–979. DOI: 10.1080/00405000.2011.639514.

16. Tunakova V., Tunak M., Bajzik V., Ocheretna L., Arabuli S., Kyzymchuk O., Vlasenko V. Hybrid knitted fabric for electromagnetic radiation shielding // Journal of Engineered Fibers and Fabrics. – 2020, Vol. 15.

16. Tunakova V, Tunak M, Bajzik V, et al. Hybrid knitted fabric for electromagnetic radiation shielding. J Eng Fibers Fabr. 2020; 15. DOI: 10.1177/1558925020925397.



pecherski kashtany

## XXII Міжнародний конкурс молодих дизайнерів «Печерські каштани»

Деталі на сайті

<https://knutd.edu.ua>