

АРАБУЛІ С.І., ВЛАСЕНКО В.І., ТРУБА А.А., АРАБУЛІ А.Т.

Київський національний університет технологій та дизайну, Україна

ЗАХИСТ ВІД ШКІДЛИВОГО УЛЬТРАФІОЛЕТОВОГО ВИПРОМІНЮВАННЯ: ПРАКТИЧНЕ ЗАСТОСУВАННЯ КУБОВИХ БАРВНИКІВ ДЛЯ ФУНКЦІОНАЛІЗАЦІЇ БАВОВНЯНИХ ТКАНИН

Мета. Необхідність захисту людини від шкідливого ультрафіолетового випромінювання стає очевидною в умовах зменшення озонового шару та зростання кількості випадків раку шкіри (меланоми). Літній захисний одяг із натуральних волокон може забезпечити оптимальний комфорт для користувачів в умовах ультрафіолетового випромінювання. У разі використання одягу в зоні з надзвичайно високим індексом ультрафіолетового випромінювання екрануючі властивості натуральних волокон мають бути підсилені шляхом нанесення на тканину поглиначів ультрафіолетового випромінювання.

Методика. Теоретичні та експериментальні дослідження базуються на основних положеннях текстильного матеріалознавства. Спектри оптичного поглинання зразками досліджуваних тканин вимірювали за допомогою спектрофотометру UV-Vis (Cary 50, Varian, Австралія) відповідно до стандарту EN 13758-1:2002 з визначенням коефіцієнту захисту від ультрафіолету (UPF).

Результати. Проаналізовано сучасний асортимент текстильних матеріалів, здатних до екранування ультрафіолетового випромінювання з одночасним забезпеченням комфортних умов експлуатації в літню сонячну погоду. Розглянуто основні способи модифікації бавовняних текстильних матеріалів з метою надання їм екрануючих властивостей щодо дії ультрафіолетового випромінювання. Запропоновано нові підходи до використання кубових барвників для функціоналізації бавовняних текстильних матеріалів. Запропонований метод модифікації кубовими барвниками дозволяє одержати текстильні матеріали різного кольору з відмінним захистом від ультрафіолетового випромінювання (UPF 50+).

Наукова новизна. Модифікація кубовими барвниками полягає у можливості фарбування текстильних матеріалів будь-якого сировинного складу, оскільки нерозчинний барвник утворюється безпосередньо в пористій структурі текстильного матеріалу. Ці барвники, на відміну від багатьох органічних сполук, не деструктують під дією ультрафіолетового випромінювання і належать до найбільш стійких хімічних сполук до дії ультрафіолетового випромінювання. Експериментально доведено, що використання кубових барвників забезпечує високий ступень захисту не тільки самої тканини від негативної дії ультрафіолетового випромінювання, а і дозволяє створити текстильні екрани, ефективні для захисту людини від шкідливого ультрафіолетового випромінювання.

Практична значимість. Запропонований метод модифікації кубовими барвниками дозволяє одержати текстильні матеріали різного кольору з UPF 50+. Значення UPF 50+ згідно стандарту AS /NZ 4399: 1996 вказує на забезпечення «Відмінного захисту від ультрафіолетового випромінювання» та відповідає найкращим світовим розробкам в області текстилю для захисту від ультрафіолетового випромінювання.

Ключові слова: натуральні волокна, бавовна, текстиль, захист, електромагнітне випромінювання, УФ випромінювання, модифікація, кубові барвники, фотостабілізатори.

PROTECTION AGAINST HARMFUL ULTRAVIOLET RADIATION: PRACTICAL APPLICATION OF VAT DYES FOR FUNCTIONALIZATION OF COTTON FABRICS

ARABULI S.I., VLASENKO V.I., TRUBA A.A., ARABULI A.T.
Kyiv National University of Technologies and Design, Ukraine

Purpose. The necessity of protecting humans from harmful ultraviolet radiation is obvious when faced with a thinning ozone layer and the growth in the number of cases of skin cancer (melanoma). Summer protective clothing made from natural fibers can provide optimal comfort for users in ultraviolet conditions. In the case of using clothing in an area with an extremely high ultraviolet index, the shielding properties of natural fibers can be enhanced by applying ultraviolet absorbers to the fabric.

Methodology. Theoretical and experimental studies are based on the main principles of textile materials science. The optical absorption spectra of the textile samples were measured using a UV-Vis spectrophotometer (Cary 50, Varian, Australia) in accordance with the EN 13758-1:2002 standard with determination of the ultraviolet protection factor (UPF).

Results. A modern assortment of textile materials capable of shielding ultraviolet radiation while providing comfortable operating conditions in summer sunny weather has been analyzed. The main ways of modifying cotton textile materials in order to give them shielding properties against the action of ultraviolet radiation are considered. New approaches to the use of vat dyes for the functionalization of cotton textile materials have been proposed. The proposed method of modification with vat dyes allows obtaining textile materials of different colors with excellent protection against ultraviolet radiation (UPF 50+).

Scientific novelty. Modification with vat dyes is the possibility of dyeing textile materials of any raw material composition, since the insoluble dye is formed directly in the porous structure of the textile material. These dyes, unlike many organic compounds, do not destroy under the influence of ultraviolet radiation and belong to the most resistant chemical compounds to the action of ultraviolet radiation. It has been experimentally proven that the use of vat dyes provides a high degree of protection not only of the fabric itself against the negative effects of ultraviolet radiation, and allows you to create textile screens that are effective in protecting people from harmful ultraviolet radiation.

Practical value. The proposed method of modification with vat dyes allows to obtain textile materials of different colors with UPF 50+. The UPF 50+ value according to AS /NZ 4399: 1996 indicates the provision of "Excellent ultraviolet protection" and corresponds to the world's best developments in the field of textiles for ultraviolet protection.

Key words: natural fibers, cotton, textiles, protection, electromagnetic radiation, ultraviolet radiation, modification, vat dyes, photostabilizers.

Вступ. Ультрафіолетове випромінювання є різновидом електромагнітного випромінювання, довжина хвилі якого більша, ніж у м'якого рентгенівського випромінювання, і коротша, ніж у видимого світла (рис. 1) [1].

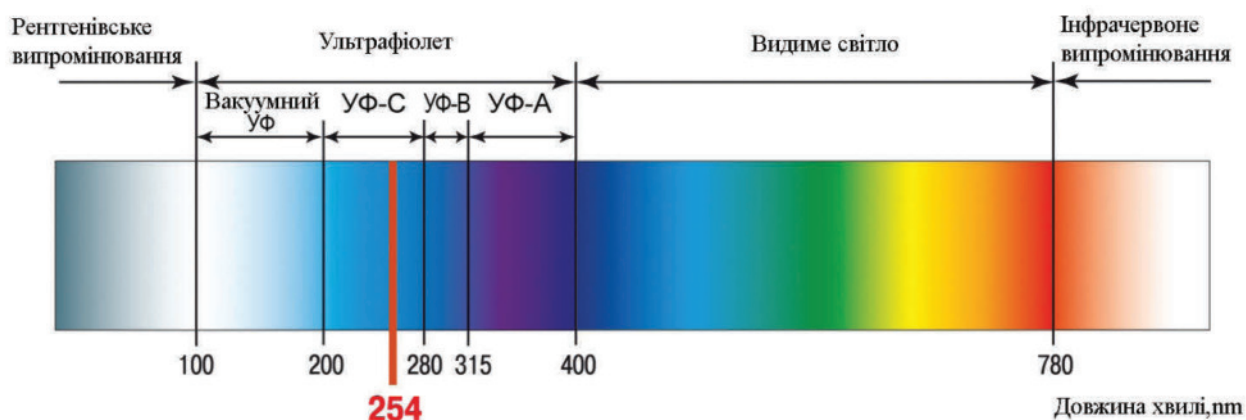


Рис. 1. Шкала електромагнітних хвиль [1]

З усього світла, що проєктується на Землю Сонцем, лише 47% досягає земної поверхні. З решти 34% відбивається атмосферою і 19% поглинається. Електромагнітне випромінювання існує в діапазоні довжин хвиль, які для зручності розділені на основні групи. Існує три категорії ультрафіолетового випромінювання:

УФА, від 320 до 400 нм - довга хвиля, чорне світло, не поглинається озоновим шаром: м'який УФ;

УФВ, від 280 до 320 нм - середні хвилі, в основному поглинаються озоновим шаром: проміжні УФ;

УФС+ вакуумний УФ, від 100 до 280 нм - короткохвильова, бактерицидна, повністю поглинається озоновим шаром.

Характеристики кожної категорії наведено в таблиці 1.

Таблиця 1

Основні відмінності між УФА, УФВ та УФС випромінюванням за [2]

УФА випромінювання	УФВ випромінювання	УФС випромінювання
$\lambda = 400-315$	$\lambda = 315-280$	$\lambda = 280-100$
Енергія: 3.10-3.94 eВ	Енергія: 3.94-4.43 eВ	Енергія: 4.43-12.4 eВ
Середня енергія фотона: 340 кДж/моль	Середня енергія фотона: 400 кДж/моль	Середня енергія фотона: 810 кДж/моль
Інтенсивність: 27 Вт/м ²	Інтенсивність: 5 Вт/м ²	Інтенсивність: -
Має в 1,7 рази більшу середню енергію, ніж видиме випромінювання ¹	Має в 2 рази більшу середню енергію, ніж видиме випромінювання ¹	Має в 4,1 рази більшу середню енергію, ніж видиме випромінювання ¹
Його інтенсивність становить 7,9% сонячної радіації ²	Його інтенсивність представляє 1,5% сонячної радіації ²	-
Пошкоджує колагенові волокна і прискорює старіння шкіри.	Пошкоджує колагенові волокна і прискорює старіння шкіри.	Пошкоджує колагенові волокна і прискорює старіння шкіри.
Руйнує вітамін А.	Руйнує вітамін А. Ініціює вироблення вітаміну D.	Руйнує вітамін А.
Відповідає за засмагу.	Відповідає за більш глибоку і тривалу засмагу. Відповідає за сонячні опіки.	Відповідає за сонячні опіки.
Побічно руйнує ДНК і сприяє раку шкіри.	Прямо руйнує ДНК і викликає рак шкіри.	Прямо руйнує ДНК і викликає рак шкіри.
Пригнічує захист імунної системи при деяких захворюваннях або надає позитивну дію при інших.	Має негативний або позитивний вплив на імунну систему	-
Проникає під шкіру	Небезпечно для очей	Небезпечно для очей

Примітки: ¹середня енергія видимого випромінювання: 200 кДж/моль [3];

²середня сонячна радіація: 342 Вт/м² [3].

Аналіз даних табл.1 вказує на важливість захисту людини від УФ випромінювання категорії УФА та УФВ. Як один з ефективних засобів захисту від УФ випромінювання можуть стати гнучкі текстильні екрани – спеціально сконструйовані і модифіковані текстильні матеріали. Вибір параметрів структури текстильних матеріалів та модифікація відповідними абсорберами УФ випромінювання дає можливість створити текстильні матеріали з високими захисними функціями. Визнання важливої ролі, яку відіграє текстиль у покращенні захисту людей, значно зросло на початку двадцять першого століття. На сьогодні існує багато досліджень науковців [4-7], пов'язаних з розробкою та дослідженням текстилю з високим коефіцієнтом захисту від ультрафіолету (UPF). Ефективний захист від шкідливого УФ випромінювання необхідний, коли шкіра людини піддається впливу сонячних променів. Особливої уваги питання захисту стає актуальним у літню пору року.

Поряд з екрануючими властивостями щодо дії УФ випромінювання текстильні полотна для літнього одягу мають забезпечувати високий комфорт носіння, а також позитивно впливати на фізіологію людини. Натуральні волокна демонструють

корисні для людини властивості, такі як висока гігроскопічність, низька схильність до накопичення електростатичного заряду і висока повітропроникність, що разом означає, що одяг з рослинних волокон позитивно впливає на фізіологію людини. В умовах низької або помірної фізичної активності носія одяг з натуральних рослинних волокон забезпечує правильну регуляцію температури, що дозволяє шкірі дихати, а також відводить вуглекислий газ і вологу з поверхні шкіри. Вони не є алергенами і виявляють певну синергію зі шкірою людини. Додатковою перевагою текстилю з натуральних рослинних волокон є його прохолодний дотик, який забезпечує оптимальний комфорт, особливо під час дії сонячних променів. З цієї причини, а також через їх початкову здатність поглинати УФ промені, луб'яні волокна є найбільш придатними для використання у виробництві УФ захисного одягу [8-10]. Природні луб'яні волокна, такі як конопля та льон, як сировина, характеризуються хорошими властивостями УФ бар'єру, оскільки містять пігменти, лігнін, віск і пектин, які діють як природні поглиначі УФ випромінювання (табл. 2). На відміну від луб'яних волокон очищена та вибілена бавовна забезпечує поганий захист від негативної дії УФ випромінювання [11-13].

Таблиця 2

Хімічний склад натуральних рослинних волокон (%)

Волокно	Целюлоза	Пектин	Лігнін	Жир/віск
Льон	64–84	1,8–2,0	0,6–5,0	1,5
Конопля	67–78	0,8	3,5–5,5	0,7
Бавовна	92–95	0,5	0,0	0,4

Враховуючи вище викладене, метою дослідження є покращення екрануючих властивостей щодо дії УФ випромінювання бавовняних тканин, як таких що є найбільш вживаними у асортименті повсякденного літнього одягу.

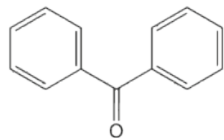
Постановка завдання.

Під час процесів виробництва волокно/пряжа/тканина існує можливість включати добавки, такі як пігмент, розчинник, оптичні відбілювачі та поглиначі УФ випромінювання, які мають здатність поглинати УФ випромінювання та покращують захисні властивості тканин.

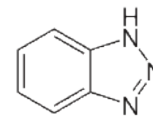
Для забезпечення високого ступеня захисту не тільки самої тканини від негативної дії УФ випромінювання, а і для створення текстильного екрану для захисту людини від УФ випромінювання, ми пропонуємо модифікацію текстильних матеріалів кубовими барвниками. В останні роки частка кубових у загальному обсязі споживання барвників у текстильній промисловості поступово знижується. Це пояснюється більш складними технологіями застосування та порівняно високою вартістю кубових барвників у порівнянні з активними, сірчистими барвниками та пігментами. Однак у тих випадках, коли потрібно отримати на текстильних матеріалах забарвлення, що мають високу стійкість до жорстких умов

експлуатації: прання, дії окиснювачів і т.д., кубові барвники – незамінні. Кубові барвники є нерозчинними у воді пігментами, які переходять у розчин у лужному середовищі в присутності відновників при підвищеній температурі. За подібністю хімічної будови та методів одержання кубові барвники ділять на поліциклічні та індигоїдні. Поліциклічні кубові барвники представляють собою карбо- і гетероароматичні багатоядерні конденсовані сполуки, що містять не менше двох оксогруп, з'єднаних між собою системою спряжених зв'язків. Поліциклічні кубові барвники утворюють яскраві забарвлення широкою гамою

кольорів і відтінків, що мають дуже високу стійкість до всіх видів фізико-хімічних обробок і, що дуже важливо, до дії природного світла. Тому можна припустити, що фарбування кубовими барвниками може бути ефективним щодо захисту від УФ випромінювання людини. Тобто вони мають властивості УФ абсорберів. З наведених прикладів видно, що хімічна будова кубових барвників подібна до хімічної будови фотостабілізаторів (рис.2). Тому механізм світлостабілізації кубових барвників подібний до механізму дії типових фотостабілізаторів [14].



Бензофенон



Бензотріазол

Рис.2. Приклади структурної формули фотостабілізаторів

Матеріали та методи досліджень.

Для модифікації текстильних полотен багатоядерними кубовими барвниками була обрана бавовняна тканина – бязь вибілена. Структурні характеристики вихідного полотна наведені в табл.3.

Таблиця 3

Структурні характеристики немодифікованого текстильного матеріалу

Назва полотна	Переплетення	Вміст складників сировинного складу, [%]	Лінійна густина ниток, [текс]		Поверхнева густина, [г/м ²]	Товщина, [мм]	Число ниток на 100 мм	
			основа	уток			Π _o	Π _y
Бязь вибілена	Полотняне	Бавовна – 100	20,0	26,3	110	0,37	300	200

Для фарбування зразків бавовняного текстильного полотна (бязь) був використаний суспензійний метод, який складається з таких послідовних стадій:

- приготування суспензії невідновленого барвника (просочувальної ванни);
- просочування текстильного матеріалу суспензією барвника з наступним відновленням;
- окислювання лейкосполуки барвника на текстильному матеріалі з перетворенням її в нерозчинну форму.

В результаті модифікації бязі кубовими барвниками були отримані полотна пофарбовані:

- кубовим синім (рис.3а);
- кубовим бірюзовим (рис. 3б);
- кубовим жовтим (рис.3в).

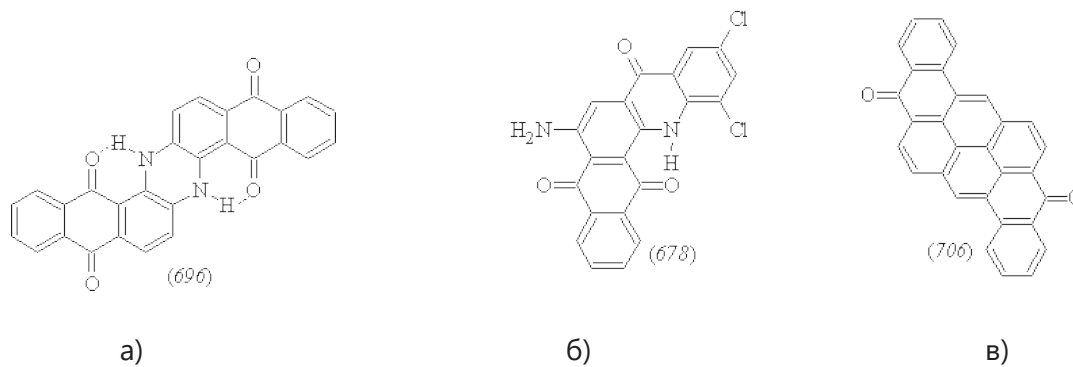


Рис.3. Структурна формула барвенника:

а - «кубовий синій»; б - «кубовий бірюзовий»; в - «кубовий жовтий»

Зовнішній вигляд не модифікованого (відбіленого) та пофарбованих зразків текстильних полотен наведені на рис.4.

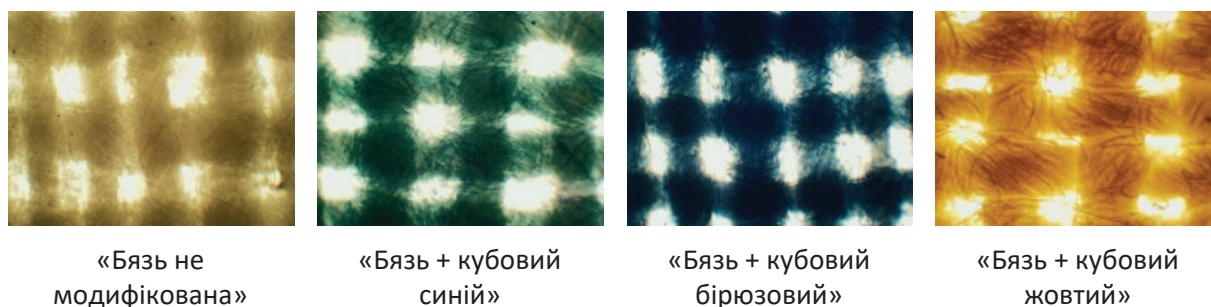


Рис.4. Зовнішній вигляд немодифікованого та пофарбованих текстильних полотен

Для оцінки здатності текстильних матеріалів екранувати УФ випромінювання був використаний метод *in vitro* (або інструментальний/спектрофотометричний метод). Метод дозволяє оцінити ступінь захисту від сонячних опіків, який забезпечує тканина з використанням так званого коефіцієнту захисту від ультрафіолету (UPF).

Коефіцієнт захисту від ультрафіолету (UPF) визначається як відношення середнього ефективного УФ випромінювання, що проходить через повітря (ефективна доза – ED) до середнього ефективного УФ випромінювання, що проходить через тканину (ефективна доза – ED_f) (EN13758-1:2002+A1:2006 Textiles - Solar UV protective properties - Part 1: Method of test for apparel fabrics):

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

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.

UPF показує, на скільки довше людина може залишатися на сонці, коли тканина покриває її шкіру, порівняно з тривалістю перебування на сонці людини без покриття тканиною, щоб отримати таку саму реакцію еритеми. Чим вище UPF тканини, тим краще вона здатна захищати шкіру людини від УФ випромінювання.

Коефіцієнт захисту від ультрафіолету (UPF) оцінювався на спектрофотометрі UV-Vis (Cary 50, Varian, Австралія) відповідно до стандарту EN 13758-1:2002 Textiles. Solar UV protective properties. Method of test for apparel fabrics в Національному науково-дослідному інституті текстилю та шкіри, м. Бухарест (Румунія).

Відповідно до стандарту AS /NZ 4399:1996 Sun protective clothing – Evaluation and classification сонцезахисний одяг (текстиль) класифікується відповідно до його рейтингу UPF, як зазначено в таблиці 4.

Таблиця 4

Система класифікації UPF відповідно до стандартів AS/NZ4399:1996

Діапазон UPF	Категорія захисту від ультрафіолету	Ефективне пропускання УФ випромінювання, [%]	Рейтинг UPF
0 – 14	«не захищає»	≥ 6,6	0, 5, 10
15 – 24	«хороший захист»	6,7 – 4,2	15, 20
25 – 39	«дуже хороший захист»	4,1 – 2,6	25, 30, 35
40 і більше	«відмінний захист»	≤ 2,5	40, 45, 50, 50+

Результати дослідження. Результати досліджень не модифікованої та пофарбованих тканин наведені в таблиці 5 та на рис. 5-8.

Таблиця 5

Коефіцієнт захисту від ультрафіолету (UPF) досліджуваних текстильних матеріалів

Зразок текстильного матеріалу	Значення UPF	Коефіцієнт пропускання (T) в області УФА, %	Коефіцієнт пропускання (T) в області УФВ, %	Рівень UPF	Класифікація текстильного полотна
Бязь не модифікована	5,806	10,142	16,855	5	«не захищає»
Бязь + «кубовий синій»	116,746	1,000	0,742	50+	«відмінний захист»
Бязь + «кубовий бірюзовий»	116,788	1,015	0,736	50+	«відмінний захист»
Бязь + «кубовий жовтий»	82,188	1,289	1,058	50+	«відмінний захист»

Не модифікована вибілена «бязь» не забезпечує захист від УФ випромінювання (UPF 5) і не може бути використана як текстильний екран, або елементи захисного одягу та аксесуарів. Встановлено, що процес

відбілювання призводить до суттєвого зниження бар'єрних властивостей бавовняних волокон, внаслідок видалення природних пігментів, воску і пектину, які діють як поглиначі УФ випромінювання.

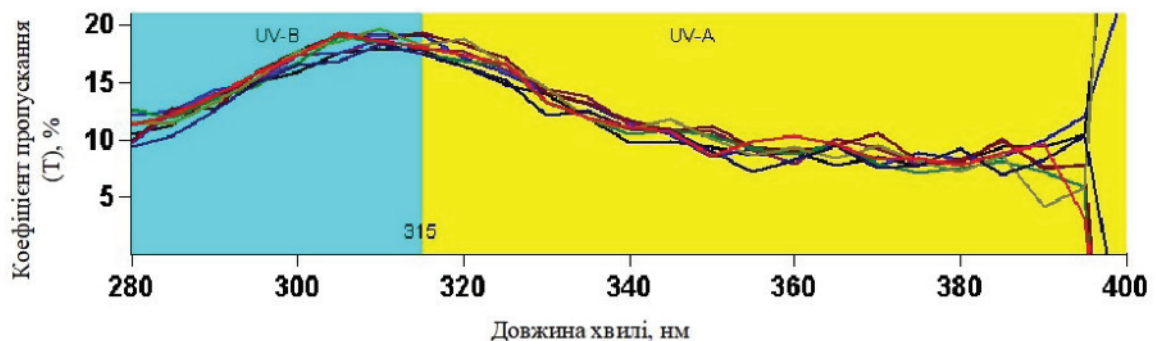


Рис. 5. **Спектральні характеристики зразка «Бязь не модифікована»**

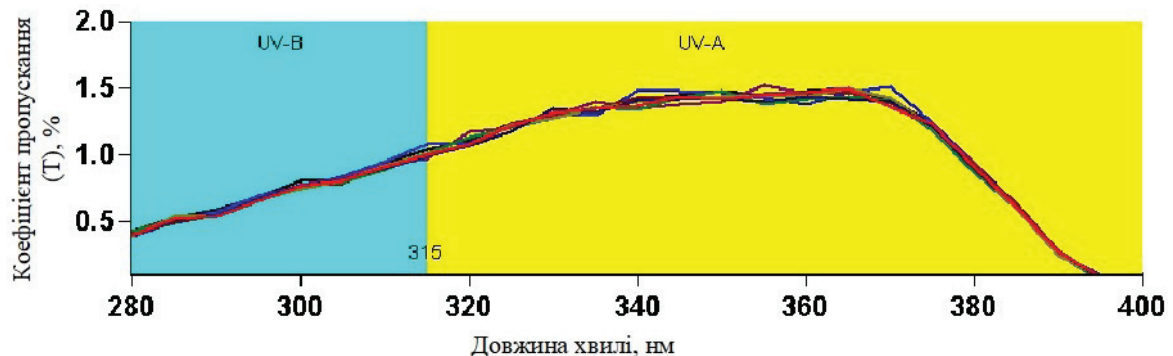


Рис.6. **Спектральні характеристики зразка «Бязь + кубовий синій»**

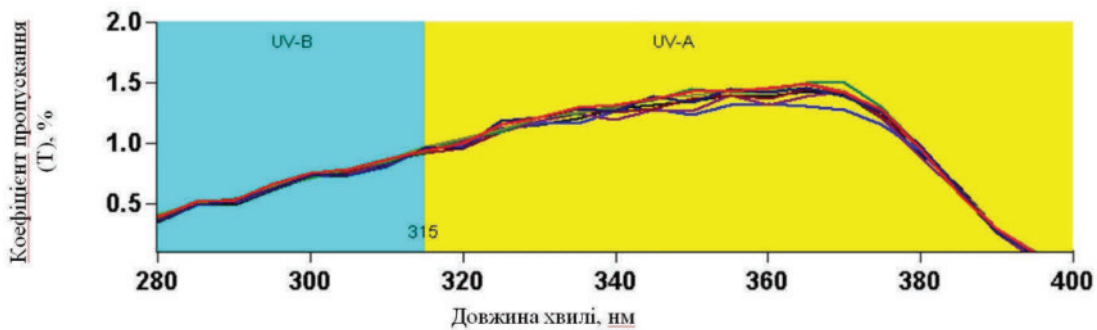


Рис.7. **Спектральні характеристики зразка «Бязь + кубовий бірюзовий»**

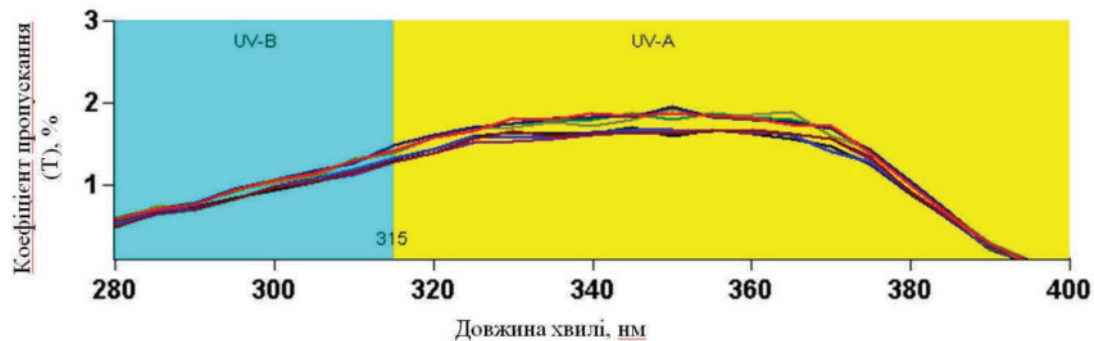


Рис.8. **Спектральні характеристики зразка «Бязь + кубовий жовтий»**

За результатами наведених досліджень встановлено, що метод модифікації кубовими барвниками дозволяє одержати текстильні матеріали різного кольору з UPF 50+. Значення UPF 50+ згідно стандарту AS /NZ 4399: 1996 вказує на забезпечення «Відмінного захисту від ультрафіолетового випромінювання» та відповідає найкращим світовим розробкам в області текстилю для захисту від УФ випромінювання.

Висновки. Враховуючи результати проведених досліджень встановлено, що фарбування бавовняних тканин від негативної дії УФ випромінювання. Під час модифікації кубовими барвниками

бавовняної тканини, нерозчинний барвник утворюється безпосередньо в пористій структурі текстильного матеріалу. Кубові барвники, на відміну від багатьох органічних сполук, не деструктують під дією ультрафіолетового випромінювання і належать до найбільш стійких хімічних сполук до дії УФ випромінювання. Експериментально доведено, що використання кубових барвників забезпечує високий ступінь захисту не тільки самої тканини від негативної дії УФ випромінювання, а і дозволяє створити текстильні екрани, ефективні для захисту людини від шкідливого УФ випромінювання. Запропонований метод модифікації дозволяє одержати текстильні матеріали різного кольору з UPF 50+.

Список літературних джерел.

1. Хвильова оптика. Частина 1. Електромагнітна теорія світла та інтерференція: Підручник для студентів /Уклад.: В.Г. Колобродов. – К.:НТУУ «КПІ ім. І. Сікорського», 2017. – 208 с.
2. Zabetakis A. Textiles for protection against solar UVR, weather conditions and fire, Proceedings of 1st International Textile, Clothing & Design Conference, Dubrovnik, October 2002, University of Zagreb, Faculty of Textile Technology, Zagreb, Croatia. ISBN 953-96408-8-1, 2002, – p. 152-157.
3. Ron, N.. Solar Radiation, 2005 <http://home>.

References

1. Wave optics. Part 1. Electromagnetic theory of light and interference: Textbook for students / Compiler: V.G. Kolobrodov - K.: NTUU "KPI named after I. Sikorsky", 2017.-208 p. [in Ukrainian].
2. Zabetakis, A. (2002). Textiles for protection against solar UVR, weather conditions and fire, Proceedings of 1st International Textile, Clothing & Design Conference, 152-157, ISBN 953-96408-8-1, Dubrovnik, October 2002, University of Zagreb, Faculty of Textile Technology, Zagreb, Croatia.
3. Ron, N. (2005). Solar Radiation, <http://home>.

iprimus.com.au/nielsens/solrad.html

4. Visileanu E. Influence on the UPF level of the content and type of nanoceramics used in the textile treatment. Proceedings of the International Conference TexTeh IX "Advanced Textiles for a Better World", INCDTP-ICPI, Romania, Bucharest, Vol. 9, 24-25 October 2019, – p. 187-190.

5. Wilson, C.A., Bevin, N.K., Laing, R. M., & Niven, B. E. Solar protection – Effect of selected fabric and use characteristics on ultraviolet transmission // Textile Research Journal. – 2008, Vol. 78, – p. 95–104.

6. Singh, M. K., & Singh, A. (2013). Ultraviolet protection by fabric engineering. Journal of Textiles, vol. 16, p.21-32.

7. Vlasenko V., Smertenko P., Bereznenko S., Arabuli S., Kucherenko V. Synthesis of metals nano-particles in the porous structure of textiles for UV-shielding // Vlakna a textile. – 2017, №4 (24). – p.30-33.

8. Ghosh S, Bajaj P and Kothari V. Effect of dyes and finishes on UV protection of jute/cotton fabrics // Ind J Fibre Text Res; – 2003, Vol. 28. – p. 431–436.

9. Schmidt-Przewoźna, K. and Zimniewska, M. The effect of natural dyes used for linen fabrics on UV-blocking', in Proceedings of International Conference ArchTex 2005 High Technologies in Textiles, Krakow, Poland, 2005. – p. 31–35.

10. Zimniewska M. Linen & hemp fabrics as a natural way of sun protection. Proceedings of 2nd Global Workshop of the FAO European Cooperative Research Network on Flax and Other Bast Plants, Borovets, Bulgaria. – 2001.

11. Cristea D., Vilarem G. Improving light fastness of natural dyes on cotton yarn // Dyes and Pigments. – 2006, Vol. 70, Issue 3. – p. 238–245.

12. Riva A, Algaba I, Pepio M, et al. Modeling the effects of color on the UV protection provided by cotton woven fabrics dyed with azo dyestuffs // Ind Eng Chem Res. – 2009, Vol. 48. –p.9817–9822.

13. Chowdhury K. P. Effect of Special Finishes on the Functional Properties of Cotton Fabrics // Journal of Textile Science and Technology. – 2018, Vol. 04, Issue 02. – p. 49–66.

14. Левчик В., Зуй М. (2014). Методи вилучення, концентрування та визначення бензофенону та його похідних // Вісник Київського національного університету імені Тараса Шевченка. Хімія. – 2014, № 1(50). – p. 5-12.

iprimus.com.au/nielsens/solrad.html.

4. Visileanu E. Influence on the UPF level of the content and type of nanoceramics used in the textile treatment. Proceedings of the International Conference TexTeh IX "Advanced Textiles for a Better World", INCDTP-ICPI, Romania, Bucharest, Vol. 9, 24-25 October 2019, p. 187-190..

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

6. Singh, M. K., & Singh, A. (2013). Ultraviolet protection by fabric engineering. Journal of Textiles, vol. 16, p.21-32.

7. Vlasenko, V., Smertenko, P., Bereznenko, S., Arabuli, S., Kucherenko, V. (2017). Synthesis of metals nano-particles in the porous structure of textiles for UV-shielding. Vlakna a textil, №4 (24), p.30-33.

8. Ghosh S, Bajaj P and Kothari V. (2003). Effect of dyes and finishes on UV protection of jute/cotton fabrics. Ind J Fibre Text Res; Vol. 28. p. 431–436.

9. Schmidt-Przewoźna, K. and Zimniewska, M. (2005). The effect of natural dyes used for linen fabrics on UV-blocking', in Proceedings of International Conference ArchTex 2005 High Technologies in Textiles, Krakow, Poland, p. 31–35.

10. Zimniewska, M. (2001). Linen & hemp fabrics as a natural way of sun protection. Proceedings of 2nd Global Workshop of the FAO European Cooperative Research Network on Flax and Other Bast Plants, Borovets, Bulgaria.

11. Cristea D., Vilarem G. (2006). Improving light fastness of natural dyes on cotton yarn. Dyes and Pigments. Vol. 70, Issue 3. p. 238–245.

12. Riva A, Algaba I, Pepio M, et al. (2009). Modeling the effects of color on the UV protection provided by cotton woven fabrics dyed with azo dyestuffs. Ind Eng Chem Res. Vol. 48. p.9817–9822.

13. Chowdhury K. P. (2018). Effect of Special Finishes on the Functional Properties of Cotton Fabrics. Journal of Textile Science and Technology. Vol. 04, Issue 02. p. 49–66.

14. Levchyk V., Zui M. (2014). Methods of extraction, concentration and determination of benzophenone and its derivatives. Bulletin of Taras Shevchenko Kyiv National University. Chemistry. 1(50). P.5-12. [in Ukrainian]