

<https://doi.org/10.31891/2307-5732-2026-361-40>

УДК 677.11:677.027.56

### БОЙКО ГАЛИНА

Херсонський національний технічний університет

<https://orcid.org/0000-0001-8773-5525>

e-mail: [galina\\_boyko\\_86@ukr.net](mailto:galina_boyko_86@ukr.net)

### РАСТОРГУЄВА МАРІЯ

Херсонський національний технічний університет

<https://orcid.org/0009-0003-2612-508X>

e-mail: [rastorgueva.maryna@kntu.edu.ua](mailto:rastorgueva.maryna@kntu.edu.ua)

### ГІЧ ОЛЬГА

Херсонський національний технічний університет

<https://orcid.org/0000-0002-1107-6743>

e-mail: [gych93@ukr.net](mailto:gych93@ukr.net)

## ДОСЛІДЖЕННЯ RUCO-FLAME SCO ЯК ВОГНЕЗАХИСНОГО КОМПОНЕНТА В ЕКОЛОГІЧНО ОРІЄНТОВАНИХ ТЕХНОЛОГІЯХ ОПОРЯДЖЕННЯ КОНОПЛЯНИХ ТКАНИН

*В роботі наведено результати досліджень фосфорно-азотного антипірену RUCO-FLAME SCO як базового вогнезахисного компонента в екологічно орієнтованих технологіях обробки конопляних тканин, призначених для взуттєвих матеріалів, та запропоновано опоряджувальні склади для надання текстильним матеріалам вогнезахисної обробки.*

**Ключові слова:** вогнезахисна обробка, антипірен, конопляне волокно, текстильні матеріали, спеціальні види обробки.

BOIKO HALINA, RASTORHUEVA MARIYA, HUCH OLHA

Kherson National Technical University

## ADVANCED RESEARCH OF RUCO-FLAME SCO AS A VOGNEZOHIS COMPONENT IN ENVIRONMENTALLY ORIENTED TECHNOLOGIES FOR THE PRODUCTION OF HEMP TISSUE

*This study provides a theoretical substantiation for using the environmentally friendly phosphorus-nitrogen preparation RUCO-FLAME SCO to impart flame retardant properties to cellulose-containing hemp fiber. The relevance of this research is driven by increasing interest in the use of natural fibers and ensuring human life safety, as well as limited literature on the use of modern flame-retardant systems for textile materials made from hemp fibers. In contrast to conventional flame-retardant treatments, which often result in poor adhesion, reduced strength, and environmental restrictions, the use of RUCO-FLAME SCO provides a gentle, technologically compatible, and environmentally safe finishing process. The conducted studies have established that RUCO-FLAME SCO is an effective flame retardant for treating cellulose hemp fabrics for footwear. Finishing fabrics with RUCO-FLAME SCO during vertical combustion tests ensures self-extinguishing of hemp textiles, limiting flame spread, as evidenced by a reduction in char length and the absence of smoldering and afterglow. The flame-retardant effect remains wash-resistant due to the hydrogen and ion-dipole interactions of the flame retardant with the hydroxyl groups of cellulose and physical immobilization in the amorphous zones of the fiber. The addition of  $\beta$ -cyclodextrin and Neoprint PNA/S acrylic aqueous dispersion to the finishing bath further enhances the stability of the flame-retardant effect and improves the physical and mechanical properties of hemp fabric intended for footwear. The obtained results demonstrate the effectiveness of using RUCO-FLAME SCO as a basic flame-retardant component in environmentally oriented technologies for treating hemp fabrics with flame-retardant compounds and confirm the potential for further research aimed at optimizing its fixation mechanisms and increasing the resistance of the finish to physical and chemical influences, which will expand the range of functional hemp materials for special protective footwear.*

**Key words:** flame-retardant finishing, flame-retardant material, hemp fiber, textile materials, special types of finishing.

Стаття надійшла до редакції / Received 14.12.2025

Прийнята до друку / Accepted 11.01.2026

Опубліковано / Published 29.01.2026



This is an Open Access article distributed under the terms of the [Creative Commons CC-BY 4.0](https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/)

© Бойко Галина, Расторгуєва Марія, Гич Ольга

### Постановка проблеми у загальному вигляді та її зв'язок із важливими науковими чи практичними завданнями

Целюлозовмісні волокна, які широко використовуються у виробництві повсякденного, спеціального та захисного одягу, а також текстильних матеріалів для взуття, характеризуються високою схильністю до займання та інтенсивного поширення полум'я, що становить суттєву загрозу для життя і здоров'я людини та навколишнього середовища при дії підвищених температур або відкритого полум'я. З метою мінімізації цих ризиків активно розробляються та впроваджуються вогнезахисні композиції для опорядження текстильних матеріалів, застосування яких дозволяє підвищити рівень пожежної безпеки та експлуатаційну довговічність текстильних виробів [1–3].

Пожежі є однією з основних причин термічних уражень, що становлять значну професійну небезпеку у багатьох галузях промисловості, а в умовах військової агресії та надзвичайних ситуацій, не лише у зоні бойових дій, але й у цивільному середовищі. Текстильні вироби часто виступають основним вектором поширення полум'я, що зумовлено їхньою низькою температурою займання та високою швидкістю горіння. Для зменшення інтенсивності полум'я, швидкості тепловиділення та площі поширення пожежі текстильні матеріали піддають обробці антипіренами.

Традиційні системи вогнезахисту текстилю включають галогеновмісні сполуки, фосфоровмісні

добавки та солі амонію, механізм дії яких полягає у ініціюванні утворення вуглецевого коксу, виділенні інертних газів або інгібуванні радикальних ланцюгових реакцій горіння у газовій фазі [4]. Вогнезахисні текстильні матеріали повинні забезпечувати максимальне зниження швидкості нагрівання поверхні та тепловиділення, зберігаючи при цьому механічну цілісність і міцність тканини протягом заданого часу експлуатації. Найбільш поширеними є фосфоровмісні препарати промислового призначення, зокрема Pyrovatex CP, Pyrovatex CPN та технологія PROBAN®. Незважаючи на їх високу ефективність, зазначені системи викликають занепокоєння через потенційний негативний вплив на довкілля та здоров'я людини, зумовлений токсичністю, екологічною персистентністю та можливістю утворення небезпечних побічних продуктів у процесах термічного розкладання або горіння [5].

У зв'язку з цим спостерігається стійка тенденція до розробки альтернативних стратегій вогнезахисту, орієнтованих на використання нетоксичних, безгалогенних, безформальдегідних екологічно безпечних сполук, які відповідають принципам сталого розвитку, циркулярної економіки та сучасним нормативним вимогам до безпеки матеріалів [6-8].

Таким чином, актуальною науково-технічною проблемою є створення формальдегідвільних, екологічно безпечних і довговічних вогнезахисних систем для целюлозних тканин, стійких до прання та термічного навантаження. У цьому контексті технологія RUCO-FLAME SCO являє собою фосфорно-азотну безгалогенну систему, спеціально розроблену для целюлозних субстратів, яка забезпечує ефективний вогнезахист без використання формальдегіду та важких металів. Механізм її дії ґрунтується на формуванні термічно стабільного фосфоровмісного шару, що каталізує дегідратацію целюлози та сприяє утворенню захисного вуглецевого залишку, який ізолює матеріал від доступу кисню та тепла. Завдяки цьому RUCO-FLAME SCO може розглядатися як перспективне екологічно орієнтоване рішення для технічного та спеціального текстилю. Однак, попри зростаючу промислову зацікавленість у застосуванні таких систем, систематичні наукові дослідження їх впливу на фізико-механічні, термічні та експлуатаційні властивості целюлозних текстильних матеріалів наразі залишаються обмеженими, що зумовлює актуальність подальших досліджень у цьому напрямку.

#### Аналіз досліджень та публікацій

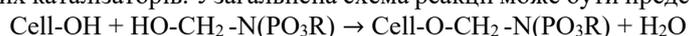
Сучасний побут та промисловість характеризується зростанням вимог до пожежної безпеки текстильних матеріалів поряд із необхідністю збереження їх експлуатаційних та гігієнічних властивостей. Не менш актуальною є проблема підвищення вогнестійкості целюлозних тканин, що використовуються у взуттєвих конструкціях (верх, підкладка, внутрішні шари), оскільки такі матеріали поєднують високу повітропроникність, а значить і підвищену горючість. Натуральні волокна, зокрема із коноплі, привертають увагу завдяки своїй екологічності, біорозкладності, міцності, довговічності та низькому впливу на навколишнє середовище, є перспективними для розробки екологічно чистих текстильних композитних матеріалів [9]. Разом з тим, як і інші целюлозні волокна, волокна із коноплі характеризуються високою займистістю, що суттєво обмежує її застосування у виробі, які підлягають вимогам пожежної безпеки.

Матеріали, що використовуються для взуття, особливо призначеного для професійного, робітничо-захисного або громадського застосування, повинні відповідати вимогам із займистості, встановленим стандартом ДСТУ EN ISO 20344:2016 [10]. Відповідно до цього стандарту, матеріали взуттєвих компонентів повинні демонструвати обмежене поширення полум'я та не підтримувати горіння після видалення із джерела займання. Відомо, що необроблені целюлозні текстильні матеріали не задовольняють цим вимогам, що зумовлює необхідність застосування вогнезахисної обробки. Існуючі на сьогодні промислові вогнезахисні обробки для текстилю, зокрема фосфоровмісні, забезпечують ефективне інгібування горіння целюлози, проте в більшості випадків характеризуються недостатньою стійкістю до прання та фізико-механічних впливів. Вимивання активних компонентів призводить до зниження вогнезахисного ефекту, що обмежує використання таких обробок у виробі тривалого користування, зокрема у взутті.

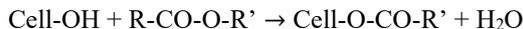
Оскільки використання таких матеріалів стає все більш популярним, зменшення їх займистості має високе значення. Вогнезахисні добавки широко використовуються для підвищення термічної стабільності натуральних волокон, у тому числі волокон конопель. Дослідження показали, що іноді хімічна обробка натуральних волокон може призвести і до підвищення займистості, оскільки зменшення вмісту аморфних частинок у волокні призводить збільшення кількості левоглюкозану [11]. Натуральні волокна розпадаються за досить високої температури, утворюючи горючі та негорючі гази, смоли та коксовий залишок. Реакція композиту на вогонь залежить від типу волокна, що використовується як армуючий матеріал [12]. Додавання антипіренів повинно запобігти або сповільнити появу полум'я та знизити швидкість розповсюдження вогню у текстильному виробі.

Передача тепла і кисню може бути зменшена за рахунок формування на поверхні текстильного матеріалу шару обвуглювання у процесі горіння вогнестійкого текстилю. Незаймісті гази, що утворюються в ході процесу, такі як  $H_2O$  і  $CO_2$ , сприяють зниженню концентрації займих газів і мінімізації поглинання теплової енергії. Негорючі гази можуть протистояти полум'ю, функціонуючи одночасно в конденсованій та газоподібній фазах у процесі горіння [13].

В оброблених препаратом Pyrovatex CP тканинах вогнезахисний ефект досягається за рахунок ковалентного зв'язування N-метилфосфоноамідних груп з гідроксильними групами целюлози за участю меламінових смол та кислотних каталізаторів. Узагальнена схема реакції може бути представлена таким чином:



В результаті формується хімічно закріпленний фосфоровмісний фрагмент, стійкий до гідролізу та вимивання. Це зумовлює високі значення кисневого індексу (28-30%) та довговічність вогнезахисних властивостей до 50-75 циклів прання. Однак наявність метилольних груп призводить до утворення вільного формальдегіду на стадіях сушіння та фіксації, що є основним недоліком обробки. У модифікованому препараті Ругоvateх CPN фіксація здійснюється переважно через утворення ефірних містків між целюлозою, фосфоровмісним агентом і зшиваючим агентом:



Це покращує вогнезахисні властивості, але супроводжується падінням розривної міцності.

Препарат PROBАН® базується на газофазній аміачній полімеризації фосфонієвих сполук усередині волокна. Після просочення та попереднього сушіння тканина піддається обробці аміаком, в результаті чого відбувається поліконденсація з утворенням нерозчинного фосфор-азотного полімеру. Подальша стадія окиснення стабілізує структуру полімеру. Сформована всередині волокна структура фосфору практично не схильна до гідролізу, що пояснює високу стійкість до прання (>100 циклів) і значення кисневого індексу, що перевищує 30%. Вогнезахисний механізм PROBАН® комбінує інтенсивне вуглеутворення в конденсованій фазі та придушення полум'я за рахунок фосфорних радикалів, що дозволяє використовувати цю технологію навіть для дугостійкого спецодягу.

RUCO-FLAME SCO екологічно орієнтований препарат для обробки інтер'єрних і технічних целюлозовміщуючих тканин із середніми вимогами стійкості до мокрих обробок. Він є безгалогенним фосфорно-азотним препаратом і характеризується відсутністю у своєму складі формальдегіду та важких металів. Вогнезахисний ефект досягається за рахунок формування термічно стабільного шару, що містить фосфор, що сприяє дегідратації целюлози і утворенню захисного вуглисто залишку. Фіксація препарат не вимагає високих температур, що мінімізує термічне пошкодження волокна, а також характеризується хорошою стійкістю до прання (30-50 циклів).

#### Формулювання цілей статті

Враховуючи, що RUCO-FLAME SCO відноситься до екологічно орієнтованих препаратів і може реалізувати фосфорно-азотну безгалогенну і безформальдегідну технологію, **метою цієї роботи** є оцінка можливості застосування RUCO-FLAME SCO для вогнезахисної обробки взуттєвих тканин на основі волокон конопель. Отримані результати будуть спрямовані на формування науково обґрунтованих рекомендацій щодо розробки технології вогнезахисної обробки для текстильних матеріалів, що використовуються для взуття.

#### Викладення основного матеріалу

**Об'єктом дослідження** є експериментальна конопляна тканина взуттєвого призначення з поверхневою щільністю 428 г/м<sup>2</sup>.

**Предметом дослідження** є вогнезахисні властивості та стійкість до прання конопляної тканини після обробки фосфорно-азотним антипіреном RUCO-FLAME SCO.

В роботі використовували експериментально розроблені зразки тканини для виготовлення текстильного взуття. До структури розроблених зразків тканого полотна з переплетенням саржа-ламана 2/2 входили: за основою бавовняна пряжа 20 текс; за підканням конопляно-поліестерова пряжа 160 текс.

Таблиця 1

#### Вихідні фізико-механічні властивості експериментальної конопляної тканини для взуття

Вид переплетення та рапорт	Розривне навантаження, Н	Подовження на момент розривання, %	Стійкість до стирання, цикли	Поверхнева густина г/м <sup>2</sup>	Гігроскопічність, %	Водонепроникність, мм вод. ст./с
Ламана саржа 2/2						
- основа	859	15,9	15840	428	15,6	1010
-підкання	878	17,2				

За фізико-механічними показниками тканина відповідає вимогам для виготовлення взуття, так як має високе розривне навантаження, стійкість до стирання, характеризується щільною поверхневою густиною та має високу гігроскопічність [14]. Щільне ткане полотно з високою поверхневою густиною характеризується більшим опором до тертя (показник число циклів стирання -15840) та зношування, що подовжуватиме термін служби взуттєвого виробу. Органоліптичні показники розробленої тканини наведені у таблиці 2.

Таблиця 2

#### Органоліптичні показники конопляного бавовняного текстильного матеріалу

Вид переплетення	Колір та відтінок	Блиск	Текстура	Орнамент	Туше	Пластичність
Ламана саржа 2/2	Світло бежевий з кремовим відтінком	Помірний, ледь відчутний	Фактурно-структурна, міцна, за рахунок яскраво вираженого переплетення	Виразений зигзагоподібний орнамент, без малюнку	Помірно м'яка, злегка відчувається жорсткість, тепла	Практично не розтягується

Досліджуваний конопляно-бавовняний текстильний матеріал (табл. 2) із переплетенням ламана саржа 2/2 характеризується комплексом органолептичних властивостей, обумовлених як волокнистим складом, так і структурно-технологічними особливостями переплетення.

Матеріал має світло-бежевий колір із кремовим відтінком, що є типовим для натуральних целюлозовмісних волокон та свідчить про мінімальний ступінь хімічного модифікування або вибілювання. Такий колір позитивно сприймається споживачами, асоціюється з екологічністю та натуральністю матеріалу, що є важливим чинником для виробів побутового і спеціального призначення.

Блиск матеріалу помірний, ледь помітний, що пояснюється поєднанням матової поверхні конопляних волокон і більш гладкої структури бавовни, а також характером саржевого переплетення. Відсутність інтенсивного блиску знижує візуальне підкреслення нерівностей поверхні та сприяє формуванню стриманого зовнішнього вигляду, придатного для виготовлення виробів функціонального та захисного призначення.

Текстура тканини є фактурно-структурною та щільною, що зумовлено чітко вираженим малюнком ламаної саржі 2/2. Зигзагоподібна будова переплетення формує рельєфну поверхню, підвищує формостійкість матеріалу та сприяє рівномірному розподілу механічних навантажень під час експлуатації. Виражений зигзагоподібний орнамент, характерний для ламаної саржі, виконує не лише декоративну, а й конструктивну функцію, покращуючи зносостійкість тканини, що є важливим фактором для виробництва взуття.

За показником туше матеріал оцінюється як помірно м'який, однак із незначним відчуттям жорсткості, що характерно для конопляних волокон із підвищеним модулем пружності. Водночас тканина сприймається як тепла на дотик, що можна пояснити порівняно високою товщиною ниток та наявністю повітряних прошарків у структурі саржевого переплетення.

Пластичність матеріалу обмежена: тканина майже не розтягується, що вказує на її високу формо- та розміростійкість. Ця властивість є перевагою для виробів, які повинні зберігати геометричну стабільність під дією навантажень і багаторазових деформацій, зокрема для верху взуття.

У цілому сукупність органолептичних показників свідчить про доцільність використання даного конопляно-бавовняного текстильного матеріалу для виробів функціонального призначення, де важливими є натуральність, зносостійкість, формостійкість та комфортні тактильні властивості при тривалій експлуатації.

З метою просочення вогнезахисними складами для розробленої тканини попередньо проводили стадію підготовки, що складалася із процесів відварювання та промивання для видалення апретів, домішок та забруднення. Залишкову лужність контролювали до значення, не більше 0,5 %. Перед обробкою зразки кондиціонували за температури  $(20 \pm 2)$  °C та відносної вологості  $(65 \pm 5)$  % протягом 24 год.

Вогнезахисну обробку тканини здійснювали за традиційним методом, що наближений до виробничих умов: просочення – сушіння – термофіксація. Склад робочого розчину, що пропонувався для вогнезахисної обробки целюлозних тканин виробником та адаптованого до тканин взуттєвого асортименту із коноплі наведено в таблиці 3.

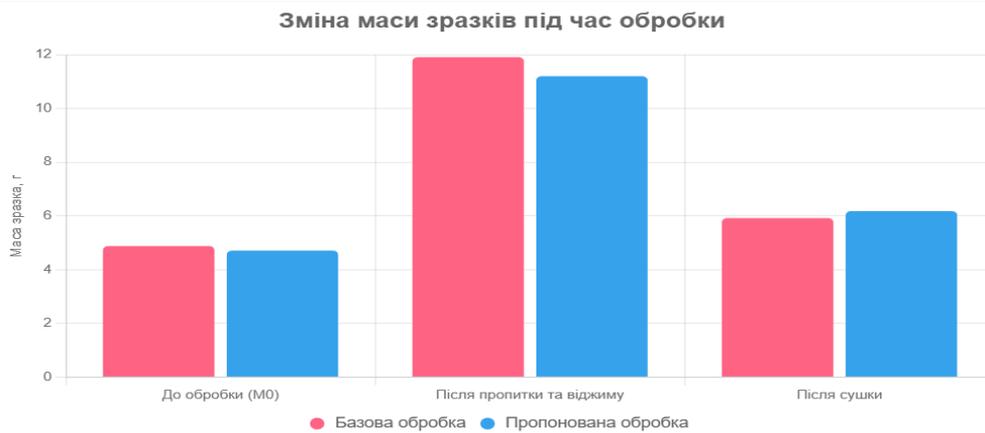
Таблиця 3

Склад вогнезахисного опоряджувального розчину

	Склад опоряджувального розчину	г/л	
		базовий	пропонований
1.	RUCO-FLAME SCO	250	250
2.	$\beta$ -циклодекстрин	-	20
3.	Neoprint PNA/S	-	30
4.	Змочувач	1,5	1,5
5.	Регулятор кислотності	до рН 4,5-5,5	до рН 4,5-5,5
6.	Вода	до 1000	до 1000

Для посилення утворення водневих зв'язків з целюлозою та компонентами антипірену до опоряджувального складу вводили  $\beta$ -циклодекстрин, який попередньо розчиняли у воді і витримували разом із RUCO-FLAME SCO протягом 30 хвилин при постійному помішуванні за температури 55°C - 60°C. Далі, після охолодження розчину, до нього вводили Neoprint PNA/S з метою формування полімерної матриці, що сприяє додатковому фізичному утриманні активних компонентів у структурі тканини, змочувач - для покращення сорбції компонентів складу та карбонову кислоту для підвищення фіксації із ОН-групами целюлози і регулювання рН опоряджувального розчину.

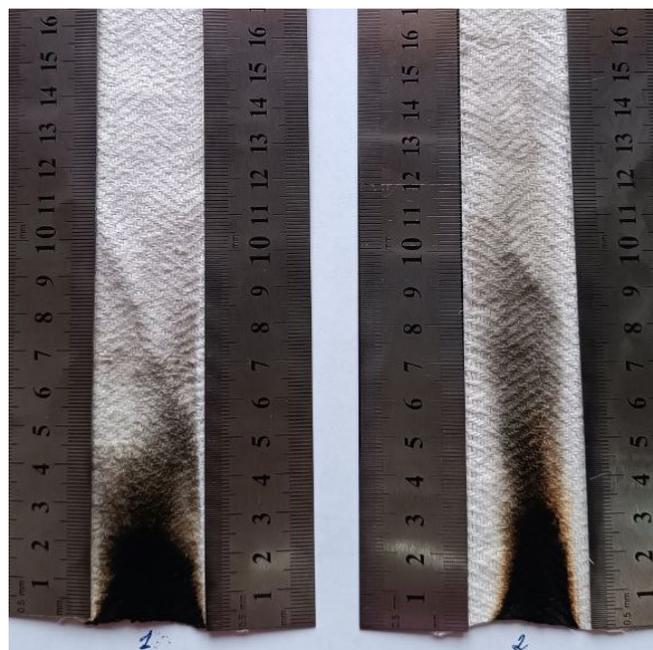
Просочені текстильні матеріали віджимали на лабораторному каландрі до залишкової вологості  $90 \pm 2\%$ . Сушіння тканини після просочення проводили у сушильній шафі за температури 80 °C, термофіксацію за температури 150°C протягом 3 хв. Після обробки зразки охолоджували до кімнатної температури та кондиціонували протягом 24 год. На рис.1 наведена порівняльна діаграма зміни мас зразків для базової та пропонованої обробки.



**Рис. 1.** Зміна мас базової та пропонованої обробки конопляного текстильного матеріалу

Як видно із діаграми, базова обробка має вищу сорбцію розчину, а саме 144% проти 138% для пропонованої обробки, але пропонована обробка дає значно вищий сухий залишок на обробленому текстильному матеріалі, а саме, на 31% вище, тоді як сухий залишок базового зразка складає 21%, тобто на тканині фіксується більше вогнезахисного складу.

Далі зразки тканини випробовували на вертикальне горіння. Зразок тканини вносили до полум'я та витримували протягом 30 секунд. Після винесення з полум'я та спостерігали за зразком. На фото рис. 2 показані зразки конопляного текстильного матеріалу, обробленого базовим та пропонованим вогнезахисним складом після випробування на вертикальне горіння.



**Рис. 2.** Дослідження тканини із конопляного волокна на вогнестійкість після вогнезахисної обробки.  
1- базовий склад; 2- пропонований склад

Як видно з фото на рис. 2 максимальна зона ураження зразків в обох випадках не перевищує 5 см. Зразок з базовим складом характеризується формуванням подовженої зони обвуглення в нижній частині тканини. Межа обвуглення є нерівномірною, з поступовим переходом до частково пошкодженої структури волокна. Зразок з пропованою обробкою демонструє компактну та чітко окреслену зону обвуглення. Верхня частина зразка зберігає структурну цілісність без ознак вторинного поширення горіння. Зразок тканини з пропонованим складом має меншу площу поширення полум'я, що можна пояснити прискореною карбонізацією поверхні тканини за рахунок обвуглювання  $\beta$ -циклодекстрину та акрилового полімеру. Для обох зразків можна відмітити рівну межу обвуглення та відсутність тління після зняття полум'я, що свідчать про ефективне самозатухання та покращену фіксацію вогнезахисної системи в структурі конопляного волокна. Післязв'ичіння у обох зразків також відсутнє. Що стосується утворення диму, можна відмітити наступне: при горінні базового зразка тканини спостерігалось посилене утворення диму чорного кольору; під час горіння тканини із пропонованого складу диму було значно менше, який мав біло-сіре забарвлення та не мав, практично, запаху.

Механізм вогнезахисної дії, який проявляє препарат RUCO-FLAME SCO, імовірно, можна представити наступним чином. Процес вогнезахисту тканини відбувається переважно в конденсованій фазі за рахунок

синергетичної взаємодії фосфор-і азотовмісних компонентів. Під час термічної дії вогню фосфорні групи розкладаються з утворенням фосфорних кислот, що каталізують дегідратацію целюлози та сприяють прискореному формуванню карбонізованого захисного шару. Утворений шар виступає фізичним бар'єром, що погіршує теплоперенос до текстильного матеріалу та обмежує вихід летючих горючих продуктів піролізу. Азотовмісні компоненти, що наявні в цьому препараті, додатково виконують газофазну функцію, вивільняючи негорючі гази  $\text{NH}_3$ ,  $\text{N}_2$ , які розбавляють полум'я та знижують концентрацію кисню у зоні горіння.

Результати випробування фізико-механічних властивостей та стійкості до прання зразків конопляної тканини, без обробки вогнезахисними складами та з обробкою на основі RUCO-FLAME SCO, та RUCO-FLAME SCO  $\beta$ -циклодекстрину та акрилової водної дисперсії Neoprint PNA/S наведені у таблиці 4. Перед проведенням випробувань зразки кондиціонували в стандартних умовах за температури  $(20 \pm 2)^\circ\text{C}$  та відносної вологості  $(65 \pm 5)\%$  протягом 24 год. Розмір зразків становив  $(200 \times 200)$  мм.

Так як випробування на стійкість до прання не є обов'язковою вимогою за стандартами до взуття, не регламентовано фіксованих циклів прання чи тестів на збереження властивостей після прання, в роботі застосовували методику, аналогічну до методу багаторазових циклів прання текстильних матеріалів при  $40^\circ\text{C}$  протягом 30 хвилин, відповідно ДСТУ EN ISO 105-C06:2022. Оцінка вогнестійкості та фізико-механічних характеристик оброблених вогнезахисним опоряджувальним складом текстильних матеріалів представлені у табл. 4. Для порівняння наведені показники необробленої тканини.

Таблиця 4

**Показники властивостей опорядженого вогнезахисними складами конопляного полотна**

№	Найменування показника, од.виміру	Нормативний метод/Метод випробування	Значення показника необробленої тканини	Обробка базовим складом	Обробка пропонованим складом
1.	Розривне навантаження, смужки розміром 50 x 200 мм, Н: основа підкляння	ДСТУ EN ISO 13934-1:2018 [15]	859 878	849 870	919 939
2.	Подовження під час розриву: % основа підкляння	ДСТУ EN ISO 13934-1:2018 [15]	15,9 17,2	14,3 16,9	16,1 17,5
3.	Гігроскопічність, %	ДСТУ ГОСТ 3816:2009 [16]	15,6	15,2	14,8
4.	Стійкість до стирання, цикли	ДСТУ ISO 12947-2:2005 [17]	15840	15421	17424
5.	Вогнестійкість, висота обугленої ділянки, мм	Метод вертикального горіння (ДСТУ EN ISO 15025:2016) [18]	зразок згорів	50	50
6.	Стійкість до прання, циклів	ДСТУ ISO 6330-2001 [19]; ДСТУ ISO 105-C06:2009 [20]	-	12	17

Отже, виходячи із показників таблиці 4 з якості обробок можна зробити висновок, що тканина, оброблена базовим зразком у незначному ступені втрачала фізико-механічні показники, в той час, тканина, яка вмішувала додаткові компоненти, такі, як  $\beta$ -циклодекстрин та акриловий полімер підвищили стійкість вогнезахисної обробки до прання та фізико-механічні властивості, що пояснюється утворенням фізичної сітки зчеплень із целюлозним волокном. На відміну від систем з ковалентною фіксацією, RUCO-FLAME SCO не формує жорстко зшиту структуру з целюлозою. Це пояснює мінімальний негативний вплив на механічні властивості та гриф тканини, що необхідно для взуттєвих текстильних матеріалів, де важливими є гнучкість та комфорт. Додатковим ефектом від введення до тканини полімерного зв'язуючого є органолептичне відчуття наповненості тканини, набуття формостійкості, та дозволяє отримувати тканину, менш схильну до забруднень, що має значення у процесі пошиття взуття та під час його експлуатації.

**Висновки з даного дослідження**

**і перспективи подальших розвідок у даному напрямі**

За результатами комплексу експериментальних досліджень встановлено, що фосфорно-азотний антипірен RUCO-FLAME SCO є ефективним вогнезахисним агентом для опорядження конопляних целюлозовмісних тканин взуттєвого призначення. Обробка зазначеним препаратом забезпечує надання матеріалу властивостей самозатухання відповідно до показників випробувань на вертикальне горіння, що проявляється в істотному обмеженні поширення полум'я по поверхні тканини, зменшенні довжини обугленої ділянки, а також у повній відсутності післясвічення та тління після усунення джерела полум'я.

Показано, що вогнезахисний ефект антипірену RUCO-FLAME SCO зберігається після прання, що свідчить про його стійкість до гідротермічних навантажень. Це зумовлено сукупністю фізико-хімічних механізмів фіксації, а саме: утворенням водневих та іонно-дипольних взаємодій між функціональними групами антипірену та гідроксильними групами целюлози, а також фізичною іммобілізацією молекул антипірену в аморфних ділянках целюлозного конопляного волокна, що ускладнює їх вимивання під час експлуатації.

Встановлено, що введення до складу опоряджувальної ванни  $\beta$ -циклодекстрину та акрилової водної дисперсії Neoprint PNA/S сприяє додатковому підвищенню стабільності вогнезахисного ефекту до мокрих обробок та одночасному покращенню фізико-механічних показників тканини. Зокрема, комплексна дія зазначених компонентів забезпечує підвищення міцності та формостійкості матеріалу без суттєвого погіршення його тактильних характеристик, що є критично важливим для текстильних матеріалів вжиттєвого призначення.

Отримані результати підтверджують доцільність використання препарату RUCO-FLAME SCO як базового вогнезахисного компонента в екологічно орієнтованих, формальдегідвільних технологіях опорядження конопляних тканин, призначених для виготовлення функціонального та спеціального захисного взуття.

Перспективним напрямом подальших досліджень є оптимізація умов фіксації антипірену з урахуванням мікроструктури волокна та режимів експлуатаційного навантаження, а також адаптація вогнезахисних обробок до вимог чинних стандартів вжиттєвої промисловості, із диференціацією властивостей матеріалів залежно від функціональних зон взуття (верх, підкладка, зона згину). Реалізація цього підходу дозволить розширити номенклатуру конкурентоспроможних конопляних текстильних матеріалів із підвищеним рівнем пожежної безпеки та експлуатаційної надійності.

### Література

1. Zhang X., Huang G., Wang G. Preparation of phosphorus/hollow silica microsphere modified polyacrylonitrile-based carbon fiber composites and their thermal insulation and flame retardant properties. *Processes*. 2024. Т. 12, № 11. С. 2489. URL: <https://doi.org/10.3390/pr12112489> (дата звернення: 06.11.2025).
2. Functionalization of cellulosic fibers with a kaolinite-TiO<sub>2</sub> nano-hybrid composite via a solvothermal process for flame retardant applications / C. R. S. de Oliveira та ін. *Carbohydrate Polymers*. 2021. Т. 266. С. 118108. URL: <https://doi.org/10.1016/j.carbpol.2021.118108> (дата звернення: 06.11.2025).
3. Cotton fabric finishing based on phosphate/clay mineral by direct-coating technique and its influence on the thermal stability of the fibers / C. R. S. de Oliveira та ін. *Progress in Organic Coatings*. 2021. Т. 150. С. 105949. URL: <https://doi.org/10.1016/j.porgcoat.2020.105949> (дата звернення: 06.11.2025).
4. Haase J. Flame resistant clothing standards and regulations. *Handbook of Fire Resistant Textiles*. 2013. С. 364–414. URL: <https://doi.org/10.1533/9780857098931.3.364> (дата звернення: 07.11.2025).
5. Hirschler M. M. Safety, health and environmental aspects of flame retardants. *Handbook of Fire Resistant Textiles*. 2013. С. 108–173. URL: <https://doi.org/10.1533/9780857098931.1.108> (дата звернення: 07.11.2025).
6. Bio-Based flame retardant for cotton fabric prepared from eggshell microparticles, phytic acid, and chitosan: an eco-friendly approach for dry use / R. F. d. S. Baraldi та ін. *Processes*. 2025. Т. 13, № 9. С. 2690. URL: <https://doi.org/10.3390/pr13092690> (дата звернення: 06.11.2025).
7. A bio-based flame retardant coating for improving flame retardancy and anti-dripping performance of polyamide 6 fabric / W.-J. Jin та ін. *Polymer Degradation and Stability*. 2022. Т. 203. С. 110087. URL: <https://doi.org/10.1016/j.polymdegradstab.2022.110087> (дата звернення: 06.11.2025).
8. Effect of phytic acid addition on structural characteristics of acrylic polymer film / I. Horokhov та ін. *Vlákna a textil*. 2021. Т. 28, № 4. С. 31–35. URL: [http://vat.ft.tul.cz/2021/4/VaT\\_2021\\_4\\_5.pdf](http://vat.ft.tul.cz/2021/4/VaT_2021_4_5.pdf).
9. Azam F., Ahmad S. Fibers for agrotextiles. In: *Agrotextiles*. 2020. P. 151–168.
10. ДСТУ EN ISO 20344:2016. Засоби індивідуального захисту. Методи випробування взуття. На заміну ДСТУ EN ISO 20344:2009 ; чинний від 2017-10-01. Вид. офіц. Київ : ДП «УкрНДНЦ», 2016. 68 с.
11. Bhattacharyya D., Subasinghe A., Kim N.K. *Natural Fibres: Their Composites Properties and Flammability Characteristics*. Elsevier. Amsterdam, 2015. ISBN 978-0-323-26503-4.
12. Durante M. Creep behavior of polylactic acid reinforced with woven hemp fabric / M. Durante, A. Formisano, L. Voccacussio, A. Langella, L. Carrino // *Composites Part B: Engineering*. - 2017. - Volume 124. - P. 16–22. DOI: 10.1016/j.compositesb.2017.05.029.
13. Islam M.S., van de Ven T.G.M. Cotton-based textiles with flame-retardant properties: a review / M.S. Islam, T.G.M. van de Ven // *Bioresources*. - 2021. - Volume 16. - No. 2. - P. 4354–4381.
14. Бойко Г.А. Формування якості взуття з використанням модифікованого конопляного волокна : дис. д-ра техн. наук : 05.18.08 – товарознавство непродовольчих товарів. Київ : Державний торговельно-економічний університет, 2025. (*Рукопис*).
15. ДСТУ EN ISO 13934-1:2018. Текстиль. Розривні властивості тканин. Частина 1. Визначення максимального зусилля та видовження за максимального зусилля методом прямокутного шматка (EN ISO 13934-1:2013, IDT; ISO 13934-1:2013, IDT). Чинний від 2018-07-20. Вид. офіц. Київ : ДП «УкрНДНЦ», 2018.
16. ДСТУ ГОСТ 3816:2009. Полотна текстильні. Методи визначення гігроскопічних і водовідштовхувальних властивостей (ИСО 811-81). На заміну ГОСТ 3816-81 ; чинний від 2009-12-01. Вид. офіц. Київ : ДП «УкрНДНЦ», 2009.
17. ДСТУ ISO 12947-2:2005. Матеріали текстильні. Визначення опору стиранню методом Мартиндаля.

Частина 2. Визначення зруйнованості зразка (ISO 12947-2:1998, IDT). Чинний від 2024-01-25. Вид. офіц. Київ : ДП «УкрНДНЦ», 2005. 13 с.

18. ДСТУ EN ISO 15025:2016. Одяг захисний. Захист від тепла та полум'я. Метод випробування на обмежене поширення полум'я (EN ISO 15025:2002, IDT; ISO 15025:2000, IDT). На заміну ДСТУ EN 532-2001 ; чинний від 2017-10-01. Вид. офіц. Київ : ДП «УкрНДНЦ», 2016. 18 с.

19. ДСТУ ISO 6330-2001/ГОСТ ИСО 6330-2002. Текстиль. Методи домашнього прання та сушіння для випробування текстильних матеріалів (ISO 6330:1984, IDT, ГОСТ ИСО 6330-2002, IDT). Чинний від 2003-07-01. Вид. офіц. Київ : ДП «УкрНДНЦ», 2002. 12 с.

20. ДСТУ ISO 105-S06:2009. Матеріали текстильні. Визначення тривкості фарбування. Частина S06. Метод визначення тривкості фарбування до прання в домашніх умовах і пральнях (ISO 105-S06:1994, IDT). Чинний від 2011-01-01. Вид. офіц. Київ : ВАТ «УкрНДІП», 2009. 10 с.

## References

1. Zhang X., Huang G., Wang G. Preparation of phosphorus/hollow silica microsphere modified polyacrylonitrile-based carbon fiber composites and their thermal insulation and flame retardant properties. *Processes*. 2024. Vol. 12, no. 11. P. 2489. URL: <https://doi.org/10.3390/pr12112489> (date of access: 06.11.2025).
2. Functionalization of cellulosic fibers with a kaolinite-TiO<sub>2</sub> nano-hybrid composite via a solvothermal process for flame retardant applications / C. R. S. de Oliveira et al. *Carbohydrate Polymers*. 2021. Vol. 266. P. 118108. URL: <https://doi.org/10.1016/j.carbpol.2021.118108> (date of access: 06.11.2025).
3. Cotton fabric finishing based on phosphate/clay mineral by direct-coating technique and its influence on the thermal stability of the fibers / C. R. S. de Oliveira et al. *Progress in Organic Coatings*. 2021. Vol. 150. P. 105949. URL: <https://doi.org/10.1016/j.porgcoat.2020.105949> (date of access: 06.11.2025).
4. Haase J. Flame resistant clothing standards and regulations. *Handbook of Fire Resistant Textiles*. 2013. P. 364–414. URL: <https://doi.org/10.1533/9780857098931.3.364> (date of access: 07.11.2025).
5. Hirschler M. M. Safety, health and environmental aspects of flame retardants. *Handbook of Fire Resistant Textiles*. 2013. P. 108–173. URL: <https://doi.org/10.1533/9780857098931.1.108> (date of access: 07.11.2025).
6. Bio-Based flame retardant for cotton fabric prepared from eggshell microparticles, phytic acid, and chitosan: an eco-friendly approach for dry use / R. F. d. S. Baraldi et al. *Processes*. 2025. Vol. 13, no. 9. P. 2690. URL: <https://doi.org/10.3390/pr13092690> (date of access: 06.11.2025).
7. A bio-based flame retardant coating for improving flame retardancy and anti-dripping performance of polyamide 6 fabric / W.-J. Jin et al. *Polymer Degradation and Stability*. 2022. Vol. 203. P. 110087. URL: <https://doi.org/10.1016/j.polymdegradstab.2022.110087> (date of access: 06.11.2025).
8. Effect of phytic acid addition on structural characteristics of acrylic polymer film / I. Horokhov et al. *Vlákna a textil*. 2021. Vol. 28, no. 4. P. 31–35. URL: [http://vat.ft.tul.cz/2021/4/VaT\\_2021\\_4\\_5.pdf](http://vat.ft.tul.cz/2021/4/VaT_2021_4_5.pdf).
9. Azam F., Ahmad S. Fibers for agrotexiles. In: *Agrotexiles*. 2020. P. 151–168.
10. DSTU EN ISO 20344:2016. Zasoby individualnoho zakhystu. Metody vyprobuvannia vzuttia. Na zaminu DSTU EN ISO 20344:2009 ; chynnyi vid 2017-10-01. Vyd. ofits. Kyiv : DP «UkrNDNTs», 2016. 68 s.
11. Bhattacharyya D., Subasinghe A., Kim N.K. Natural Fibres: Their Composites Properties and Flammability Characteristics. Elsevier. Amsterdam, 2015. ISBN 978-0-323-26503-4.
12. Durante M. Creep behavior of polylactic acid reinforced with woven hemp fabric / M. Durante, A. Formisano, L. Boccacussio, A. Langella, L. Carrino // *Composites Part B: Engineering*. - 2017. - Volume 124. - P. 16–22. DOI: 10.1016/j.compositesb.2017.05.029.
13. Islam M.S., van de Ven T.G.M. Cotton-based textiles with flame-retardant properties: a review / M.S. Islam, T.G.M. van de Ven // *Bioresources*. - 2021. - Volume 16. - No. 2. - P. 4354–4381.
14. Boiko H.A. Formuvannia yakosti vzuttia z vykorystanniam modyfikovanoho konoplianoho volokna : dys. d-ra tekh. nauk : 05.18.08 – tovaroznavstvo neprodovolchych tovariv. Kyiv : Derzhavnyi torhovelno-ekonomichnyi universytet, 2025. (Rukopys).
15. ДСТУ EN ISO 13934-1:2018. Текстиль. Розривні властивості тканин. Частина 1. Визначення максимального зусилля та видовження за максимального зусилля методом прямокутного шматка (EN ISO 13934-1:2013, IDT; ISO 13934-1:2013, IDT). Чинний від 2018-07-20. Вид. офіц. Київ : ДП «УкрНДНЦ», 2018.
16. DSTU HOST 3816:2009. Polotna tekstylni. Metody vyznachennia hihsroskopichnykh i vodovidstovkhuvalnykh vlastyvostei (YSO 811-81). Na zaminu HOST 3816-81 ; chynnyi vid 2009-12-01. Vyd. ofits. Kyiv : DP «UkrNDNTs», 2009.
17. DSTU ISO 12947-2:2005. Materialy tekstylni. Vyznachennia oporu styranni metodom Martyndalia. Chastyna 2. Vyznachennia zruinovanosti zrazka (ISO 12947-2:1998, IDT). Chynnyi vid 2024-01-25. Vyd. ofits. Kyiv : DP «UkrNDNTs», 2005. 13 s.
18. DSTU EN ISO 15025:2016. Odiah zakhysnyi. Zakhyst vid tepla ta polum'ia. Metod vyprobuvannia na obmezhenе poshyrennia polum'ia (EN ISO 15025:2002, IDT; ISO 15025:2000, IDT). Na zaminu DSTU EN 532-2001 ; chynnyi vid 2017-10-01. Vyd. ofits. Kyiv : DP «UkrNDNTs», 2016. 18 s.
19. DSTU ISO 6330-2001/HOST YSO 6330-2002. Tekstyl. Metody domashnoho prannia ta sushinnia dlia vyprobuvannia tekstylnykh materialiv (ISO 6330:1984, IDT, HOST YSO 6330-2002, IDT). Chynnyi vid 2003-07-01. Vyd. ofits. Kyiv : DP «UkrNDNTs», 2002. 12 s.
20. DSTU ISO 105-S06:2009. Materialy tekstylni. Vyznachennia tryvkosti farbovannia. Chastyna S06. Metod vyznachennia tryvkosti farbovannia do prannia v domashnikh umovakh i pralniakh (ISO 105-S06:1994, IDT). Chynnyi vid 2011-01-01. Vyd. ofits. Kyiv : VAT «UkrNDITP», 2009. 10 s.