

## ТЕХНОЛОГІЇ ЛЕГКОЇ ПРОМИСЛОВОСТІ

УДК 677.074/076

DOI <https://doi.org/10.35546/kntu2078-4481.2026.3.7>

С. І. АРАБУЛІ

кандидат технічних наук, доцент,  
завідувач відділу докторантури і аспірантури  
Київський національний університет технологій та дизайну  
ORCID: 0000-0003-1049-8255

О. С. СВИДЛО

аспірант кафедри моди та стилю  
Київський національний університет технологій та дизайну

А. А. ТРУБА

аспірантка кафедри моди та стилю  
Київський національний університет технологій та дизайну

А. Т. АРАБУЛІ

кандидат технічних наук, доцент,  
доцент кафедри моди та стилю  
Київський національний університет технологій та дизайну  
ORCID: 0000-0002-2583-4998

Л. Є. ГАЛАВСЬКА

доктор технічних наук, професор,  
начальник науково-дослідної частини  
Київський національний університет технологій та дизайну  
ORCID: 0000-0002-6994-6641

**ЗМІНА ОПТИЧНИХ ТА ЕКРАНУЮЧИХ ВЛАСТИВОСТЕЙ ЛЛЯНИХ ТКАНИН ПІСЛЯ БАГАТОРАЗОВОГО ПРАННЯ**

Одяг літнього асортименту найчастіше виготовляють з бавовняних та лляних тканин, які мають забезпечувати високі естетичні показники, комфорт під час носіння та ефективний захист від негативного впливу сонячного випромінювання, а саме, ультрафіолетового випромінювання. Водночас такі вироби піддаються частим пранням, що може негативно впливати на їхній зовнішній вигляд і екрануючі властивості.

Теоретичні та експериментальні дослідження ґрунтуються на основних засадах текстильного матеріалознавства. Кольорові характеристики оптичних властивостей лляних тканин оцінювали у кольоровому просторі CIE Lab за допомогою колориметра 3NH NR-20XE при освітленні D65/10. Здатність тканин екранувати ультрафіолетове випромінювання визначали за значеннями коефіцієнта пропускання (T, %) із використанням UV-Vis спектрофотометра DU-8800D (Drawell International Technology Ltd) відповідно до стандарту EN 13758-1:2002 із розрахунком коефіцієнта захисту від ультрафіолету (UPF). В роботі проаналізовано сучасні підходи до захисту людини від негативної дії ультрафіолетового випромінювання. Встановлено, що одяг є одним із найефективніших засобів захисту шкіри, причому вирішальну роль відіграють екрануючі властивості текстилю. В роботі досліджено вплив основних характеристик чотирьох лляних тканин полотняного переплетення на рівень захисту від ультрафіолетового випромінювання. Для лляних тканин, які різняться лише кольором, виявлено тенденцію до підвищення їх екранувальних властивостей зі зменшенням значення показника світлоти ( $L^*$ ) та збільшенням насиченості кольору ( $C^*$ ) (коефіцієнти кореляції становлять 0,95 та 0,97, відповідно). Експериментально доведено, що багаторазове прання лляних тканин призводить до суттєвих змін їхніх оптичних і структурних характеристик. Виявлено, що параметр  $L^*$  (світлота) є найбільш інформативним індикатором впливу циклів прання на оптичні (зокрема кольорні) та екрануючі властивості матеріалів. Встановлено, що після 20 циклів прання тканини білого та м'ятного кольорів втрачають здатність до екранування ультрафіолетового випромінювання (UPF 0–10). В свою чергу, для тканин темноклакитного та смарагдового кольорів спостерігається зниження здатності екранування до рівня тканин з «хорошим захистом» (UPF 15 – 20). Основною причиною такого погір-



шення екрануючих властивостей є зношування матеріалу, зокрема часткове руйнування його структури під дією механічних та фізико-хімічних чинників. Це проявляється у зменшенні лінійної густини ниток основи й утку, зниженні поверхневої густини тканини та, відповідно, збільшенні її поверхневої (наскрізної) пористості.

**Ключові слова:** льон, тканини, текстиль, екрануючі властивості, електромагнітне випромінювання УФ діапазону, оптичні властивості, колір, багаторазове прання.

S. I. ARABULI

Ph. D., Associate Professor,  
Head of the Department of Doctoral and Postgraduate Studies  
Kyiv National University of Technologies and Design  
ORCID: 0000-0003-1049-8255

O. S. SVYDLO

Postgraduate Student at the Department of Fashion and Style  
Kyiv National University of Technologies and Design

A. A. TRUBA

Postgraduate Student at the Department of Fashion and Style  
Kyiv National University of Technologies and Design

A. T. ARABULI

Ph. D., Associate Professor,  
Associate Professor at the Department of Fashion and Style  
Kyiv National University of Technologies and Design  
ORCID: 0000-0002-2583-4998

L. YE. HALAVSKA

Sc. D., Professor,  
Head of the Research Department  
Kyiv National University of Technologies and Design  
ORCID: 0000-0002-6994-6641

## CHANGING OF OPTICAL AND SHIELDING PROPERTIES OF LINEN FABRICS AFTER MULTIPLE WASHING

*Summer clothing is made of cotton and linen fabrics, which should provide high aesthetic performance, comfort during wearing and effective protection against the negative effects of solar radiation, as well as ultraviolet radiation. At the same time, such products are subjected to partial washing, which can negatively affect their appearance and shielding properties.*

*Theoretical and experimental studies are based on the main principles of textile materials science. The color characteristics of the optical properties of linen fabrics were evaluated in the CIELab color space using a 3NH NR-20XE colorimeter under D65/10 illumination. The ability of the fabric to screen ultraviolet radiation was measured by the values of the transmittance coefficient (T, %) using a UV-Vis spectrophotometer DU-8800D (Drawell International Technology Ltd) in accordance with the EN 13758-1:2002 standard by calculating the ultraviolet protection factor (UPF). The paper analyzes modern approaches to protecting humans from the negative effects of ultraviolet radiation. It is established that clothing is one of the most effective means of protecting the skin, and the decisive role is played by the screening properties of textiles. The paper investigates the influence of the main characteristics of four plain weave linen fabrics on the level of protection against ultraviolet radiation. For linen fabrics that differ only in color, a tendency was found to increase their shielding properties with a decrease in the value of the lightness index ( $L^*$ ) and an increase in color saturation ( $C^*$ ) (the correlation coefficients are 0.95 and 0.97, respectively). It has been experimentally proven that repeated washing of linen fabrics leads to significant changes in their optical and structural characteristics. It has been found that the parameter  $L^*$  (lightness) is the most informative indicator of the influence of washing cycles on the optical (in particular, color) and shielding properties of materials. It has been established that after 20 washing cycles, white and mint-colored fabrics lose their ability to shield ultraviolet radiation (UPF 0–10). In turn, for fabrics of dark blue and emerald colors, there is a decrease in the shielding ability to the level of fabrics with “good protection” (UPF 15 – 20). The main reason for such a deterioration in shielding properties is the wear of the material, in particular; the partial destruction of its structure under the influence of mechanical and physicochemical factors. This is manifested in a decrease in the linear density of the warp and weft threads, a decrease in the surface density of the fabric and, accordingly, an increase in its surface (through) porosity.*

**Key words:** linen, fabrics, textiles, shielding properties, electromagnetic radiation of the UV range, optical properties, color, repeated washing.

### Постановка проблеми

Захист від ультрафіолетового (УФ) випромінювання – це важлива складова турботи про здоров'я шкіри, очей і загальний стан організму людини. УФ випромінювання є частиною сонячного спектра і поділяється на три основні діапазони: UVA (315–400 нм), UVB (280–315 нм) та UVC (100–280 нм). Найбільш небезпечними для шкіри людини є UVA та UVB промені. До основних причин, чому захист від УФ випромінювання є важливим, а сам напружений супроводжується великою кількістю серйозних наукових досліджень, є [1, 2]:

- профілактика раку шкіри. Надмірна дія УФ випромінювання може пошкоджувати ДНК клітин шкіри, що підвищує ризик розвитку меланому та інших видів раку;
- запобігання передчасному старінню. UVA промені проникають глибоко в шкіру, руйнуючи колаген і еластин. Це призводить до появи зморшок, сухості й втрати пружності шкіри;
- захист очей. УФ випромінювання підвищує ризик катаракти, дегенерації сітківки та запалення рогівки ока;
- збереження імунітету. Надлишок УФ випромінювання може тимчасово пригнічувати імунну систему, зменшуючи здатність організму боротися з інфекціями.

До основних заходів захисту тіла людини від негативної дії УФ випромінювання відносять [3]:

- тінь;
- сонцезахисні окуляри;
- сонцезахисні креми з SPF не менше 30+;
- капелюхи, які максимально закривають голову та шию людини;
- одяг, який максимально покриває поверхню тіла людини.

Одяг відіграє важливу роль у індивідуальному захисті від впливу УФ випромінювання [4-8]. Поверхня шкіри, покрита одягом може бути ефективно захищена від короткострокового та тривалого впливу сонця. Дослідниками досягнуті значні результати в розробці текстильних матеріалів для одягу із захистом від УФ випромінювання як для звичайних, так і для світлочутливих людей та пацієнтів, які страждають на інші захворювання шкіри [9-16].

Аналіз останніх досліджень і публікацій

Більшість досліджень щодо надання текстильним матеріалам екрануючих властивостей зосереджена на бавовняних тканинах [10, 13, 15]. В свою чергу, лляні тканини одержали широке використання в одязі літнього асортименту. Така популярність пояснюється легкістю та повітропроникністю, що робить їх широкоживаними для літнього одягу та одягу для теплої погоди. Додатковою перевагою текстилю з лляних волокон є його прохолодність на дотик, який забезпечує оптимальний комфорт, особливо під час дії сонячних променів [17, 18]. При цьому, за результатами попередніх досліджень [19, 20] встановлено, що грубі лляні волокна характеризуються хорошими бар'єрними властивостями щодо дії УФ випромінювання, оскільки містять пігменти, лігнін, віск і пектин, які діють як природні поглиначі УФ випромінювання (табл. 1). На відміну від грубих волокон очищений та вибілений льон забезпечує поганий захист від негативної дії УФ випромінювання [21].

Таблиця 1

Хімічний склад лляних волокон

Волокно	Целюлоза, %	Пектин, %	Лігнін, %	Жир/віск, %
Льон	64–84	1,8–2,0	0,6–5,0	1,5

Одним з шляхів покращення екрануючих властивостей лляних тканин є їх фарбування. В багатьох роботах [22-26] досліджувався взаємозв'язок між кольором та коефіцієнтом пропускання УФ випромінювання. В роботах встановлено, що на здатність текстильних матеріалів екранувати УФ випромінювання впливає саме глибина кольору. Кольорові характеристики впливають не тільки на екрануючі властивості текстильних матеріалів, а і можуть бути використані для оцінки зовнішнього виду матеріалу та естетичного сприйняття одягу. Вони дозволяють підкреслювати, виявляти, або навпаки приховувати фактуру матеріалу, силует, конструктивні особливості виробу, об'ємність фігури і таке інше. В той же час, вироби з лляних тканин піддаються частим пранням, що може негативно вплинути на зовнішній вигляд тканин (оптичні властивості) та їх здатність захищати тіло людини від негативної дії УФ випромінювання. Негативний вплив багаторазових прань на екрануючі та оптичні властивості тканин досліджений в роботах [27-29]. Однак, дослідження на лляних тканинах відсутні.

Формулювання мети дослідження

Метою дослідження є встановлення впливу оптичних властивостей та експлуатаційних факторів, а саме, багаторазового прання, на екрануючі властивості лляних тканин щодо дії УФ випромінювання.

Як об'єкти дослідження були обрані 4 лляні тканини полотняного переплетення, які відрізнялися кольором: білий, м'ятний, темнокоричневий та смарагдовий. Структурні характеристики тканин наведені в табл.2. На рис.1 зображений зовнішній вигляд тканин.

Таблиця 2

Структурні характеристики лляних тканин

Переплетення	Вміст складників сировинного складу, [%]	Лінійна густина ниток, [текс]		Поверхнева густина, [г/м <sup>2</sup> ]	Товщина, [мм]	Число ниток на 100 мм	
		основа	уток			<i>P<sub>p</sub></i>	<i>P<sub>y</sub></i>
Полотняне	Льон – 100	15,3	18,1	140	0,43	550	400



Білий



М'ятний



Темноблакитний



Смарагдовий

Рис. 1. Зовнішній вигляд лляних тканин

Зміна структурних характеристик лляних тканин (табл. 3) до, після 5 та 20 циклів прання оцінювалася за показником поверхнева пористість *R<sub>пов</sub>*, %, який показує відношення площі наскрізних пор до площі всієї тканини:

$$R_{пов} = 100 - E_{пов},$$

де *E<sub>пов</sub>*, % – поверхнєве заповнення:

$$E_{пов} = d_0 P_0 - d_y P_y - 0,01 d_0 P_0 d_y P_y = E_0 + E_y - 0,01 E_0 E_y,$$

де *E<sub>0</sub>* та *E<sub>y</sub>*, % – лінійне заповнення тканини по основі та по утку, відповідно.

Таблиця 3

Зміна поверхневої пористості лляних тканин полотняного переплетення до та після 20 циклів прання

Зовнішній вигляд тканини	Колір тканини	Поверхнева пористість <i>R<sub>пов</sub></i> , [%]		
		0 циклів прання	5 циклів прання	20 циклів прання
	білий	34,98	29,36	37,20
	м'ятний	34,32	27,52	37,15
	темноблакитний	34,40	28,74	37,22
	смарагдовий	34,36	28,64	37,64

Оптичні властивості тканин оцінювались за допомогою колориметра 3NH NR-20XE (рис.2) при випромінюванні D-65/10 з використанням кольорового простору CIE Lab «Commission Internationale de l'Eclairage L\*a\*b\*». Було зафіксовано середнє значення, отримане з 5 вимірювань для кожного варіанту тканини. Вимірювання проводилися за стандартних атмосферних умов [31]. Кольоровий простір хроматичних значень CIE Lab дозволяє вимірювати значення та насиченість за трьома координатами (рис.3) [30]:

- *L\** – насиченість білого кольору, що змінюється від білого (100) до чорного (0);
- *a\** – колір у координатах: червоний – зелений (при *a\* > 0*) та (при *a\* < 0*);
- *b\** – колір у координатах: жовтий – синій (при *b\* > 0*) та (при *b\* < 0*).

Аналіз загального колірної розходження 4 лляних тканин полотняного переплетення до та після 20 циклів прання, здійснювався за наступними колориметричними характеристиками [30]:

- насиченість кольору:  $c = [(a^*)^2 + (b^*)^2]^{1/2}$
- колірний тон:  $H = \arctg(a^* / b^*)$
- світлота:  $L^* = 25 [100(y / y_0)^{1/3}] - 16$
- різниця кольорового тону:  $\Delta E = [(\Delta L^*)^2 + (\Delta a^*)^2 + (\Delta b^*)^2]^{1/2}$



Рис. 2. Колориметр 3NH NR-20XE

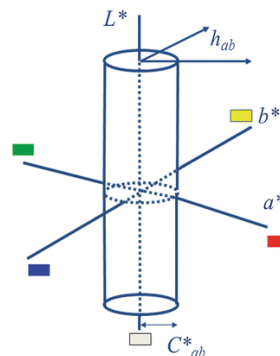


Рис. 3. Тривимірна система CIE Lab [30]

Здатність лляних тканин пропускати/екранувати УФ-випромінювання досліджувалася на UV-Vis спектрофотометрі DU-8800D (Drawell International Technology Ltd) (рис. 4) за показником коефіцієнт захисту від ультрафіолету (UPF, %) в діапазоні довжин хвиль 280 ÷ 400 нм відповідно до стандарту EN 13758-1:2002 Textiles. Solar UV protective properties. Method of test for apparel fabrics [32]:

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

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  $\lambda$ ;

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

Середнє значення UPF тканин, а також середнє значення коефіцієнтів пропускання УФ випромінювання UVA та UVB розраховувалося за результатами 5 вимірювань для кожного варіанту тканини. Вимірювання проводилися за стандартних атмосферних умов [31].

Текстильні полотна для захисту від УФ випромінювання рейтинуються відповідно до стандарту AS /NZ 4399:1996 Sun protective clothing – Evaluation and classification [33] на чотири категорії в залежності від значення UPF:

- «відмінний захист» – UPF → 40, 45, 50, 50+;
- «дуже хороший захист» – UPF → 25, 30, 35;
- «хороший захист» – UPF → 15, 20;
- «не захищає» – UPF → 0, 5, 10.



Рис. 4. UV-Vis спектрофотометр DU-8800D (Drawell International Technology Ltd)





Випробування на багаторазові прання проводили відповідно до стандартного методу випробувань EN ISO 6330:2021 [34] з використанням пральної машини SIEMENS varioPerfect iQ700. Характеристики прання: зразки прали в розчині мийного засобу з концентрацією мийного засобу 3 г/л протягом  $15 \pm 0,5$  хв за температури  $40 \pm 2$  °C; після основного циклу прання проводили триразове полоскання водою при температурі  $20 \pm 2$  °C та тривалістю кожного полоскання  $1 \pm 0,1$  хв. Після прання зразки центрифугували протягом  $1 \pm 0,1$  хв при 1000 об/хв, а потім сушили на рівній горизонтальній поверхні протягом 24 годин за стандартних атмосферних умов [31].

**Викладення основного матеріалу дослідження**

**Оптичні властивості.** Кольорові характеристики 4 гладкофарбованих лляних тканин полотняного переплетення визначені в системі CIELab до і після 20 циклів прання та наведені в табл.4. Зміна кольору під час дії комплексу експлуатаційних факторів характеризувалася світлотою ( $L^*$ ), насиченістю ( $C^*$ ), відтінком кольору ( $H^*$ ) та хроматичними компонентами:  $a^*$  та  $b^*$ .

Таблиця 4

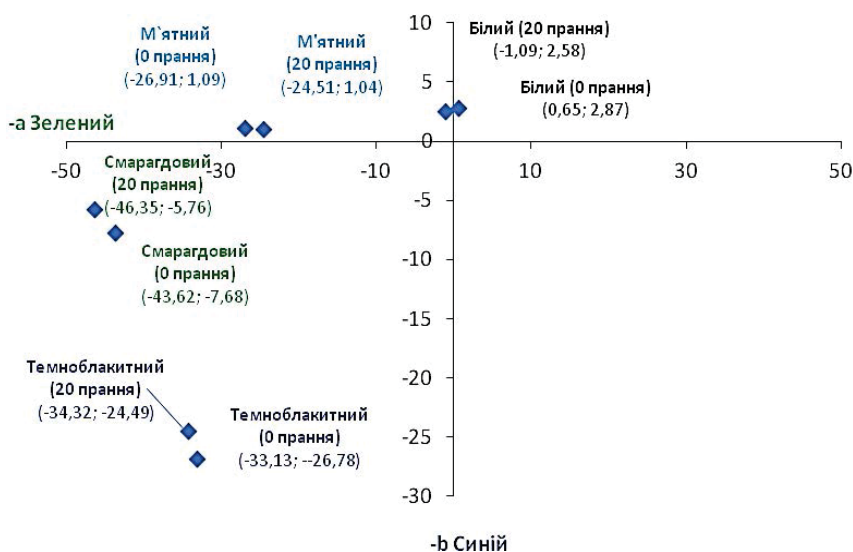
**Зміна кольорових характеристик лляних тканин до та після 20 циклів прання**

Колір тканини	Кількість циклів прання	Параметр					
		$L^*$	$a^*$	$b^*$	$C^*$	$H^*$	$\Delta E$
 білий	0	93,52	0,65	2,87	2,97	77,32	
	20	92,31	-1,09	2,58	2,80	122,86	
	$\Delta$	-1,22	-1,73	-0,29	-0,15	1,75	2,14
 м'ятний	0	78,81	-26,91	1,09	26,93	177,68	
	20	77,93	-24,51	1,04	24,53	177,58	
	$\Delta$	-0,88	2,40	-0,05	-2,40	-0,05	2,56
 темноблакитний	0	57,15	-33,13	-26,78	42,60	218,95	
	20	58,81	-34,32	-24,49	42,16	215,51	
	$\Delta$	1,73	-1,19	2,29	-0,44	-2,54	3,11
 смарагдовий	0	43,37	-43,62	-7,68	44,29	189,98	
	20	46,47	-46,35	-5,76	46,70	187,09	
	$\Delta$	3,10	-2,72	1,91	2,41	-2,29	4,50

Дослідження показали, що прання лляних тканин впродовж 20 циклів незначно змінило їх хроматичні параметри  $a^*$  і  $b^*$ , про що свідчать данні в двовимірній системі з координатами ( $a$ ;  $b$ ), зображені на рис.5. Кольори після 20 циклів прання незначно змінюються від вихідного кольору (від зеленого до червоного або від синього до жовтого). Слід відмітити, що прання лляних тканин не призводить до статистично значимих зміни в кольорах полотен, а саме в їх світлоті ( $L^*$ ) та насиченості ( $C^*$ ), що продемонстровано на рис.6-7.

Ефект прання найбільш інформативно може бути вимірний для оцінки зміни кольору в системі CIELab за параметром  $\Delta E$  – різниця кольорового тону, який є комплексним показником та враховує зміну світлоти ( $L^*$ ) і двох кольорових компонент  $a^*$  і  $b^*$ . Загально прийнято, що:

- різниця кольорового тону є «невидимою» при  $\Delta E = 0,0 \div 1,0$ ;
- різниця кольорового тону є «легко видимою» при  $\Delta E = 1,0 \div 2,0$ ;
- різниця кольорового тону є «видимою» при  $\Delta E = 2,0 \div 4,0$ ;
- різниця кольорового тону є «добре видимою» при  $\Delta E = 4,0 \div 10,0$ ;
- різниця кольорового тону є «великою» при  $\Delta E = > 10,0$ .



**Рис. 5. Кольорові характеристики лляних тканин до та після 20 циклів прання: параметр  $a^*$ , параметр  $b^*$  (система CIELab)**

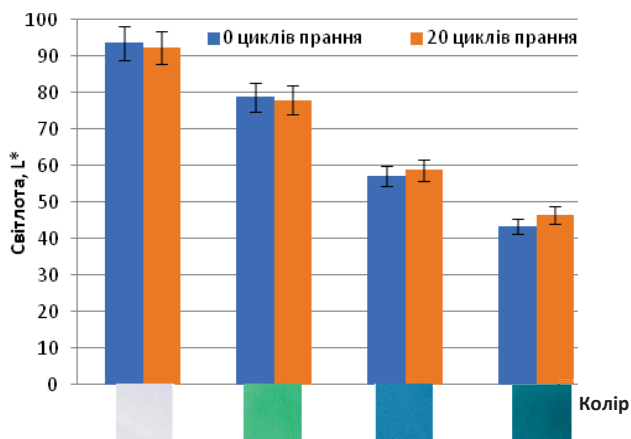


Рис. 6. Світлота кольору (L\*) лляних тканин до та після 20 циклів прання

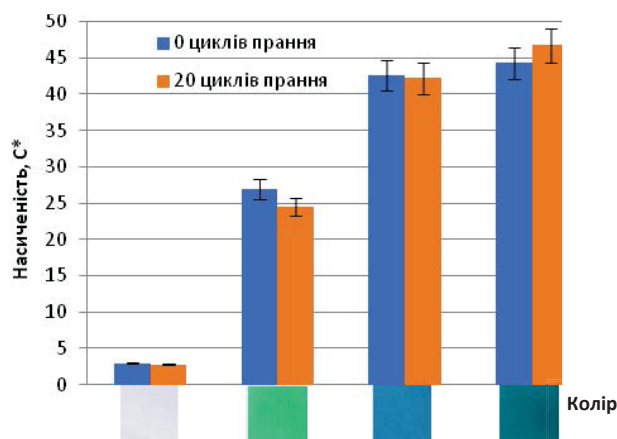


Рис. 7. Насиченість кольору (C\*) лляних тканин до та після 20 циклів прання

За даними табл.4, зміну кольорів лляних тканин після 20 циклів прання візуально важко ідентифікувати. Але за показником різниці кольорового тону ( $\Delta E$ ) зміни можна віднести до «видимих» та «добре видимих», при цьому тканини темних відтінків після прання посвітлішали (темноблакитний та смарагдовий), а тканини світлих відтінків – потемнішали (білий та м'ятний).

**Екрануючі властивості.** Спектральні характеристики пропускання УФ випромінювання 4 гладкофарбованими лляними тканинами до прання наведені на рис.8.

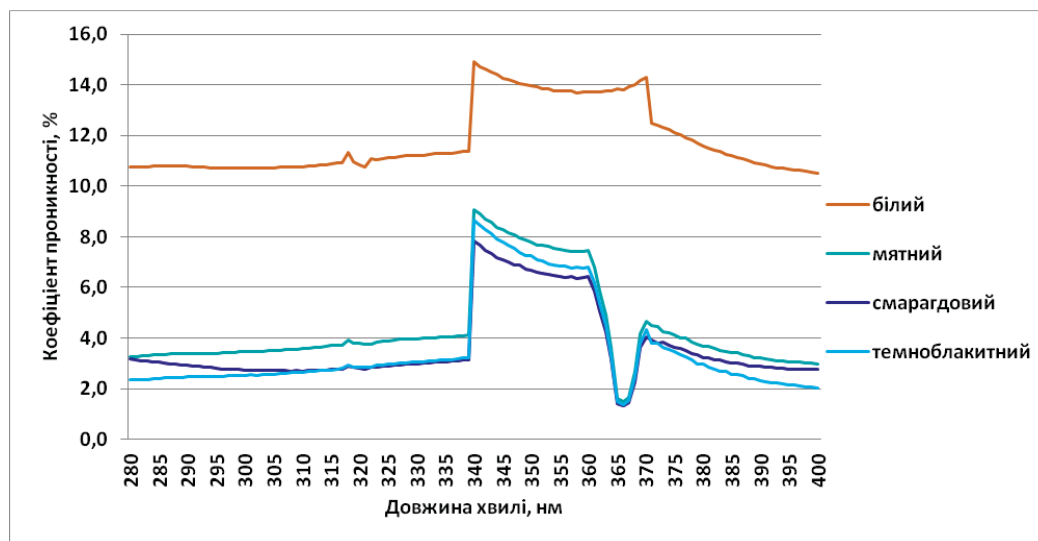






Рис. 8. Спектральні характеристики 4 лляних тканин полотняного переплетення до прання

За умови однакових структурних характеристик чотирьох тканин, що відрізняються лише кольором, спостерігається тенденція до підвищення їх здатності екранувати УФ випромінювання зі зменшенням значення параметра  $L^*$  (світлоти) та зі зростанням насиченості кольору ( $C^*$ ). Встановлено, що тканина білого кольору має рівень UPF у межах 0–10, що свідчить про відсутність ефективного захисту тіла людини від негативного впливу УФ випромінювання. Така тканина належить до категорії тканин, які «не захищають» (табл. 5). Натомість тканина кольору «м'ятний» за показником UPF відноситься до групи з «хорошим захистом». При цьому тканини темноблакитного та смарагдового кольорів демонструють найвищу здатність до екранування УФ-випромінювання (табл. 5). Отримані результати підтверджують поширену серед дослідників гіпотезу про те, що зменшення значення параметра  $L^*$  при одночасному збільшенні параметру  $C^*$  супроводжується зниженням коефіцієнта пропускання (T, %) УФ-випромінювання (коефіцієнти кореляції становлять 0,95 та 0,97, відповідно).

Таблиця 5

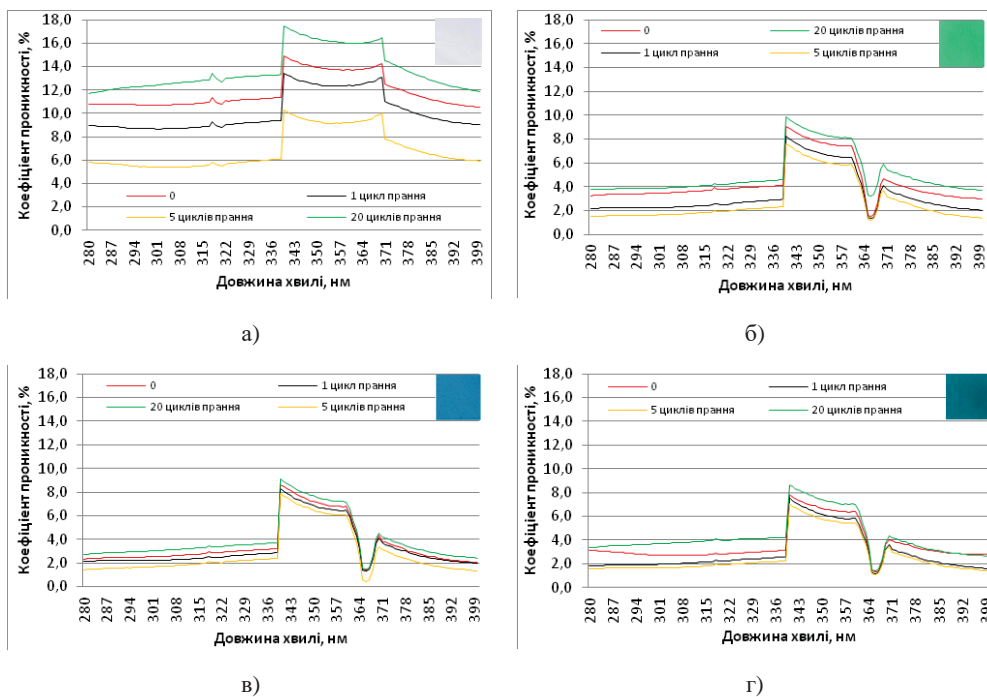
**Коефіцієнт захисту від ультрафіолету (UPF) 4 лляних тканин полотняного переплетення до прання**

Зовнішній вигляд тканини	Колір	Коефіцієнт пропускання (Т) в області УФВ, [%]	Коефіцієнт пропускання (Т) в області УФА, [%]	Рівень UPF	Категорія захисту від ультрафіолету
	білий	10,75	12,25	0 – 10	«не захищає»
	м'ятний	3,45	4,75	15 – 20	«хороший захист»
	темноблакитний	2,84	4,01	15 – 20	«дуже хороший захист»
	смарагдовий	2,52	4,03	15 – 20	«дуже хороший захист»

Багаторазове прання як експлуатаційний фактор для тканин літнього асортименту суттєво впливає на їхні оптичні та гігієнічні характеристики, а відповідно – і на екрануючі властивості. Після прання тканина зазнає комплекс механічних, хімічних, фізико-хімічних і фізико-механічних змін. У роботі досліджено зміну екрануючих властивостей полотен після 1, 5 та 20 циклів прання. Результати визначення коефіцієнта проникності чотирьох лляних тканин наведені на рис. 9 (а – г). Для всіх зразків встановлено тенденцію до зменшення проникності УФ-випромінювання через структуру тканини після 1 та 5 циклів прання. Найвища здатність до екранування УФ-випромінювання спостерігається після 5 циклів прання. Під час прання збільшується ворсистість ниток, що закриває проміжки між ними, зменшуючи вільний простір між нитками в сітці тканини. Паралельно з цими процесами відбувається усадка полотен, що призводить до зменшення поверхневої (наскрізної) пористості з 34,32–34,98 % для вихідних полотен до 27,52–29,36 % для полотен після 5 циклів прання (табл. 3). Такі зміни зумовлюють зниження проникності УФ-випромінювання через структурну сітку тканини.

Експеримент з 20 циклами прання лляних тканин вказав на погіршення їх екрануючих властивостей (рис. 9). За результатами 20 циклів прання спостерігається механічне стирання тканини, видаляються волокна з тканини, зменшується лінійна густина ниток основи й утку, що призводить до зростання поверхневої (наскрізної) пористості полотен до 37,64 %. Такі руйнування в структурі сітки лляних тканин після 20 циклів прання призводить до збільшення коефіцієнту пропускання УФ випромінювання для всіх досліджених матеріалів. Таке збільшення пропускну здатності полотен погіршує їх рівень захисту від дії УФ випромінювання. Це дає підстави класифікувати тканини як такі:

- що не забезпечують захисту від цього виду випромінювання, у випадку з лляними тканинами білого та м'ятного кольорів (UPF 0 – 10);
- що забезпечують хороший захист, у випадку з лляними тканинами смарагдового та темноблакитного кольорів (UPF 15 – 20).



**Рис. 9.** Залежності коефіцієнта пропускання (Т, %) в різних областях УФ випромінювання для зразків лляних тканин після 0, 1, 5 та 20 циклів прання: а) білий; б) м'ятний; в) темноблакитний; г) смарагдовий

### Висновки

Проведені дослідження показали, що структурні й оптичні характеристики лляних тканин визначають їх здатність перешкоджати проникненню УФ випромінювання. У лляних тканин, які різняться лише кольором, виявлено тенденцію до підвищення їх екранувальних властивостей зі зменшенням значення показника світлоти ( $L^*$ ) та збільшенням насиченості ( $C^*$ ). Встановлено, що тканина білого кольору має рівень UPF у межах 0–10, що свідчить про її нездатність забезпечувати захист організму людини від негативного впливу УФ випромінювання. Водночас тканина м'ятого кольору за показником UPF класифікується як така, що забезпечує «хороший захист». Тканини більш насичених кольорів (темноблакитний та смарагдовий) мають найвищі екрануючі властивості та відносяться до тканин з відмінним захистом. Отримані результати підтверджують гіпотезу про те, що зі зменшенням параметра  $L^*$  та збільшення параметру  $C^*$  знижується коефіцієнт пропускання УФ випромінювання (коефіцієнти кореляції становлять 0,95 та 0,97, відповідно).

Експлуатаційний чинник, зокрема багаторазове прання, суттєво впливає на оптичні та гігієнічні характеристики текстильних матеріалів, а отже – і на їхні екранувальні властивості. Це пояснюється тим, що в процесі прання тканина зазнає комплексу механічних, хімічних, фізико-хімічних і фізико-механічних змін. Встановлено, що після 20 циклів прання тканини білого та м'ятого кольорів втратили здатність до екранування УФ випромінювання (UPF 0–10). В свою чергу для тканин темноблакитного та смарагдового кольорів спостерігається зниження здатності екранування до рівня тканин з «хорошим захистом» (UPF 15 – 20). Основною причиною є зношування матеріалу, зокрема часткове руйнування його структури під дією фізико-хімічних чинників. Це проявляється у зменшенні лінійної густини ниток основи й утку, зниженні поверхневої густини тканини та, відповідно, збільшенні її поверхневої (наскрізної) пористості.

### Подяка

Це дослідження було профінансовано Міністерством освіти і науки України в рамках науково-технічного проєкту № РС/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”.

### Список використаної літератури

1. Xiaoyou Tang, Tingyi Yang, Daojiang Yu, Hai Xiong, Shuyu Zhang (2024), Current insights and future perspectives of ultraviolet radiation (UV) exposure: Friends and foes to the skin and beyond the skin, *Environment International*, Volume 185, 108535, <https://doi.org/10.1016/j.envint.2024.108535>
2. Anne K. Julian, Rebecca A. Ferrer & Frank M. Perna (2023) Sun protection behavior: health impact, prevalence, correlates and interventions, *Psychology & Health*, 38:6, 701-725, DOI: 10.1080/08870446.2022.2146112
3. Офіційний сайт Всесвітньої організації здоров'я. [https://www.who.int/uv/uv\\_and\\_health/](https://www.who.int/uv/uv_and_health/)
4. Harrison, S.L.; Buettner, P.G.; Nowak, M.J. (2023) Sun-Protective Clothing Worn Regularly during Early Childhood Reduces the Number of NewMelanocytic Nevi: The North Queensland Sun-Safe Clothing Cluster Randomized Controlled Trial. *Cancers* 2023, 15, 1762. <https://doi.org/10.3390/cancers15061762>
5. Kathryn L. Hatch, Uli Osterwalder (2006), Garments As Solar Ultraviolet Radiation Screening Materials // *Dermatol Clin* 24, 85– 100. doi:10.1016/j.det.2005.09.005
6. Beenu Singh, Manisha Gahlot and Anita Rani. (2019) Development of UV Protective Clothing for College Going Girls. *Int.J.Curr.Microbiol.App.Sci.* 8(6): 1614-1621. <https://doi.org/10.20546/ijcmas.2019.806.194>
7. Lu J T, Ilyas E (July 27, 2022) An Overview of Ultraviolet-Protective Clothing. *Cureus* 14(7): e27333. DOI 10.7759/cureus.2733
8. Cole Y, Ilyas A M, Ilyas E N (2023) Assessment of UV Protection for Children's Summer Clothing . *Cureus* 15(8): e44137. DOI 10.7759/cureus.44137
9. Capjack, L., N. Kerr, S. Davis, R. Fedosejevs, K. L. Hatch and N. L. Marckee (1994) Protection of humans from ultraviolet radiation through the use of textiles: A review. *Fam. Consum. Sci. Res. J.* 23, 198–218.
10. Román, L.E. (2019) Applied surface science blocking erythemally weighted UV radiation using cotton fabrics functionalized with ZnO nanoparticles in situ. *Appl Surf Sci.* Vol. 469, p. 204–212.
11. Panyatanmaporn, T., Krueante, J., Aumnate, C., Sooksomsong, T. (2010). The synthesis of titanium dioxide emulsion as UV blocking. *Advanced materials research.* p. 635–638.
12. Vlasenko V. Synthesis of metals nano-particles in the porous structure of textiles for UV-shielding / V. Vlasenko, P. Smertenko, S. Bereznenko, S. Arabuli, V. Kucherenko // *Vlakna a Textil*, 2017, 24(4), pp. 30–33. [http://vat.ft.tul.cz/Archive/VaT\\_2017\\_4.pdf](http://vat.ft.tul.cz/Archive/VaT_2017_4.pdf)
13. Abdelhameed, R.M., El-Shahat, M., Ivanova, E. et al. (2024). Fasten UV-Resistant Cotton Textiles by Modification with Mixed Metal–Ce–MOF. *Fibers Polym* 25, 4651–4663. <https://doi.org/10.1007/s12221-024-00766-3>
14. Alkhatib, F., Al-Ghamdi, S.A., Alatawi, N.M. et al (2025). Technical Viscose Textiles Treated with Ln-Metal Organic Framework: Photochromic/UV-Protective/Antimicrobial Potentiality. *Fibers Polym* 26, 621–637. <https://doi.org/10.1007/s12221-025-00861-z>
15. Rajput SK, Singh MK, Shakyawar DB. (2025) Herbal synthesis of silver nanoparticles for improved dyeing and UV protection of cotton fabric. *Textile Research Journal.* 95(15-16):1988-2002. doi:10.1177/00405175241309541

16. Cei, N.; Canesi, I.; Nejrrotti, S.; Montalbano, G.; Darjazi, H.; Piovano, A.; Bonomo, M.; Fina, A.; Yecora, B.; Perez, A.; et al. (2024) A UV-Protective Textile Coating Based on Recycled Poly(vinyl butyral) (PVB): A New Life for a Waste Polymer. *Polymers*, 16, 3439. <https://doi.org/10.3390/polym16233439>
17. Товарознавчі аспекти формування асортименту та якості лляних тканин : монографія / О.В. Пахолук. – Луцьк : Ред.-вид. відділ ЛНТУ, 2011. – 186 с.
18. Наукові основи застосування льону олійного у легкій промисловості: монографія / Т.М. Головенко, Г.А. Бойко, О.В. Пахолук, Л.Г. Бартків, О.В. Шовкомуд – Луцьк: ЛНТУ; Хмельницький: ХНТУ, 2025. – 218 с.
19. 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, p. 28-33.
20. V. Mauerhofer, A. Verhamme, J. Blaizot, T. Garel, T. Kimm, L. Michel-Dansac, J. Rosdahl (2021) UV absorption lines and their potential for tracing the Lyman continuum escape fraction. *Astronomy & Astrophysics*. 646, A80. <https://doi.org/10.1051/0004-6361/202039449>
21. Zimniewska, M. (2005). The effect of natural dyes used for linen fabrics on UV-blocking, *Proceedings of International Conference ArchTex 2005 High Technologies in Textiles*, Krakow, Poland, p. 31–35.
22. Willson, C.A.; Gies, P.H.; Niven, B.E.; McLennan, A. & Bevin, N.K. (2008). The Relationship between UV Transmittance and Colour Visual Description and Instrumental Measurement, *Textile Research Journal*, Vol.78, No.2, p. 128-137.
23. Dubrovski, D.P. & Brezocnik, M. (2009). Prediction of the Ultraviolet Protection of Cotton Woven Fabrics Dyed with Reactive Dyestuffs. *Fibres & Textiles in Eastern Europe*, Vol.17, No.1, p. 55-59.
24. Sabatini, F. (2011). The role of natural dyes in the UV protection of fabrics made of vegetable fibres. *Dyes and Pigments*. *Dyes and Pigments* 91, p. 279-285 <https://doi.org/10.1016/J.DYEPIG.2011.04.006>
25. Arabuli S.I., Vlasenko V.I., Truba A.A., Arabuli A.T. (2022). Protection against harmful UV radiation: practical application of vat dyes for functionalization of cotton fabrics. *Fashion Industry*. No. 3-4. – P. 53-61. DOI 10.30857/2706-5898.2022.3.2
26. Morsümbül S, Akçakoca Kumbasar EP. (2022). Performance characteristics in textile application of photochromic dye capsules. *Tekstil ve Konfeksiyon*, 32(2), 155-161. DOI: 10.32710/tektstilvekonfeksiyon.942566
27. Fernau E, Ilyas S M, Ilyas E N (2023) The Impact of Routine Laundering on Ultraviolet Protection Factor (UPF) Values for Commercially Available Sun-Protective Clothing. *Cureus* 15(7): e42256. DOI 10.7759/cureus.42256
28. Truba. A., Svydlo, O., Arabuli, S., Arabuli, A., & Kovtoniuk, L. (2025). Effect of Multiple Washing on the Optical and Shielding Properties of Cotton Fabrics. *Technologies and Engineering*, (5), 79–89. <https://doi.org/10.30857/2786-5371.2024.5.8>
29. Sena Cimilli Duru, Cevza Candan, Banu Nergis (2024) Effect of Laundering on UV Protection Performance of Umorefil Based Fabrics. *Proceedings of the 19th Romanian Textiles and Leather Conference*. November 7–9, 2024, Iași, Romania DOI: 10.2478/9788367405829-030
30. 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](https://doi.org/10.1007/978-1-4419-8071-7_100036)
31. ISO 139:2005; Textiles – Standard atmospheres for conditioning and testing, 2005
32. EN 13758-1:2002 Textiles. Solar UV protective properties. Method of test for apparel fabrics
33. Standards Australia/New Zealand Standard, AS/NZS 4399:1996, Sun Protective Clothing- Evaluation and Classification, Homebush NSW/Wellington, Standards Australia/Standards New Zealand, 1996.
34. ISO 6330-2021; Textiles – Domestic washing and drying procedures for textile testing, (4) 2021.

#### References

1. Tang, X., Yang, T., Yu, D., Xiong, H., & Zhang, S. (2024). Current insights and 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>
2. Julian, A. K., Ferrer, R. A., & Perna, F. M. (2023). Sun protection behavior: Health impact, prevalence, correlates and interventions. *Psychology & Health*, 38(6), 701–725. <https://doi.org/10.1080/08870446.2022.2146112>
3. World Health Organization. (n.d.). UV radiation and health. [https://www.who.int/uv/uv\\_and\\_health/](https://www.who.int/uv/uv_and_health/)
4. Harrison, S. L., Buettner, P. G., & Nowak, M. J. (2023). Sun-protective clothing worn regularly during early childhood reduces the number of new melanocytic nevi: The North Queensland sun-safe clothing cluster randomized controlled trial. *Cancers*, 15, 1762. <https://doi.org/10.3390/cancers15061762>
5. Hatch, K. L., & Osterwalder, U. (2006). Garments as solar ultraviolet radiation screening materials. *Dermatologic Clinics*, 24, 85–100. <https://doi.org/10.1016/j.det.2005.09.005>
6. Singh, B., Gahlot, M., & Rani, A. (2019). Development of UV protective clothing for college going girls. *International Journal of Current Microbiology and Applied Sciences*, 8(6), 1614–1621. <https://doi.org/10.20546/ijemas.2019.806.194>
7. Lu, J. T., & Ilyas, E. (2022). An overview of ultraviolet-protective clothing. *Cureus*, 14(7), e27333. <https://doi.org/10.7759/cureus.27333>
8. Cole, Y., Ilyas, A. M., & Ilyas, E. N. (2023). Assessment of UV protection for children's summer clothing. *Cureus*, 15(8), e44137. <https://doi.org/10.7759/cureus.44137>
9. Capjack, L., Kerr, N., Davis, S., Fedosejevs, R., Hatch, K. L., & Marckee, N. L. (1994). Protection of humans from ultraviolet radiation through the use of textiles: A review. *Family and Consumer Sciences Research Journal*, 23, 198–218.
10. Román, L. E. (2019). Blocking erythemally weighted UV radiation using cotton fabrics functionalized with ZnO nanoparticles in situ. *Applied Surface Science*, 469, 204–212.

11. Panyatanmaporn, T., Krueenate, J., Aumnate, C., & Sooksomsong, T. (2010). The synthesis of titanium dioxide emulsion as UV blocking. *Advanced Materials Research*, 635–638.
12. Vlasenko, V., Smertenko, P., Berezenko, S., Arabuli, S., & Kucherenko, V. (2017). Synthesis of metals nanoparticles in the porous structure of textiles for UV-shielding. *Vlakna a Textil*, 24(4), 30–33. [http://vat.ft.tul.cz/Archive/VaT\\_2017\\_4.pdf](http://vat.ft.tul.cz/Archive/VaT_2017_4.pdf)
13. Abdelhameed, R. M., El-Shahat, M., Ivanova, E., et al. (2024). Fasten UV-resistant cotton textiles by modification with mixed metal–Ce–MOF. *Fibers and Polymers*, 25, 4651–4663. <https://doi.org/10.1007/s12221-024-00766-3>
14. Alkhatib, F., Al-Ghamdi, S. A., Alatawi, N. M., et al. (2025). Technical viscose textiles treated with Ln-metal organic framework: Photochromic/UV-protective/antimicrobial potentiality. *Fibers and Polymers*, 26, 621–637. <https://doi.org/10.1007/s12221-025-00861-z>
15. Rajput, S. K., Singh, M. K., & Shakyawar, D. B. (2025). Herbal synthesis of silver nanoparticles for improved dyeing and UV protection of cotton fabric. *Textile Research Journal*, 95(15–16), 1988–2002. <https://doi.org/10.1177/00405175241309541>
16. Cei, N., Canesi, I., Nejrrotti, S., Montalbano, G., Darjazi, H., Piovano, A., Bonomo, M., Fina, A., Yecora, B., Perez, A., et al. (2024). A UV-protective textile coating based on recycled poly(vinyl butyral) (PVB): A new life for a waste polymer. *Polymers*, 16, 3439. <https://doi.org/10.3390/polym16233439>
17. Pakholiuk, O. V. (2011). *Tovaroznavchi aspekty formuvannya asortymentu ta yakosti liianykh tkanyn [Commodity aspects of the formation of assortment and quality of linen fabrics]*. Lutsk National Technical University.
18. Holovenko, T. M., Boiko, H. A., Pakholiuk, O. V., Bartkiv, L. H., & Shovkomud, O. V. (2025). *Naukovi osnovy zastosuvannya lonu oliinoho u lehkii promyslovosti [Scientific foundations of the use of oil flax in light industry]*. Lutsk National Technical University; Khmelnytskyi National University.
19. Zimniewska, M. (2001). Linen & hemp fabrics as a natural way of sun protection. In *Proceedings of the 2nd Global Workshop of the FAO European Cooperative Research Network on Flax and Other Bast Plants* (pp. 28–33). Borovets, Bulgaria.
20. Mauerhofer, V., Verhamme, A., Blaizot, J., Garel, T., Kimm, T., Michel-Dansac, L., & Rosdahl, J. (2021). UV absorption lines and their potential for tracing the Lyman continuum escape fraction. *Astronomy & Astrophysics*, 646, A80. <https://doi.org/10.1051/0004-6361/202039449>
21. Zimniewska, M. (2005). The effect of natural dyes used for linen fabrics on UV-blocking. In *Proceedings of the International Conference ArchTex 2005 High Technologies in Textiles* (pp. 31–35). Krakow, Poland.
22. Willson, C. A., Gies, P. H., Niven, B. E., McLennan, A., & Bevin, N. K. (2008). The relationship between UV transmittance and colour visual description and instrumental measurement. *Textile Research Journal*, 78(2), 128–137.
23. Dubrovski, D. P., & Brezocnik, M. (2009). Prediction of the ultraviolet protection of cotton woven fabrics dyed with reactive dyestuffs. *Fibres & Textiles in Eastern Europe*, 17(1), 55–59.
24. Sabatini, F. (2011). The role of natural dyes in the UV protection of fabrics made of vegetable fibres. *Dyes and Pigments*, 91, 279–285. <https://doi.org/10.1016/J.DYEPIG.2011.04.006>
25. Arabuli, S. I., Vlasenko, V. I., Truba, A. A., & Arabuli, A. T. (2022). Protection against harmful UV radiation: Practical application of vat dyes for functionalization of cotton fabrics. *Fashion Industry*, 3–4, 53–61. <https://doi.org/10.30857/2706-5898.2022.3.2>
26. Morsümbül, S., & Akçakoca Kumbasar, E. P. (2022). Performance characteristics in textile application of photochromic dye capsules. *Tekstil ve Konfeksiyon*, 32(2), 155–161. <https://doi.org/10.32710/tektstilvekonfeksiyon.942566>
27. Fernau, E., Ilyas, S. M., & Ilyas, E. N. (2023). The impact of routine laundering on ultraviolet protection factor (UPF) values for commercially available sun-protective clothing. *Cureus*, 15(7), e42256. <https://doi.org/10.7759/cureus.42256>
28. Truba, A., Svydlo, O., Arabuli, S., Arabuli, A., & Kovtoniuk, L. (2025). Effect of multiple washing on the optical and shielding properties of cotton fabrics. *Technologies and Engineering*, 5, 79–89. <https://doi.org/10.30857/2786-5371.2024.5.8>
29. Duru, S. C., Candan, C., & Nergis, B. (2024). Effect of laundering on UV protection performance of Umorfil based fabrics. In *Proceedings of the 19th Romanian Textiles and Leather Conference*. Iași, Romania. <https://doi.org/10.2478/9788367405829-030>
30. Luo, M. R. (Ed.). (2016). *CIE 1976 Lab*. In *Encyclopedia of Color Science and Technology\**. Springer. [https://doi.org/10.1007/978-1-4419-8071-7\\_100036](https://doi.org/10.1007/978-1-4419-8071-7_100036)
31. International Organization for Standardization. (2005). *ISO 139:2005 Textiles-Standard atmospheres for conditioning and testing*. ISO.
32. European Committee for Standardization. (2002). *EN 13758-1:2002 Textiles-Solar UV protective properties-Method of test for apparel fabrics*. CEN.
33. Standards Australia & Standards New Zealand. (1996). *AS/NZS 4399:1996 Sun protective clothing-Evaluation and classification*. Standards Australia/Standards New Zealand.
34. International Organization for Standardization. (2021). *ISO 6330:2021 Textiles-Domestic washing and drying procedures for textile testing*. ISO.

*Дата першого надходження статті до видання: 18.04.2026*

*Дата прийняття статті до друку після рецензування: 11.05.2026*

*Дата публікації (оприлюднення) статті: 26.05.2026*