

Стаття надійшла до редакції /
Received 19.08.2026Прийнята до друку /
Accepted 14.09.2026Опубліковано /
Published 30.09.2026УДК 677.027.625.14
<https://doi.org/10.30857/2706-5898.2026.3.2>**АРАБУЛІ СВІТЛАНА**

Київський національний університет технологій та дизайну, Україна

e-mail: arabuli.si@kmutd.edu.ua<https://orcid.org/0000-0003-1049-8255>**АРАБУЛІ АРСЕНІЙ**

Київський національний університет технологій та дизайну, Україна

e-mail: arabuli.a@kmutd.edu.ua<https://orcid.org/0000-0002-2583-4998>**СВИДЛО ОЛЕКСАНДР**

Київський національний університет технологій та дизайну, Україна

e-mail: svydlo.os@kmutd.edu.ua**ПОКРАЩЕННЯ ЗАХИСТУ ВІД ЕЛЕКТРОМАГНІТНОГО
ВИПРОМІНЮВАННЯ ЗМІШАНИХ ТКАНИН:
МОДИФІКАЦІЯ, ВЛАСТИВОСТІ ТА КОМФОРТНІСТЬ**

Мета. В останні роки помітно зросла дія ультрафіолетового випромінювання на біологічні об'єкти. Тривале, неконтрольоване перебування людини під впливом ультрафіолетових променів може мати низку негативних наслідків для її здоров'я. В свою чергу, текстильні матеріали можуть стати ефективним захистом шкіри людини від негативної дії шкідливого УФ випромінювання.

Методика. Застосовано метод модифікації металевими наночастинками, що передбачає хімічне відновлення іонів металів до їх металевої форми безпосередньо в структурі текстильного матеріалу та на його поверхні. Дослідження здійснювали використовуючи сульфат міді та глюкозу. Оптичні спектри поглинання досліджуваних зразків змішаних тканин вимірювали за допомогою спектрофотометра Edinburgh Instruments DS5 (Велика Британія) з визначенням коефіцієнта захисту від ультрафіолетового випромінювання (UPF). Оптичні властивості немодифікованих та модифікованих полотен оцінювали в кольоровому просторі Commission Internationale de l'Eclairage $L^*a^*b^*$ (CIELab) за допомогою колориметра PCE-CSM 25 (PCE Instruments, Німеччина). Комфортність текстильних матеріалів оцінювали на приладах «PERMETEST» та «ALAMBETA».

Результати. Метод модифікації текстильних матеріалів за допомогою наночастинок металів, який здійснюється шляхом просочення цих матеріалів у розчинах металевих солей з подальшим відновленням іонів металів у їх структурі та на поверхні, знайшов широке застосування для роботи з пористими матеріалами різноманітної хімічної природи. Проведені дослідження беззаперечно довели ефективність використання змішаних тканин, таких як комбінація бавовни та полієфіру, для створення текстильного екрану, що забезпечує захист від ультрафіолетового випромінювання. Отримані в результаті модифікації матеріали мають UPF 40. Це відповідає вимогам стандарту AS/NZS 4399:1996 і свідчить про надання «відмінного захисту від ультрафіолетового випромінювання», що можна порівняти з найкращими світовими досягненнями у сфері текстилю, призначеного для захисту від ультрафіолетових променів. Модифіковані тканини не лише демонструють високу екрануючу здатність проти УФ випромінювання, але також вирізняються високими паропроникними та теплофізичними властивостями, що значно підвищує комфорт їх використання у виробках, призначених для літнього сезону.

Наукова новизна. Доведено можливість та ефективність використання методу модифікації текстильних матеріалів наночастинками міді в розчині сульфату міді з подальшим відновленням іонів міді глюкозою у структурі та на поверхні змішаних текстильного матеріалу. Метод є ефективним для пористих матеріалів будь-якої хімічної природи (натуральні та синтетичні волокна).

Практична значимість. Модифіковані тканини одночасно забезпечують необхідний рівень захисту від шкідливої дії УФ випромінювання та комфортність виробів.

Ключові слова: синтетичні волокна; бавовна; змішана тканина; текстиль; захист; електромагнітне випромінювання; УФ випромінювання; модифікація; оксиди металів; наночастинки міді; паропроникність; теплофізичні властивості; комфортність.

IMPROVEMENT OF EMR PROTECTION OF THE BLENDED FABRICS: MODIFICATION, PROPERTIES AND COMFORT

ARABULI SVITLANA, ARABULI ARSENI, SVYDLO OLEKSANDR

Kyiv National University of Technologies and Design, Ukraine

Purpose. In recent years, the effect of ultraviolet radiation on biological objects has noticeably increased. Prolonged, uncontrolled exposure of a person to ultraviolet rays can have a number of negative consequences for his health. In turn, textile materials can become an effective protection of human skin from the negative effects of harmful UV radiation.

Methodology. The method of modification with metal nanoparticles was applied, which involves the chemical reduction of metal ions to their metallic form directly in the structure of the textile material and on its surface. The research was carried out using copper sulfate and glucose. The optical absorption spectra of the studied samples of mixed fabrics were measured using an Edinburgh Instruments DS5 spectrophotometer (Great Britain) with determination of the ultraviolet protection factor (UPF). The optical properties of unmodified and modified fabrics were evaluated in the Commission Internationale de l'Eclairage $L^*a^*b^*$ (CIELab) color space using a PCE-CSM 25 colorimeter (PCE Instruments, Germany). The comfort of textile materials was evaluated using the PERMETEST and ALAMBETA devices.

Results. The method of modifying textile materials with metal nanoparticles, which is carried out by impregnating these materials in solutions of metal salts with subsequent reduction of metal ions in their structure and on the surface, has found wide application for working with porous materials of various chemical nature. The conducted studies have proven beyond doubt the effectiveness of using mixed fabrics, such as a combination of cotton and polyester, to create a textile screen that provides protection against ultraviolet radiation. The materials obtained as a result of the modification have UPF 40. This meets the requirements of the AS/NZS 4399:1996 standard and indicates the provision of "excellent protection against ultraviolet radiation", which is comparable to the best world achievements in the field of textiles designed to protect against ultraviolet rays. Modified fabrics not only demonstrate high shielding ability against UV radiation, but also have high vapor permeability and thermophysical properties, which significantly increases the comfort of their use in products intended for the summer season.

Scientific novelty. The possibility and effectiveness of using the method of modifying textile materials with copper nanoparticles in a copper sulfate solution with subsequent reduction of copper ions with glucose in the structure and on the surface of the mixed textile material has been proven. The method is effective for porous materials of any chemical nature (natural and synthetic fibers).

Practical value. Modified fabrics simultaneously provide the necessary level of protection against the harmful effects of UV radiation and the comfort of products.

Keywords: synthetic fibers; cotton; blended fabric; textiles; protection; electromagnetic radiation; UV radiation; modification; metal oxides; copper nanoparticles; vapor permeability; thermophysical properties; comfort.

Вступ. Ультрафіолетове (УФ) випромінювання є різновидом електромагнітного випромінювання, що переносить енергію електромагнітних коливань від джерела випромінювання до навколишнього середовища [1]. УФ випромінювання включає наступні області, що мають різну природу і різну біологічну дію:

- УФ–А від 315 до 400 нм;
- УФ–В від 280 до 315 нм;
- УФ–С від 100 до 280 нм.

Вплив випромінювання на живі організми залежить від його довжини хвилі, що є важливим фактором у визначенні біологічного ефекту. Енергія випромінювання має обернено пропорційну залежність від

довжини хвилі. Це означає, що зі зменшенням довжини хвилі його енергія зростає, що впливає на потенціал випромінювання щодо шкідливості. Доведено, що УФ-В проявляє надзвичайну руйнівну силу, викликає сонячні опіки і при тривалому і систематичному опроміненню може призвести до захворювань шкіри людини [2, 3]. Одним з ефективних засобів захисту шкіри є носіння одягу, виготовленого з екрануючого текстильного матеріалу (ТМ) щодо дії УФ випромінювання.

УФ випромінювання, що проходить через текстиль, складається з хвиль, які безпосередньо проходять крізь пори тканини, і розсіяних хвиль, які взаємодіють із структурними елементами тканини [4]. Показник, який характеризує здатність текстилю блокувати УФ випромінювання у діапазоні УФ-А і УФ-В є, так званий, коефіцієнт захисту від УФ випромінювання (UPF) [5]:

$$UPF = \frac{\sum_{\lambda=280}^{400} E(\lambda) \cdot \varepsilon(\lambda) \cdot \Delta\lambda}{\sum_{\lambda=280}^{400} E(\lambda) \cdot T(\lambda) \cdot \varepsilon(\lambda) \cdot \Delta\lambda} \quad (1)$$

де $E(\lambda)$ – сонячна радіація, $Вт \cdot м^{-2} \cdot нм^{-1}$;

$\varepsilon(\lambda)$ – відносна еритемна спектральна ефективність;

$T(\lambda)$ – спектральна проникність при довжині хвилі λ ;

$\Delta\lambda$ – інтервал довжини хвиль, $нм$.

Вище значення коефіцієнту UPF вказують на більш ефективне блокування УФ випромінювання [6]. Згідно стандарту [7], тільки текстиль зі значенням UPF від 40 до 50+ може бути класифікований і віднесений до текстилю з відмінним захистом від УФ випромінювання. Виходячи з цього критерію, всі ТМ з рейтингом UPF 10, класифікуються як непридатні для верхнього одягу для носіння на відкритому повітрі у сонячну погоду.

За даними попередніх досліджень [8, 9] при створенні ТМ з відмінним захистом від УФ випромінювання слід враховувати наступні фактори:

- хімічний склад волокон;
- щільність переплетення;
- колір;
- розтягнення;

- вологість;
- оздоблення.

Склад тканини є важливим фактором у визначенні ступеня захисту від ультрафіолету, оскільки волокна можуть мати різні властивості щодо поглинання УФ випромінювання. Авторами в роботі [10, 11] було виявлено, що волокна з великою спряженою ароматичною полімерною системою є більш ефективними в блокуванні УФ-випромінювання. Гідрофобні волокна (поліефір) мають високий захисний фактор від пропускання УФ-променів [12]. Бавовна пропускає менше, ніж інші натуральні волокна, тоді як поліефірні волокна здатні до більш високого поглинання в УФ-В діапазоні [13]. Поліефір містить бензольні кільця в полімерних ланцюгах, і цей факт може пояснити підвищену здатність до поглинання УФ випромінювання [14, 15]. Модифікація поліефірної тканини наночастинками цеоліту призводить до покращення захисту від УФ. Наночастинки натурального цеоліту, нанесені на ТМ, розсіюють хвилі світла електромагнітного спектру, що призводить до посиленого захисту від УФ [16].

Однак, слід відмітити, що одяг з синтетичних (поліефірних) волокон не вважається комфортним для носіння, особливо в літній період [17]. Одним з ефективних шляхів підвищення комфортності поліефірних волокон, є створення змішаних тканин. Змішування поліефірних та бавовняних волокон в тканині забезпечить значно кращий захист від ультрафіолету, у порівнянні з бавовняними, та одночасно підвищить комфортність одягу, який носять у теплу погоду [18].

Постановка завдання. Метою роботи є дослідження впливу модифікації змішаних тканин на їх здатність екранувати електромагнітне випромінювання ультрафіолетового спектру з одночасним забезпеченням високого рівня комфортності.

Матеріали та методи дослідження.

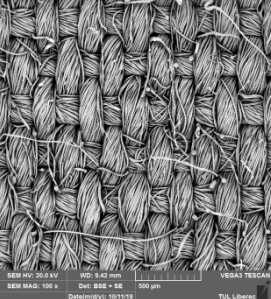
Як вихідні немодифіковані ТМ були обрані 2 вибілені змішані напівсинтетичні тканини з рівним вмістом бавовняних та поліефірних (ПЕ) волокон (50/50). Тканини відрізняються розташуванням ПЕ волокон в структурі, а саме: у зразка №1 ПЕ волокна змішані з бавовняними і розташовані в обох

системах (основа і уток); у зразка №2 волокна розділені по системах ниток (ПЕ – в системі основних ниток; бавовняні – в

системі утокових ниток). Структурні характеристики вихідних немодифікованих ТМ наведені в табл.1.

Таблиця 1

Структурні характеристики вихідних немодифікованих ТМ

Зразок ТМ	Структура ТМ (SEM зі збільшенням $\times 100$)	Вміст складників сировинного складу, [%]	Поверхнева густина, [г/м ²]	Товщина, [мм]
№1		Бавовна – 50 ПЕ – 50	105	0,32
№2		Бавовна – 50 ПЕ – 50	116	0,33

Мікроскопічні дослідження немодифікованих та модифікованих ТМ проводились за допомогою електронного скануючого мікроскопу *Tescan Vega*.

Характеристики оптичних властивостей немодифікованих та модифікованих ТМ оцінювались в кольоровому просторі Commission Internationale de l'Eclairage $L^*a^*b^*$ (CIELab) [19] за допомогою колориметра PCE-CSM 25 (PCE Instruments, Німеччина) при випромінюванні D-65/10. Система CIE Lab – це кольоровий простір хроматичних значень, що дозволяє вимірювати значення та насиченість за трьома координатами (рис. 1):

– L^* – насиченість білого кольору, що вимірюється від чорного ($L^* = 0$) до білого ($L^* = 100$);

– a^* – колір у координатах червоного ($a^* > 0$) та зеленого ($a^* < 0$);

– b^* – колір у координатах жовтого ($b^* > 0$) та синього ($b^* < 0$).

Диференційований аналіз загального кольорного розходження немодифікованих та модифікованих ТМ, у системі CIELab проводився за колориметричними показниками:

– хроматичність (насиченість) кольору:

$$C = [(a^*)^2 + (b^*)^2]^{1/2};$$

– відтінок кольору (колірний тон): $H = \arctg(a^*/b^*)$;

– світлота: $L^* = 25 \left[100(y/y_0)^{1/3} \right] - 16$;

– кольорова різниця (різниця кольорового тону): $\Delta E = [(\Delta L^*)^2 + (\Delta a^*)^2 + (\Delta b^*)^2]^{1/2}$.

Коефіцієнт захисту від ультрафіолету (UPF) немодифікованих та модифікованих ТМ оцінювався на спектрофотометрі Edinburgh instruments DS5 (Edinburgh Instruments, Велика Британія) відповідно до стандарту [7].

Комфортність немодифікованих та модифікованих ТМ оцінювались на приладі «PERMETEST» [20] та «ALAMBETA» [21] за показниками:

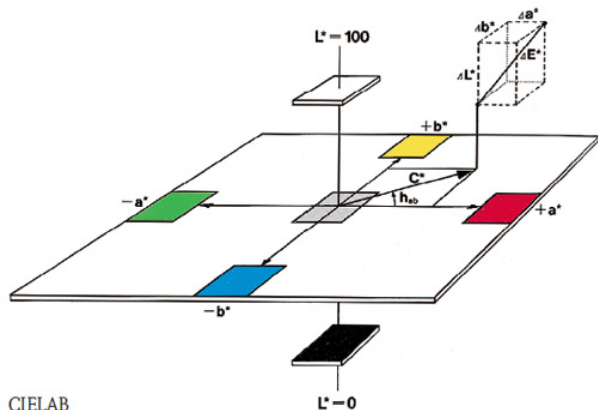
– відносна паропроникність – P , %;

– опір потоку водяної пари – R_{et} , м²·Па/Вт;

– тепловий опір – R , Вт⁻¹·К·м²;

– коефіцієнт теплопровідності – λ , Вт·м⁻¹·К⁻¹;

- коефіцієнт температуропровідності – a , $\text{м}^2 \cdot \text{с}^{-1}$;
- коефіцієнт теплового поглинання – b , $\text{Вт} \cdot \text{с}^{1/2} / \text{м}^2 \cdot \text{К}$.

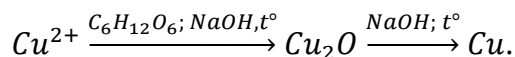


Джерело: [19].

Рис. 1. Тривимірна система CIELab

Результати досліджень.

Модифікація наночастинками міді. Для модифікації ТМ використано метод модифікації наночастинками металів, який полягає у хімічному відновленні іонів металів до металів безпосередньо у структурі ТМ та на його поверхні, описаний в роботі [22]. Дослідження проведені з сульфатом міді. Послідовність стадій процесу відновлення сульфату міді глюкозою можна представити у вигляді схеми:



Зовнішній вигляд модифікованих ТМ зображений на рис. 2.

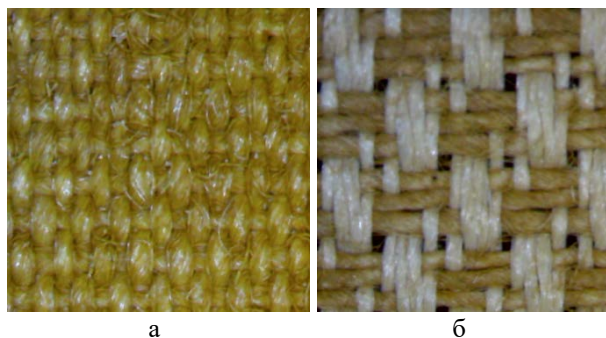


Рис. 2. Зовнішній вигляд модифікованих ТМ:
а – зразок №1+Cu; б – зразок №2+Cu

Морфологічні зміни в результаті модифікації змішаних тканин досліджували за допомогою скануючої електронної

мікроскопії (СЕМ) *Tescan Vega*. На рис. 3 та рис. 4 показано морфологічні зміни поверхні змішаних тканин після обробки сульфатом міді з відновленням глюкозою. При великому збільшенні на поверхні волокна зразка №1 (рис. 3) спостерігається достатньо рівномірно розподілене покриття, на волокнах обох систем (основи та утку) можна помітити наявність частинок міді. Колір тканини є рівномірним (рис. 2, а). У випадку зі зразком №2, в якому волокна розділені по системах ниток (ПЕ – в системі основних ниток; бавовняні – в системі уткових ниток) спостерігається нерівномірність розташування часток міді. Кількість часток міді на основних ПЕ нитках є меншою, ніж на уткових бавовняних нитках, що підтверджується електронною мікроскопією та кольором тканини (рис. 2, б).

Оптичні властивості. Мірою якості модифікації ТМ та їх естетичності є кількісна оцінка кольору дослідних разків текстилю з використанням системи CIELab. В системі CIELab любий колір визначається світлотою (L^*) та хроматичними компонентами: параметром a^* , який змінюється в діапазоні від зеленого до червоного, і параметром b^* , який змінюється в діапазоні від синього до жовтого. Кольорові характеристики вихідних немодифікованих та модифікованих ТМ наведені в табл. 2.

З експериментальних даних встановлено, що для обох зразків ТМ №1 та №2 колір за величинами компонент a^* і b^* характеризується як червоно-жовтий. В свою чергу, слід відмітити, що відношення a^*/b^* , яке характеризує основний колірний тон (Н) є суттєво різним для вихідних полотен. Для зразка ТМ №1 $a^*=0,45$ і $b^*=0,24$, їх співвідношення характеризує колір як червоний з жовтим відтінком. Для зразка ТМ №2 $a^*=0,30$ і $b^*=1,53$ і відношення a^*/b^* вказує на переважно жовтий колір з червоним відтінком, внесок жовтого кольору у 5,1 рази більший. Параметр L^* для обох зразків ТМ №1 та №2 знаходиться в межах від 93,27 до 94,21, що за значенням наближається до 100, і вказує на насичений білий колір вихідних полотен.

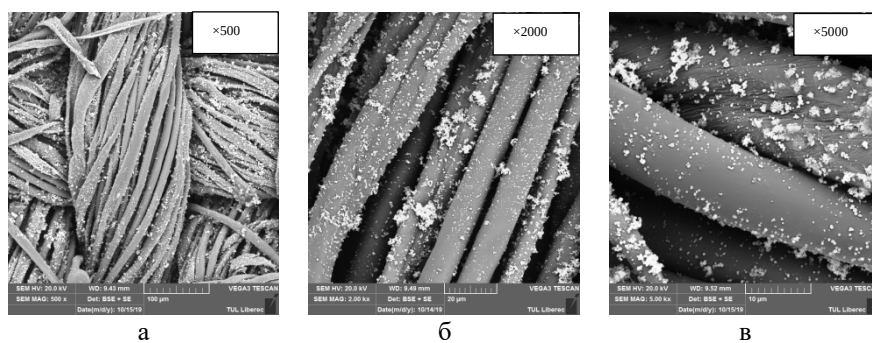


Рис. 3. Структура модифікованого ТМ – зразок №1+Cu:
а – SEM $\times 500$; б – SEM $\times 2000$; в – SEM $\times 5000$

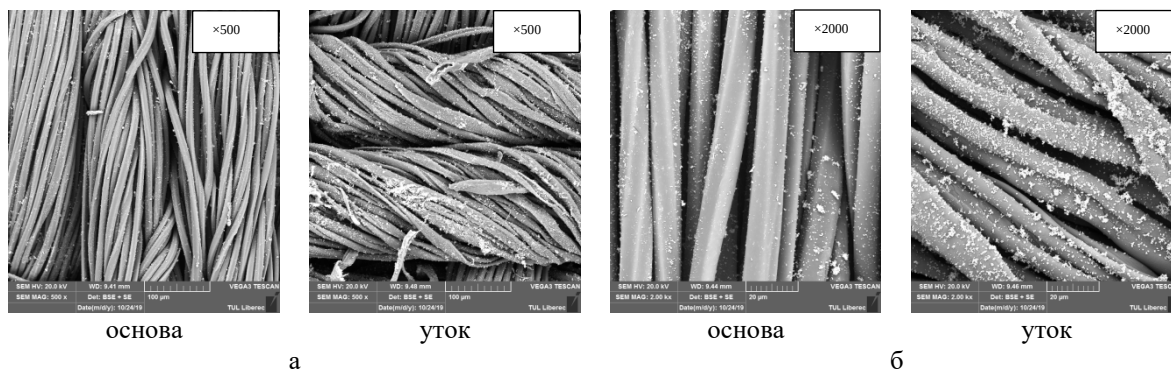


Рис. 4. Структура модифікованого ТМ – зразок №2+Cu:
а – SEM $\times 500$; б – SEM $\times 2000$

Таблиця 2

Кольорові характеристики вихідних немодифікованих та модифікованих ТМ
(Система CIELab)

Параметр	Вихідний немодифікований ТМ №1	Модифікований ТМ №1+Cu	Вихідний немодифікований ТМ №2	Модифікований ТМ №2+Cu
Світлота, L^*	93,27	53,06 $\Delta=-40,21$	94,21	67,81 $\Delta=-26,39$
Зелено-червона компонента кольору, a^*	0,45	18,53 $\Delta=18,07$	0,30	13,15 $\Delta=12,85$
Синьо-жовта компонента кольору, b^*	0,24	40,35 $\Delta=40,10$	1,53	34,80 $\Delta=33,27$
Насичиність, C^*	0,51	44,40 $\Delta=43,88$	1,56	37,20 $\Delta=35,65$
Колірний тон, H^*	28,13	65,33 $\Delta=3,05$	78,90	69,30 $\Delta=-1,27$
Кольорова різниця, ΔE		59,60		44,37

В свою чергу, модифікація вихідних відбілених полотен призвела до значної зміни в кольорах одержаних полотен. Так, зміна параметру L^* , розрахована за системою CIELab, наведена на рис.5. Як видно з рисунку, модифікація полотен призводить до значного потемніння зразків ТМ. Слід відмітити, що потемніння зразка №1 є більш суттєвим, у порівнянні зі зразком №2, що корелює з даними аналізу електронної мікроскопії структури модифікованих полотен №1+Cu і №2+Cu.

В системі CIELab визначальним є значення двох кольорових компонент: зелено-червоної та синьо-жовтої, зміни яких для зразків ТМ після модифікації наведені в табл. 2. Як видно з таблиці 2, для обох пар зразків спостерігається значне збільшення кольорових компонент, яке обумовлене утворенням наночастинок міді у структурі та на поверхні ТМ (рис. 3 та рис. 4).

Модифікація зразка ТМ #1 призводить до збільшення зелено-червоної компоненти (a^*) у бік збільшення частки червоної

складової кольору, при цьому значення синьо-жовтої компоненти (b^*) – у бік значного збільшення частки жовтої складової кольору. Для зразка ТМ №1+Cu $a^*=18,53$ і $b^*=40,35$, їх співвідношення характеризує колір як жовтий з червоним відтінком, саме тому, для цього зразка спостерігається зменшення L^* . Дослідження зміни насиченості (хроматичності) S^* зразка показали, що відбувається збільшення хроматичності з 0,51 (не модифікований ТМ) до 44,40, що вказує у поєднанні зі зменшенням L^* та збільшенням значень кольорових компонент (a^* і b^*) на пожовтіння зразка, яке спостерігається візуально (рис. 2, а).

Модифікація зразка ТМ №2 призводить до збільшення зелено-червоної компоненти (a^*) у бік збільшення частки червоної складової кольору, при цьому значення синьо-жовтої компоненти (b^*) – у бік значного збільшення частки жовтої складової кольору. Для зразка ТМ №2+Cu $a^*=13,15$ і $b^*=34,80$, їх співвідношення a^*/b^* вказує на переважно жовтий колір з червоним відтінком, внесок жовтого кольору у 2,5 рази більший, при цьому $\Delta H^*=-1,27$ вказує на зміщення кольору у бік зеленого. Дослідження зміни насиченості (хроматичності) S^* зразка показали, що відбувається збільшення хроматичності з 1,56 (не модифікований ТМ) до 37,20, що підтверджується візуальними спостереженнями (рис.2, б).

Найбільш повну інформацію щодо зміни кольору в системі CIELab дає параметр «кольорова різниця» (ΔE), який враховує зміну яскравості та двох кольорових компонент зразка. При цьому, вважається, що:

- при $\Delta E=0,0\div 1,0$ різниця «невидима»;
- при $\Delta E=1,0\div 2,0$ різниця «легко видима»;
- при $\Delta E=2,0\div 4,0$ різниця «видима»;
- при $\Delta E=4,0\div 10,0$ різниця «добре видима»;
- при $\Delta E=> 10,0$ різниця «велика».

Як видно з даних табл. 2, зразки модифікованих ТМ №1+Cu і №2+Cu мають кольори, що візуально відрізняються від кольорів вихідних немодифікованих ТМ №7 та №8, відповідно. При цьому, насиченість

кольору зразка №1+Cu є вищою, що вказує на більшу кількість наночастинок міді, які закріпилися у структурі ТМ та на його поверхні, що підтверджується електронною мікроскопією (рис. 3 та рис. 4).

Екрануючі властивості. Спектральні характеристики пропускання УФ випромінювання вихідних немодифікованих та модифікованих ТМ наведені на рис. 6.

Значення UPF досліджуваних текстильних полотен, розраховані за рівнянням 1, наведені в таблиці 3.

Немодифікована змішана тканина полотняного переплетення №1 забезпечує захист від УФ випромінювання на рівні «дуже хороший» (UPF 30). Зразок №2 за показником UPF 20 відноситься до ТМ з «хорошим захистом». Таким чином, немодифіковані ТМ вже можуть бути використані у захисному одязі для екранування УФ випромінювання.

За результатами модифікації вихідних полотен №1 та №2 наночастинами міді були одержані ТМ з UPF 40 та UPF 30, відповідно, в залежності від виду текстильної підложки (табл.3). Одержані результати дозволяють розширити сферу використання методу модифікації наночастинами металів для одержання текстильних екранів з синтетичних волокон, наприкладі, ПЕ волокон. Метод наномодифікації дозволяє одержати текстильні матеріали з UPF 40, що згідно стандарту [7] вказує на забезпечення «відмінного захисту від ультрафіолетового випромінювання» та відповідає найкращим світовим розробкам в області текстилю для захисту від УФ-випромінювання.

Теплофізичні властивості. Результати дослідження теплофізичних властивостей вихідних немодифікованих та модифікованих ТМ наведені в табл. 4. Здатність ТМ передавати та поглинати тепло визначалася за класичними показниками, а саме, тепловий опір R , теплопровідність λ (інтенсивність передачі тепла через матеріал) і температуропровідність a (швидкість вирівнювання температури в різних частинах матеріалу).

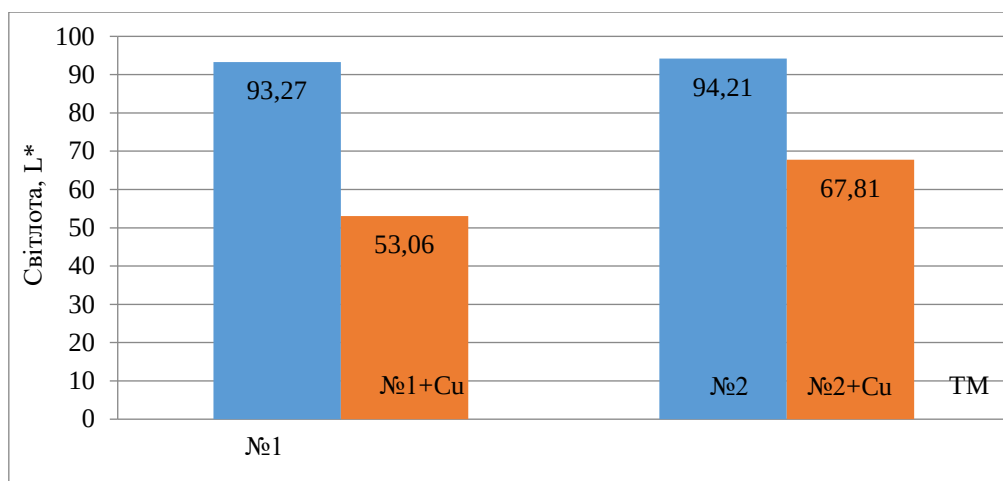


Рис. 5. Світлота зразків вихідних немодифікованих та модифікованих ТМ (система CIELab)

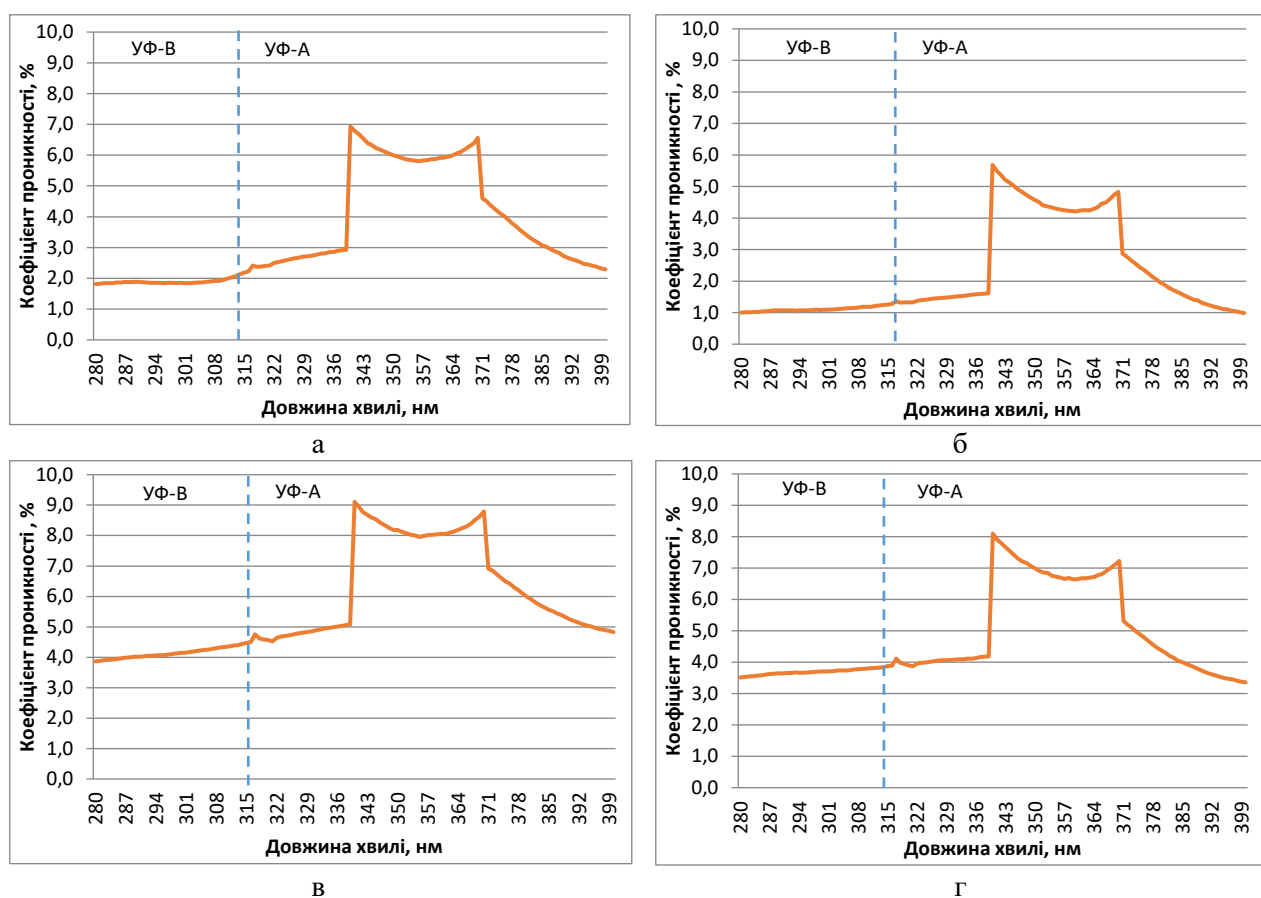


Рис. 6. Спектральні характеристики вихідних немодифікованих та модифікованих ТМ: а) зразок ТМ №1; б) зразок ТМ №1+Cu; в) зразок ТМ №2; г) зразок ТМ №2+Cu

Таблиця 3

Коефіцієнт захисту від ультрафіолету (UPF) досліджуваних ТМ

Зразок ТМ	Коефіцієнт пропускання (Т,%) в області		Рівень UPF	Характеристика текстильного полотна відповідно до стандарту AS/NZ4399:1996
	УФА	УФВ		
№1	4,11	1,91	30	«дуже хороший захист»
№1+Cu	2,70	1,10	40	«відмінний захист»
№2	6,39	4,13	20	«хороший захист»
№2+Cu	5,16	3,69	30	«дуже хороший захист»

Таблиця 4

Теплофізичні показники вихідних немодифікованих та модифікованих ТМ

Зразок ТМ	Товщина, h , [мм]	Тепловий опір, $R \cdot 10^{-3}$, [Вт $^{-1}$ ·К·м 2]	Коефіцієнти		
			тепло- провідності $\lambda \cdot 10^{-3}$, [Вт·м $^{-1}$ ·К $^{-1}$]	температуро- провідності $\alpha \cdot 10^{-6}$, [м 2 ·с $^{-1}$]	теплого поглинання b , [Вт·с $^{1/2}$ /м 2 ·К]
№1	0,32	5,9±0,3	54,0±0,8	0,096±0,010	175±5
№1+Cu	0,35	6,5±0,2	52,4±0,9	0,087±0,011	178±5
№2	0,33	6,5±0,4	51,1±0,9	0,110±0,012	155±4
№2+Cu	0,35	6,8±0,3	50,4±0,7	0,098±0,013	162±6

Вихідні немодифіковані зразки ТМ №1 та №2 мають близькі значення теплофізичних властивостей внаслідок схожості структурних параметрів та волокнистого складу. Модифікація полотен, внаслідок якої на поверхні та в структурі полотен розташувалися частинки міді, призвела до незначних змін в теплофізичних властивостях модифікованих полотен (табл. 5). Зміни викликані різницею у значеннях теплофізичних властивостей сировини, а саме, бавовни, поліефіру та міді. Так, згідно довідкових даних [23]:

	Коефіцієнт теплопро- відності λ , [Вт·м $^{-1}$ ·К $^{-1}$]	Коефіцієнт температуро- провідності, α , [м 2 ·с $^{-1}$]
Сировина		
Бавовна	0,05 – 0,07	0,05 – 0,15·10 $^{-6}$
Поліефір	0,15 – 0,22	0,08 – 0,15·10 $^{-6}$
Мідь	401	1,16·10 $^{-4}$

Хоча, відмінності в теплофізичних властивостях міді у порівнянні з бавовною та поліефіром є значними, але на фоні утвореного тонкого шару часток міді на поверхні та в об'ємі ТМ (рис.3 та рис.4) це не викликало статистично значимих змін. Класичні показники теплофізичних властивостей відносяться до непрямих характеристик комфортності ТМ. Сучасні тенденції зосереджують увагу на покращенні комфортності текстильних виробів, тому важливо доповнити відомі теплофізичні характеристики показником, що відображає теплові відчуття людини при контакті з матеріалом. За даними чеського вченого Л. Геса, експерта з комфорту одягу, ці відчуття можна оцінити через коефіцієнт теплового поглинання b . Дослідження підтверджують, що збільшення значення

цього коефіцієнта посилює відчуття прохолоди при дотику до текстильних поверхонь [21]. Аналіз даних табл. 4 вказав на зміну коефіцієнта теплового поглинання в бік збільшення, але це збільшення є в межах похибки експерименту.

Паропроникні властивості. Іншою, не менш важливою складовою комфортності ТМ літнього асортименту є здатність полотен відводити вологу з підодягового простору у навколишнє середовище, тобто їх паропроникність. Паропроникні властивості **вихідних немодифікованих та модифікованих ТМ визначалися за методом «шкірного симулятора»** (у англійській літературі «skin simulator») на приладі PERMETEST, та наведені в табл. 5.

Таблиця 5

Паропроникні властивості вихідних немодифікованих та модифікованих ТМ

Зразок ТМ	Опір потоку водяної пари, R_{et} , [м 2 ·Па/Вт]	Відносна паропроникність, P [%]
№1	1,4±0,09	76,5±2,0
№1+Cu	1,5±0,09	74,5±1,0
№2	1,7±0,04	73,2±1,1
№2+Cu	1,8±0,03	72,0±1,2

Для характеристики паропроникних властивостей ТМ були використані наступні показники: відносна паропроникність, P , % та опір потоку водяної пари, R_{et} , м 2 ·Па/Вт.

Результати дослідження паропроникних властивостей модифікованих полотен показали, що за рахунок «наповнення» поверхні та об'єму ТМ частками міді, збільшується товщина ТМ (табл. 3) та зменшується їх наскрізна пористість, що

призводить до зменшення паропроникності модифікованих полотен. Але це зменшення є статистично незначимими.

З метою оцінки комфортності ТМ Hohenstein Institute розроблена рейтингова система комфортності – Hohenstein Institute's comfort rating system, яка дозволяє за значеннями показника опору потоку водяної пари класифікувати ТМ за рівнем комфортності (табл. 6).

Таблиця 6

**Рейтингова система комфортності,
Hohenstein Institute**

Значення опору потоку водяної пари, R_{et} , [м ² ·Па/Вт]	Характеристика
0 – 6	Дуже добре або надзвичайно добре пропускає водяну пару. Комфорт при високому рівні активності
6 – 13	Добре або дуже добре пропускає водяну пару. Комфорт при помірному рівні активності
13 – 20	Задовільно пропускає водяну пару. Незручно при високому рівні активності
20 – 30	Незадовільно або ледь пропускає водяну пару. Помірний комфорт при низькому рівні активності
30+	Незадовільно або не пропускає водяну пару. Незручність та короткий час експлуатації.

З таблиці 6 видно, що всі тканини (немодифіковані та модифіковані) оцінені в діапазоні від 0 до 6 і відповідають найвищому рівню комфортності «Дуже добре або надзвичайно добре пропускає водяну пару. Комфорт при високому рівні

активності». Результати показують, що модифіковані тканини будуть зручними для використання, забезпечуючи при цьому необхідний рівень захисту від шкідливої дії УФ випромінювання.

Висновки. За результатами дослідження можна зробити низку висновків, а саме:

1. Спосіб модифікації ТМ наночастинками металів методом просочення в розчинах солей металів з подальшим відновленням іонів металів у структурі та на поверхні ТМ може бути використаний для пористих матеріалів будь-якої хімічної природи.

2. Доведена ефективність використання змішаних полотен (бавовна/поліестер) як основи текстильного екрану для захисту від УФ випромінювання. Одержані модифіковані ТМ з UPF 40, що згідно стандарту [7] вказує на забезпечення «відмінного захисту від ультрафіолетового випромінювання» та відповідає найкращим світовим розробкам в області текстилю для захисту від УФ-випромінювання.

3. Модифіковані полотна забезпечують не тільки високі екрануючі властивості щодо дії УФ випромінювання, а і володіють високими паропроникними та теплофізичними властивостями, що дозволяє забезпечити комфортність використання одержаних полотен у виробках літнього асортименту.

Подяка: Це дослідження було профінансовано Міністерством освіти і науки України в рамках науково-технічного проекту № PC/64-2024 від 30.09.2024, що реалізовувався за рахунок зовнішнього інструменту допомоги Європейського Союзу для виконання зобов'язань України у Рамковій програмі Європейського Союзу з наукових досліджень та інновацій «Горизонт 2020».

Література

1. Семенов А. О., Попов С. В., Сахно Т. В., Тарасенко Д. С. Ультрафіолет: сфери використання та джерела випромінювання: монографія. Полтава: ПП «Астроя», 2023. 190 с.
2. Ultraviolet radiation. World Health Organization. URL: https://www.who.int/health-topics/ultraviolet-radiation#tab=tab_1
3. Xiaoyou Tang, Tingyi Yang, Daojiang Yu, Hai Xiong, Shuyu Zhang. Current insights and future

References

1. Semenov, A. O., Popov, S. V., Sakhno, T. V., & Tarasenko, D. S. (2023). Ultraviolet: areas of use and sources of radiation. Monograph. Poltava: PP "Astraya". 190 p. [in Ukrainian].
2. World Health Organization (n.d.). Ultraviolet radiation. https://www.who.int/health-topics/ultraviolet-radiation#tab=tab_1.
3. Xiaoyou Tang, Tingyi Yang, Daojiang Yu, Hai Xiong, Shuyu Zhang (2024). Current insights and

perspectives of ultraviolet radiation (UV) exposure: Friends and foes to the skin and beyond the skin, *Environment International*. 2024. Vol. 185. Art.108535. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.envint.2024.108535>

4. Abidi N., Hequet E., Tarimala S., Dai L. L. Cotton fabric surface modification for improved UV radiation protection using sol-gel process. *Journal of Applied Polymer Science*. 2007. Vol. 104. P. 111–117.

5. Stanford D. G., Georgouras K. E., Pailthorpe M. T. Rating clothing for sun protection: current status in Australia. *J. Eur. Acad. Dermatology Venereol.* 1997. No. 8. P. 12–17. DOI: <https://doi.org/10.1111/J.1468-3083.1997.TB00450.X>.

6. Dubrovski P. D., Golob D. Effects of woven fabric construction and color on ultraviolet protection. *Textile Research Journal*. 2009. Vol. 79. P. 351–359.

7. AS/NZ 4399:1996 Sun Protective Clothing—Evaluation and Classification.

8. Gies P. H., Roy C. R., Toomey S., McLennan A. Protection against solar ultraviolet radiation. *Mutation Research*. 1998. Vol. 422. P. 15–22.

9. Sourav Banerjee, Wazed Ali S., & Naik S. N. Ultraviolet Protective Textiles -An Overview through the Lens of Testing Standards and Influencing Factors. *Annual Technical Volume of Textile Engineering Division Board*. 2024. Vol. 6. P. 265–277. DOI: <https://doi.org/10.13140/RG.2.2.15277.40163>.

10. Xin J. H., Daoud W. A., Kong Y. Y. A new approach to UV- blocking treatment for cotton fabrics. *Textile Research Journal*. 2004. Vol. 74. P. 97–100.

11. Feng X., Guo X., Chen K., Qian S., Sun J., Jian Y., Yan W., Chen D. Breathable, self healable, durable superhydrophobic and UV-blocking cotton fabrics. *Chem. Eng.* 2024. Vol. 492. P. 152–420. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.cej.2024.152420>.

12. Gorenssek M., Sluga F. Modifying the UV blocking effect of polyester fabric. *Textile Research Journal*. 2004. Vol. 74. P. 469–474.

13. Wilson C. A., Bevin N. K., Laing R. M., Niven B. E. Solar protection – Effect of selected fabric and use characteristics on UV transmission. *Textile Research Journal*. 2008. Vol. 78. P. 95–104.

14. Pan N., Sun G. Functional textiles for improved performance, protection and health. Birmingham: Elsevier, 2011.

15. Cot M., Mijas G., Prieto-Fuentes R., Riba-Moliner M., & Cayuela D. The influence of titanium dioxide (TiO₂) particle size and crystalline form on the microstructure and UV protection factor of polyester substrates. *Polymers (Basel)*. 2024. No. 16(4). Art. 475. DOI: <https://doi.org/10.3390/polym16040475>.

16. Ojstrsek A., Kleinschek K. S., Fakin D. Characterization of nano-sized TiO₂ suspensions for functional modification of polyester fabricl. *Surface & coating technology*. 2013. Vol. 226. P. 68–74.

17. Frydrych I., Dziworska G., Bilska J. Comparative analysis of the thermal insulation properties of fabrics made of natural and man-made cellulose fibres. *FIBRES TEXTILES East. Eur.* 2002. No. 10. P. 40–44.

future perspectives of ultraviolet radiation (UV) exposure: Friends and foes to the skin and beyond the skin, *Environment International*, 185, 108535. <https://doi.org/10.1016/j.envint.2024.108535>.

4. Abidi, N., Hequet, E., Tarimala, S., & Dai, L. L. (2007). Cotton fabric surface modification for improved UV radiation protection using sol-gel process. *Journal of Applied Polymer Science*, 104, 111–117.

5. Stanford, D. G., Georgouras, K. E., & Pailthorpe, M. T. (1997). Rating clothing for sun protection: current status in Australia. *J. Eur. Acad. Dermatology Venereol.*, 8, 12–17. <https://doi.org/10.1111/J.1468-3083.1997.TB00450.X>.

6. Dubrovski, P. D., & Golob, D. (2009). Effects of woven fabric construction and color on ultraviolet protection. *Textile Research Journal*, 79, 351–359.

7. AS/NZ 4399:1996 Sun Protective Clothing—Evaluation and Classification.

8. Gies, P. H., Roy, C. R., Toomey, S., & McLennan, A. (1998). Protection against solar ultraviolet radiation. *Mutation Research*, 422, 15–22.

9. Sourav Banerjee, Wazed Ali, S., & Naik, S. N. (2024). Ultraviolet Protective Textiles -An Overview through the Lens of Testing Standards and Influencing Factors. *Annual Technical Volume of Textile Engineering Division Board*, Volume 6. 265–277. <https://doi.org/10.13140/RG.2.2.15277.40163>.

10. Xin, J. H., Daoud, W. A., & Kong, Y. Y. (2004). A new approach to UV- blocking treatment for cotton fabrics. *Textile Research Journal*, 74, 97–100.

11. Feng, X., Guo, X., Chen, K., Qian, S., Sun, J., Jian, Y., Yan, W., & Chen, D. (2024). Breathable , self healable , durable superhydrophobic and UV-blocking cotton fabrics. *Chem. Eng.*, 492, 152–420. <https://doi.org/10.1016/j.cej.2024.152420>.

12. Gorenssek, M., & Sluga, F. (2004). Modifying the UV blocking effect of polyester fabric. *Textile Research Journal*, 74, 469–474.

13. Wilson, C. A., Bevin, N. K., Laing, R. M., & Niven, B. E. (2008). Solar protection – Effect of selected fabric and use characteristics on UV transmission. *Textile Research Journal*, 78, 95–104.

14. Pan, N., & Sun, G. (2011). Functional textiles for improved performance, protection and health. Birmingham: Elsevier.

15. Cot, M., Mijas, G., Prieto-Fuentes, R., Riba-Moliner, M., & Cayuela, D. (2024). The influence of titanium dioxide (TiO₂) particle size and crystalline form on the microstructure and UV protection factor of polyester substrates. *Polymers (Basel)*, 16(4), 475. <https://doi.org/10.3390/polym16040475>.

16. Ojstrsek, A., Kleinschek, K. S., & Fakin, D. (2013), Characterization of nano-sized TiO₂ suspensions for functional modification of polyester fabricl. *Surface & coating technology*, 226, 68–74.

17. Frydrych, I., Dziworska, G., & Bilska, J. (2002). Comparative analysis of the thermal insulation properties of fabrics made of natural and man-made cellulose fibres. *FIBRES TEXTILES East. Eur.*, 10, 40–44.

18. Martí M., Gisbert-Paya J., Bonet-Aracil M. Á., Jovančić P., Lis M. J., Coderch L. Increased Comfort of Polyester Fabrics. *Polymers*. 2021. No. 13(17). Art. 3010. DOI: <https://doi.org/10.3390/polym13173010>.
19. CIE 1976 L*a*b*. In: Luo, M.R. (eds) (2016). *Encyclopedia of Color Science and Technology*. Springer, New York, NY. https://doi.org/10.1007/978-1-4419-8071-7_100036.
20. Арабулі С. І. Порівняльний аналіз методів визначення паропроникності текстильних матеріалів. *Вісник Київського національного університету технологій та дизайну*. 2017. № 3 (110). С. 32–40.
21. Hes L., Dolezal I. Indirect measurement of moisture absorptivity of functional textile fabrics. *XXII World Congress of the International Measurement Confederation (IMEKO 2018) IOP Conf. Series: Journal of Physics: Conf. Series* 1065 (2018).
22. Vlasenko V., Smertenko P., Berezenko S., Arabuli S., Kucherenko V. Synthesis of metals nano-particles in the porous structure of textiles for UV-shielding. *Vlakna a Textil*. 2017. No. 24 (4). P. 30–33. URL: http://vat.ft.tul.cz/Archive/VaT_2017_4.pdf.
23. Обертюх Р. Р., Слабкий А. В. Теоретичні основи теплотехніки: електронний навчальний посібник комбінованого (локального та мережного) використання. 2-ге вид., перероб. та доп. Вінниця: ВНТУ, 2020. 180 с.
18. Martí, M., Gisbert-Paya, J., Bonet-Aracil, M. Á., Jovančić, P., Lis, M. J., & Coderch, L. (2021). Increased Comfort of Polyester Fabrics. *Polymers*, 13(17), 3010. <https://doi.org/10.3390/polym13173010>.
19. CIE 1976 L*a*b*. In: Luo, M.R. (eds.) (2016), *Encyclopedia of Color Science and Technology*. Springer, New York, NY. https://doi.org/10.1007/978-1-4419-8071-7_100036.
20. Arabuli, S. I. (2017). Porivnialnyi analiz metodiv vyznachennia paropronyknosti tekstylnykh materialiv [Comparative analysis of methods for determining the vapor permeability of textile materials]. *Bulletin of the KNUTD*, 3(110), 32–40 [in Ukrainian].
21. Hes, L., & Dolezal, I. (2018). Indirect measurement of moisture absorptivity of functional textile fabrics. *XXII World Congress of the International Measurement Confederation (IMEKO 2018) IOP Conf. Series: Journal of Physics: Conf. Series* 1065.
22. Vlasenko, V., Smertenko, P., Berezenko, S., Arabuli, S., & Kucherenko, V. (2017). Synthesis of metals nano-particles in the porous structure of textiles for UV-shielding. *Vlakna a Textil*, 2017, 24(4), 30–33. http://vat.ft.tul.cz/Archive/VaT_2017_4.pdf.
23. Obertiukh, R. R., & Slabkyi, A. V. (2020). Teoretychni osnovy teplotekhniky: elektronnyi navchalnyi posibnyk kombinovanoho (lokalnoho ta merezhnoho) vykorystannia [Theoretical Foundations of Thermal Engineering: an electronic study guide for combined (local and network) use]. 2nd edition, revised and expanded. Vinnytsia: VNTU. 180 p. [in Ukrainian].