

**ВІДПОВІДНІСТЬ ВОГНЕЗАХИСНИХ ЦЕЛЮЛОЗОВМІСНИХ  
МАТЕРІАЛІВ ЕКОЛОГІЧНІЙ БЕЗПЕЦІ****З. С. СІРКО**, кандидат технічних наук*Національний університет біоресурсів і природокористування України***Є. А. СТАРИШ, Г. Я. КОНОВАЛЬЧУК** завідувачі сектором,**Н. Л. ЦІРЕНЬ, О. Ю. ЦАПКО**, старші наукові співробітники**Д. П. ТОРЧИЛЕВСЬКИЙ, Л. Л. КІСІЛЬ, В. І. ПАРХОМЕНКО**, наукові  
співробітники*Український державний науково-дослідний інститут «Ресурс»*

E-mail: z.sirko@ukr.net

<https://doi.org/10.31548/dopovidi2021.01.013>

***Анотація.** У будівництві все більш інтенсивно ведеться пошук нових високоефективних засобів вогнезахисту деревини. Але вогнезахист сьогодні повинен не тільки забезпечувати нормовану вогнестійкість деревини, а також зберігати її експлуатаційні параметри, вирішувати екологічну безпеку і довговічність. Тому важливою проблемою забезпечення життєдіяльності та безпечного функціонування об'єктів будівництва є розроблення, з економічної, технологічної та екологічної точок зору, спучуючих вогнезахисних покриттів для будівельних конструкцій, що можуть використовуватись не тільки нарівні з існуючими аналогами, але і бути високоефективними у спеціальних галузях будівництва, що уможливорює запобігання виникненню техногенних аварій. У статті наведено результати досліджень щодо підвищення ефективності захисту об'єктів шляхом переведення, застосованих в них, целюлозовмісних матеріалів до групи важкогорючих та встановлено, що застосування композиції переводить деревину у стан важкогорючості, яка не поширює полум'я поверхню, з помірною димоутворювальною здатністю. За цими показниками пожежної небезпеки, вогнезахищена деревина, як будівельний матеріал, дозволяється до застосування для внутрішнього облаштування приміщень, в тому числі, на шляхах евакуації.*

***Ключові слова:** деревина; вогнезахисне покриття деревини; легкі продукти горіння; горіння деревини; димоутворення*

**Актуальність.** На теперешній час целюлозовмісні матеріали, до яких можна віднести деревину та вироби з неї, текстильні матеріали, очерет та інші, знайшли широке застосування в будівництві, оздобленні приміщень та споруд. Але

характеризуються підвищеною пожежною небезпекою і потребують відповідного захисту від дії підвищеної температури, та повинні відповідати екологічній безпеці. Суть вогнезахисту целюлозовмісних матеріалів полягає в їхньому

Сірко З. С., Стариш Є. А., Коновальчук Г. Я., Цірень Н. Л., Цапко О. Ю., Торчиловський Д. П., Кісіль Л. Л., Пархоменко В. І.

обробленні спеціальними хімічними речовинами, суть якого полягає в наданні їм здатності протистояти дії полум'я, поширенню полум'я поверхнею, в запобіганні вільному доступу кисню, який сприяє деструкції і прискоренню процесу горіння. На сьогоднішній день існують два види вогнезахисного оброблення: просочення матеріалу та поверхневе нанесення спеціальних покриттів.

Для вогнезахисту целюлозовмісних матеріалів рекомендуються здебільшого сполуки фосфору, бору, галогеніди та інші [1-3]. Однак, вони характеризуються підвищеною гігроскопічністю та корозійною активністю виробів, вміщують у своєму складі високотоксичні сполуки, мають обмежену сферу застосування та вимиваються під час експлуатації. Вогнезахисний ефект такої композиції обумовлюється гальмуванням процесів горіння целюлози за рахунок утворення у процесі піролізу деревини великої кількості негорючих газів (внаслідок розкладу інгредієнтів) та інтенсивного обуглювання.

Вогнезахист будівельних конструкцій проводиться із застосуванням спеціальних покриттів:

- неорганічні вогнезахисти покриття є жорсткими і під дією атмосфери втрачають свої адгезійні властивості та швидко осипаються.

- покриття на органічній основі характеризуються підвищеною димоутворювальною здатністю і токсичністю продуктів горіння та швидко руйнуються.

Вогнезахисні властивості антипіренних компонентів за умови додавання до них антисептиків в деяких випадках погіршуються, рідко залишаються незмінними, а частіше за все покращуються. Додавання фториду натрію до пари “діамонійфосфат + сечовина” і додавання біхромату калію до пари “бура + борна кислота” призводить до помітного зниження антипірентної ефективності цих пар. Ефективність пари “бура + борна кислота” різко збільшується з додаванням до неї значних кількостей пентахлорфеноляту натрію (ПХФН). Встановлено позитивний вплив ПХФН на вогнезахисні властивості трихлоретилфосфату (ТХЕФ). За помірного для вогнезахисту поглинання ( $40 \text{ кг/м}^3$ ) ефективність препарату удвічі вища порівняно з чистим ТХЕФ [4]. Наведені речовини, які покращують вогнебіозахисні властивості деревини є шкідливими і відносяться до I та II класу небезпеки [5].

Особливу увагу привертає характер впливу антипіренного компонента на токсичність антисептичного компонента у вогнебіозахисних препаратах. Раніше [6] було встановлено, що препарат ББФ (бура: борна кислота: фторид

Сірко З. С., Стариш Є. А., Коновальчук Г. Я., Цірень Н. Л., Цапко О. Ю., Торчиловський Д. П., Кісіль Л. Л., Пархоменко В. І.

натрію = 3:3:1) значно токсичніший за чистий фторид натрію (ФН). В разі комбінування ФН з іншими антипіренами (діамонійфосфат, борна кислота + кальцинована сода; діамонійфосфат + сечовина) хоча і не одержали настільки ж високих показників, але спостерігали посилення токсичності суміші (порівняно з чистим ФН). Невелике посилення токсичності суміші виявлено і в разі комбінування ФН із сульфатом амонію. Помітне зниження токсичності спостерігалось, коли антисептик хлорид цинку комбінували із сульфатом амонію чи препаратом „хлорид амонію + алюмоамонійний галун”.

Таким чином, стосовно дослідженого в цьому випадку препарату експериментально встановлено як явище синергізму, тобто утворення внаслідок змішування компонентів нових, більш токсичних сполук, так і явище антагонізму, тобто утворення менш токсичних сполук.

В європейських державах встановлено вимоги до безпечності захисних засобів і вогнезахисної деревини для людей та теплокровних тварин. Встановлено [7–10], що металоорганічні, хлорфенольні сполуки, а також фтору, арсену шкідливі для людей і тварин, тому вони не повинні використовуватися згідно з правилами безпеки. Вказується [14] на небажане використання для житлових

приміщень пентахлорфенолу та його солей, оскільки вони, виділяючись із деревини, спричиняють головний біль, важкість, а також захворювання на тонзиліт, фарингіт, бронхіт.

Аналізуючи технічні умови на водні розчини захисних засобів для деревини (ГОСТ 28815–96), можна відзначити, що як антисептики використовуються речовини I, II, III класів небезпечності за ГОСТ 12.1.007 [5]. Так, пентахлорфенолят натрію належить до I класу: речовина надзвичайно небезпечна, подразнює слизові оболонки верхніх дихальних шляхів і шкіряний покрив. Біхромати натрію і калію також належать до I класу: спричиняють місцеве подразнення шкіри і слизових оболонок; загальна токсична дія проявляється в ураженні нирок, печінки, шлунково-кишкового тракту і серцево-судинної системи; ці речовини є канцерогенами. Фторид натрію, фторид амонію, біфторид-фторид амоній належать до II класу: речовини високонебезпечні; подразнюють слизові оболонки верхніх дихальних шляхів, легенів, шлунку, шкіряний покрив; у разі гострого отруєння головне значення має дія на центральну нервову систему і місцева дія на легені та шлунково-кишковий тракт; ці речовини справляють мутагенний вплив на організм.

Хорошими вогнезахисними властивостями характеризуються препарати ДМФ

Сірко З. С., Стариш Є. А., Коновальчук Г. Я., Цірень Н. Л., Цапко О. Ю., Торчиловський Д. П., Кісіль Л. Л., Пархоменко В. І.

(діамонійфосфат + сечовина + фторид натрію): ДМФ-112; ДМФ-551; ДМФ-552. Через присутність у препаратах фториду натрію вони належать до речовин II класу небезпечності. До того ж класу варто віднести препарат МС.

Наявність високонебезпечних речовин у рецептурах вогнебіозахисних препаратів зменшує перспективу застосування останніх для вогнезахисту будівельних конструкцій з деревини. Під час експлуатації на поверхні вогнезахищеної деревини антипірени вогнезахисних засобів через короткий проміжок часу з деревини мігрують разом з вологою до поверхні, утворюючи аерогелі і висипаються з неї під впливом навколишньої атмосфери у вигляді аерозолів, що є головною причиною послаблення вогнезахисних властивостей. Тому кожного року проводиться повторне поверхнєве просочення деревини. До того ж, вогнебіозахисні засоби деревини, які утримують в своєму складі шкідливі речовини, стають небезпечними для навколишнього середовища.

Таким чином, можна констатувати, що всі аспекти даного механізму досконало не визначені, і актуальними залишаються дослідження щодо вдосконалення вогнезахищеної ефективності деревини.

**Мета досліджень** – Метою даної роботи є дослідження вогнезахисної

ефективності вогнезахищеної деревини покрівельною композицією та зниження рівня екологічної небезпеки деревини при її вогнезахисті.

**Методика досліджень.** Методи випробувань на займистість проводили згідно ДСТУ 4155-2003 «Захист від пожеж. Матеріали текстильні. Методи випробування на займистість». Цей стандарт установлює метод випробування для оцінювання характеристик горіння текстильних матеріалів (у тому числі з покриттям та просоченням) для виготовлення різних виробів у тому числі і наметів.

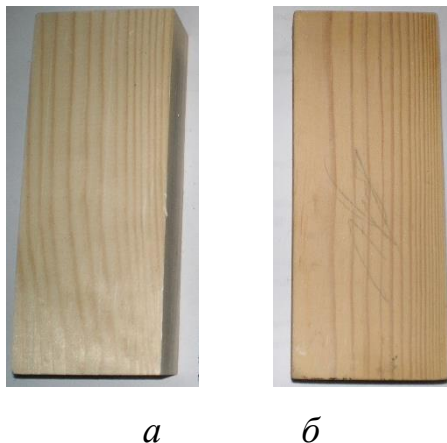
Для проведення випробувань використовували випробувальну установку, що складається із газового пальника, камери для проведення випробувань, тримача проби, основи установки. Також використовували інші засоби: секундомір не нижче другого класу точності, ножиці, металеву лінійку, металевий шаблон розміром  $220 \pm 1$  мм х  $170 \pm 1$  мм із отворами діаметром 5 мм, розташованими так, щоб відстань між центрами отворів відповідала відстаням між шипами на рамі.

**Матеріали та методи дослідження.** Для встановлення горючості деревини використовували зразки деревини, необроблений та які оброблювали композицією, яке утворює на поверхні безбарвну плівку та здатне під дією високої температури створити на поверхні

Сірко З. С., Стариш Є. А., Коновальчук Г. Я., Цірень Н. Л., Цапко О. Ю., Торчиловський Д. П., Кісіль Л. Л., Пархоменко В. І.

пінококсовий захисний шар, а саме, покрівельним просочувальним розчином на основі суміші органічних і неорганічних речовин (рис. 1). Для піролізу використовували зразки

деревини середніми розмірами 10×10 мм і висотою 10 мм, які оброблені вогнезахисним покриттям наведеними вище.



**Рис. 1. Модельні зразки вогнезахисної деревини: а – необроблений, б – оброблений спучуючим лаком.**

Для встановлення вогнезахисної ефективності очерету використовували зразки очерету, які оброблювали композицією, що утворює на поверхні безбарвну плівку та здатна під дією високої температури створити на поверхні пінококсовий захисний шар. Така композиція представлена покрівельним просочувальним розчином на основі суміші органічних і неорганічних речовин (суміш карбаміду і фосфорних кислот та природного полімеру). Для дослідження ефективності вогнезахисного матеріалу використовували зразки очерету з наступними середніми розмірами: діаметром до 10 мм і висотою 310 мм, які зв'язували у мати розміром 310×140 мм і обробляли

покрівельним просочувальним розчином з витратою 47,1 г/м<sup>2</sup>.

З метою встановлення відповідності вогнезахисних властивостей деревини обробленої вогнезахисним лаком проведено експериментальні дослідження для визначення групи горючості деревини необробленої та вогнезахисної композицією згідно з [11].

Суть методу випробувань експериментального визначення групи важкогорючих та горючих твердих речовин і матеріалів полягає у впливі на зразок, розташований в керамічній трубці установки ОТМ, полум'я пальника з заданими параметрами (температура газоподібних продуктів горіння на виході з керамічної труби становить 200 °C ± 5 °C). Під час проведення

Сірко З. С., Стариш Є. А., Коновальчук Г. Я., Цірень Н. Л., Цапко О. Ю., Торчилевський Д. П., Кісіль Л. Л., Пархоменко В. І.

експериментальних досліджень фіксується максимальний приріст температури газоподібних продуктів горіння ( $\Delta t$ ) та втрата маси зразка ( $\Delta m$ ).

Максимальний приріст температури ( $\Delta t_{\max}$ ) розраховують за формулою:

$$\Delta t_{\max} = t_{\max} - t_0, \quad (1)$$

де  $t_{\max}$  – максимальна температура газоподібних продуктів горіння матеріалу, який досліджується  $^{\circ}\text{C}$ ;

$t_0$  – початкова температура ( $200^{\circ}\text{C}$ ).

Втрату маси зразка ( $\Delta m$ ) у відсотках розраховують за формулою:

$$\Delta m = \frac{m_{\text{н}} - m_{\text{к}}}{m_{\text{н}}} \cdot 100, \quad (2)$$

де  $m_{\text{н}}$  – маса зразка до випробувань, г;

$m_{\text{к}}$  – маса зразка після випробувань, г.

За результатами випробувань матеріали класифікуються як:

важкогорючі -  $\Delta t < 60^{\circ}\text{C}$  та  $\Delta m < 60\%$ ;

горючі -  $\Delta t \geq 60^{\circ}\text{C}$  чи  $\Delta m \geq 60\%$ .

Горючі матеріали поділяються в залежності від часу ( $\tau$ ) досягнення максимальної температури газоподібних продуктів горіння на:

важкозаймисті:  $\tau > 240$  с;

середньої займистості:  $30 \text{ с} \leq \tau \leq 240$  с;

легкозаймисті:  $\tau < 30$  с.

При визначення індексу поширення полум'я фіксується відстань термічного руйнування зразка та температура димових газів.

За значенням індексу поширення полум'я матеріали класифікують:

– не поширюють полум'я по поверхні-індекс поширення 0;

– повільно поширюють-індекс поширення  $0 \div 20$ ;

– швидко поширюють-індекс поширення  $> 20$ .

При визначенні коефіцієнта димоутворення визначають оптичну провідність утворених димових газів.

У залежності від одержаного коефіцієнта димоутворення розрізняють:

– з малою димоутворювальною здатністю – більше  $50 \text{ м}^2/\text{кг}$ ;

– з помірною димоутворювальною здатністю – більше  $50 \text{ м}^2/\text{кг}$  до  $500 \text{ м}^2/\text{кг}$  включно;

– з високою димоутворювальною здатністю – коефіцієнт димоутворення більше  $500 \text{ м}^2/\text{кг}$ .

**Результати досліджень.** На теперішній час з'явилися ефективні інтумесцентні покриття та просочувальні композиції (суміші), зокрема, композиція зі вмістом фосфорної кислоти, ОРДФ та плівкоутворювача природного походження, крохмалю. Оброблення деревини, очерета, текстильних матеріалів дозволяє покращити умови експлуатації вогнезахищеного виробу і,

Сірко З. С., Стариш Є. А., Коновальчук Г. Я., Цірень Н. Л., Цапко О. Ю., Торчиловський Д. П., Кісіль Л. Л., Пархоменко В. І.

таким чином, сприяти підвищенню рівня пожежної безпеки об'єктів, на яких використовуються такі матеріали [12]. Комплексними дослідженнями властивостей вогнезахисних матеріалів визначено зміни умов вогнезахисту, що відображається взаємозв'язком процесів піролізу й горіння деревини із фізико-хімічними властивостями композиції (флегматизуванням, інгібуванням, ізолюванням теплопередачі), які призводять до перетворення плівки покриття до теплоізолюючого шару пінококсу із новими фізико-хімічними властивостями, зокрема відсутністю доступу кисню. Як засвідчують результати газової хроматографії в продуктах піролізу кількість водню зменшилась більш ніж 3,5 рази, оксиду вуглецю – у 2,5 разів, зовсім відсутній метан, кількість азоту збільшилась більше, ніж на 80 %.

Фізико-механічна побудова тканини та очерету, їх структура і фізико-хімічні властивості, а також умови експлуатації відрізняються від деревини та її модифікацій, а тому просочення сольовим антипіреном для таких матеріалів не є ефективним, а саме вогнезахисні матеріали покриваються шаром дрібних кристалів антипірену, змінюється колір та більш інтенсивно втрачається ефективність вогнезахисту. Після оброблення текстильних матеріалів та очерету отриманою композицією в продуктах піролізу кількість метану зменшується понад 10 разів, водню – в 20 разів, оксиду вуглецю – в 30 разів та збільшується кількість негорючих газів: діоксиду вуглецю – в 2 рази, азоту – в 3 разів.

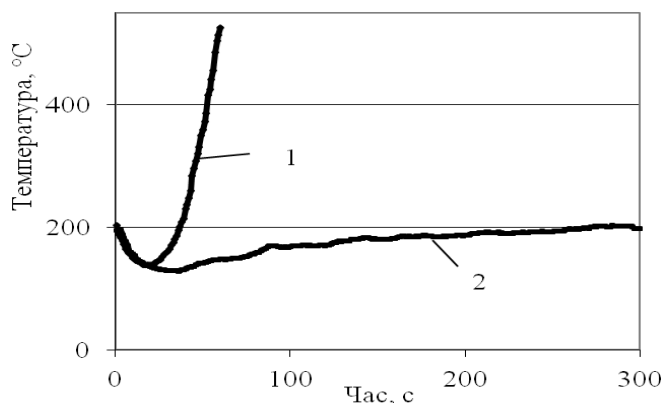
На рисунку 2 показано результати випробування вогнезахисного зразка деревини.



**Рис. 2. Результат випробування вогнезахисної деревини**

Сірко З. С., Стариш Є. А., Коновальчук Г. Я., Цірень Н. Л., Цапко О. Ю., Торчиловський Д. П., Кісіль Л. Л., Пархоменко В. І.

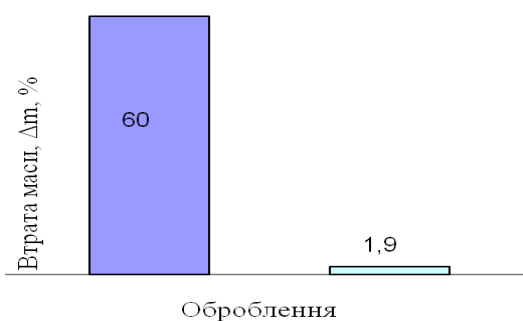
Для встановлення вогнезахисної ефективності при дослідженні ефективності оброблення інтумесцентним покриттям на основі органічних та мінеральних речовин були проведені дослідження щодо визначення групи горючості вогнезахищеної деревини. Результати досліджень з визначення втрати маси зразків ( $\Delta m$ , %) та приросту максимальної температури газоподібних продуктів горіння ( $\Delta t$ , °C) зразків вогнезахищеної деревини, проведеними у лабораторних умовах, наведено на рис. 3, 4.



**Рис. 3. Динаміка наростання температури димових газів під час випробуваннях деревини: 1 – необроблена; 2 – вогнезахищена покрівельною композицією.**

За початкової температури газоподібних продуктів горіння  $T = 200$  °C, при дії полум'я пальника на вогнезахищений зразок деревини оброблений інтумесцентним покриттям на основі органічних та мінеральних речовин, температура газоподібних продуктів горіння

зменшилась та становила  $T \leq 200$  °C, а втрата маси не перевищила 2 %. Таким чином, деревина, оброблена інтумесцентним покриттям на основі органічних та мінеральних речовин, відноситься до групи важкогорючих матеріалів, а необроблена – до горючих середньої займистості.



**Рис. 4. Результати втрати маси зразків  $\Delta m$ , % деревини: 1 – необроблена; 2 – вогнезахищена покрівельною композицією.**

Сірко З. С., Стариш Є. А., Коновальчук Г. Я., Цірень Н. Л., Цапко О. Ю., Торчиловський Д. П., Кісіль Л. Л., Пархоменко В. І.

Проведено експериментальні дослідження з визначення індексу поширення полум'я згідно з [11]. Результати випробувань наведено у

табл. 2. Встановлено, що вогнезахисту деревини, порівняно з необробленою (табл. 1), має індекс поширення полум'я рівний 0.

### 1. Час проходження фронтом полум'я контрольних точок зразка деревини

| Зразок деревини     | Температура димових газів, °C |           | Час проходження фронтом полум'я ділянок зразка, с |    |   |    |    |    |    |    |    |    | Час досягнення $T_{max}$ димових газів, с | Довжина пошкодження зразка, мм | Індекс поширення полум'я |
|---------------------|-------------------------------|-----------|---------------------------------------------------|----|---|----|----|----|----|----|----|----|-------------------------------------------|--------------------------------|--------------------------|
|                     | $T_1$                         | $T_{max}$ | 0                                                 | 1  | 2 | 3  | 4  | 5  | 6  | 7  | 8  | 9  |                                           |                                |                          |
| Необроблений        | 88                            | 367       | 21                                                | 25 | 5 | 22 | 48 | 47 | 32 | 45 | 99 | 32 | 121                                       | 298                            | 56,7                     |
| Захищений покриттям | 91                            | 98        | –                                                 | –  | – | –  | –  | –  | –  | –  | –  | –  | 394                                       | 0                              | 0                        |

Необроблена деревина характеризується високим коефіцієнтом димоутворення та потребує його зниження, оскільки може використовуватись на об'єктах масового перебування людей.

### 2. Результати випробувань зразків вогнезахисної деревини

| Режим випробувань та густина теплового потоку | Номер зразка для випробувань | Маса зразка (m), г | Світлопропускання, %         |                                | Коефіцієнт димоутворення ( $D_m$ ), м <sup>2</sup> /кг |
|-----------------------------------------------|------------------------------|--------------------|------------------------------|--------------------------------|--------------------------------------------------------|
|                                               |                              |                    | Початкове значення ( $T_0$ ) | Кінцеве значення ( $T_{min}$ ) |                                                        |
| 1                                             | 2                            | 3                  | 4                            | 5                              | 6                                                      |
| Полуменеве горіння, 35 кВт/м <sup>2</sup>     | 1                            | 5,26               | 100                          | 90,7                           | 15,4                                                   |
|                                               | 2                            | 5,30               | 100                          | 90,9                           | 14,9                                                   |
|                                               | 3                            | 5,28               | 100                          | 89,8                           | 16,9                                                   |
|                                               | 4                            | 5,23               | 100                          | 89,6                           | 17,4                                                   |
|                                               | 5                            | 5,32               | 100                          | 88,4                           | 19,2                                                   |
| Середнє значення (округлено до цілого числа)  |                              |                    | 17                           |                                |                                                        |
| Тління, 35 кВт/м <sup>2</sup>                 | 1                            | 5,19               | 100                          | 76,0                           | 43,9                                                   |
|                                               | 2                            | 5,19               | 100                          | 77,3                           | 41,2                                                   |
|                                               | 3                            | 5,16               | 100                          | 77,9                           | 40,2                                                   |
|                                               | 4                            | 5,14               | 100                          | 78,1                           | 39,9                                                   |
|                                               | 5                            | 5,21               | 100                          | 78,8                           | 38,0                                                   |
| Середнє значення (округлено до цілого числа)  |                              |                    | 41                           |                                |                                                        |

Згідно з [11] визначено димоутворювальну здатність оброблених інтумесцентним покриттям на основі органічних та мінеральних речовин зразків деревини. Дослідження показали (табл. 3) значне зменшення коефіцієнта димоутворення для вогнезахисних зразків деревини та

їх перехід з групи матеріалів з високою димоутворювальною здатністю (для необроблених зразків) до групи матеріалів з малою димоутворювальною здатністю.

Використання вогнезахисної композиції дозволяє отримати важкозаймисті матеріали з тканин, що з точки зору пожежної безпеки

Сірко З. С., Стариш Є. А., Коновальчук Г. Я., Цірень Н. Л., Цапко О. Ю., Торчильський Д. П., Кісіль Л. Л., Пархоменко В. І.

дозволяє важкозаймисті тканини використовувати на об'єктах з масовим перебуванням людей (готелі, кінотеатри, театри, кафе, ресторани тощо). Дослідженням піддавались

також необроблені та оброблені зразки бавовняної тканини (рис. 5). Результати випробування наведені в табл. 3.

### 3. Результати випробувань зразків тканини

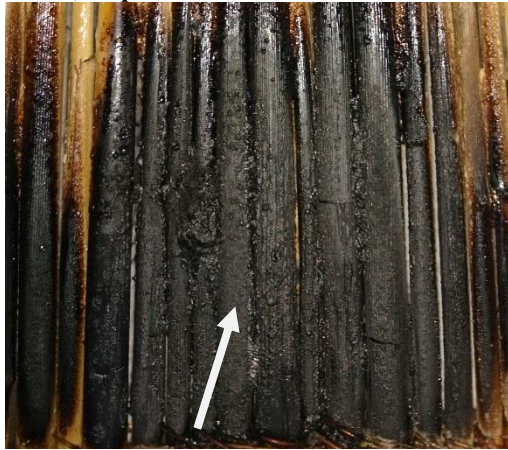
| Характер впливу пального | № зразка | Середня маса зразка, г | Час Впливу полум'я, с | Середня довжина пошкодження зразка, мм | Час Залишкового полуменевого горіння, с |
|--------------------------|----------|------------------------|-----------------------|----------------------------------------|-----------------------------------------|
| З поверхні               | 1-5      | 45,12                  | 15                    | 39,0                                   | 0                                       |
| З краю                   | 1-5      | 45,04                  | 15                    | 35,2                                   | 0                                       |



**Рис. 5. Випробування тканини**

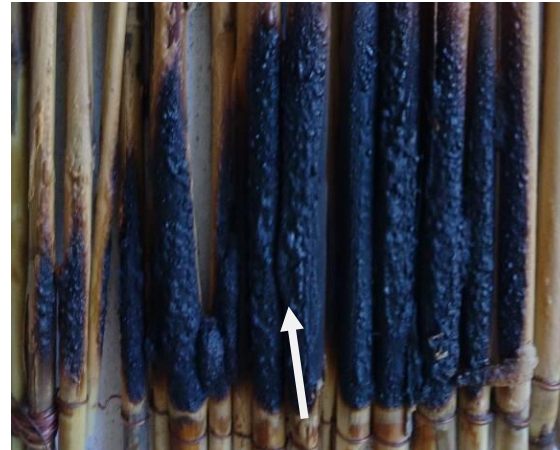
На рис. 6 показано результати випробувань процесу займання та поширення полум'я вогнезахищеного

очерету. В табл. 4 час проходження фронтом полум'я контрольних точок.



Обвуглювання поверхні

а



Утворення шару пінококсу

б

**Рис. 6. Результати випробувань процесу займання та поширення полум'я вогнезахищеного очерету: а – покрівельним просочувальним розчином, б – спучуючим покриттям**

Під час випробувань зразків очерету було встановлено, що необроблений зразок зайнявся на 52 с, полум'я поширилося по всьому зразку протягом 100 с, натомість, зразок вогнезахищений покрівельним просочувальним розчином, а саме, сумішшю карбаміду і фосфорних кислот та природного полімеру у кількості 47,1 г/м<sup>2</sup>, зайнявся на 595 с, поширення полум'я поверхнею відбулося тільки на першу ділянку, максимальна температура димових газів становила 114 °С за час, більший понад 5 разів, а індекс горючості знизився до 0,42.

#### 4. Час проходження фронтом полум'я контрольних точок

| Зразок очерету                                      | Темпера тура димових газів, °С |                  | Час займан- ня, с | Час проходження фронтом полум'я ділянок зразка, с |   |   |    |   |   |   |   |   |     | Час досягнення максимальної температури димових газів, с | Довжина горіння зразка, м | Індекс горю- чості |
|-----------------------------------------------------|--------------------------------|------------------|-------------------|---------------------------------------------------|---|---|----|---|---|---|---|---|-----|----------------------------------------------------------|---------------------------|--------------------|
|                                                     | T <sub>1</sub>                 | T <sub>max</sub> |                   | 1                                                 | 2 | 3 | 4  | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 |     |                                                          |                           |                    |
| Необроблений                                        | 61                             | 323              | 52                | 2                                                 | 8 | 7 | 10 | 6 | 8 | 7 | 6 | 7 | 101 | 294                                                      | 177,5                     |                    |
| Вогнезахищений покрівельним просочувальним розчином | 62                             | 114              | 595               | —                                                 | — | — | —  | — | — | — | — | — | 596 | 22                                                       | 0,42                      |                    |

Згідно з ГОСТ 12.1.004 [5] одним з основних небезпечних факторів пожежі (НФП), що впливають на людей, є токсичні продукти горіння. Під час виникнення пожежі вплив токсичних продуктів горіння може

значно випереджувати дію інших НФП (підвищену температуру оточуючого середовища та відкрите полум'я). Тому показник токсичності продуктів горіння увійшов як один з

Сірко З. С., Стариш Є. А., Коновальчук Г. Я., Цірень Н. Л., Цапко О. Ю., Торчиловський Д. П., Кісіль Л. Л., Пархоменко В. І.

основних показників пожежної небезпеки будівельних матеріалів.

Статистичні дослідження [2] свідчать, що більше 70% загальної кількості загибелі людей на пожежах спричинено отруєнням продуктами горіння. Потенційна небезпека на пожежах зростає у зв'язку з широким застосуванням в різні сфери праці та побуту людей горючих матеріалів. Одним з напрямків підвищення безпеки людей є застосування матеріалів, що мають низький рівень показників токсичності продуктів горіння.

Відомо, що деревину за показником токсичності продуктів горіння згідно з [11] відносять до класу високонебезпечних матеріалів, тобто значення  $H_{CL50}$  становить  $31,6 \text{ г/м}^3$  і знаходиться у межах вказаного класу  $13\text{--}40 \text{ г/м}^3$ . Якщо за

порівняльною оцінкою встановлений токсичний ефект відповідає такому ж як і для деревини, за умов однакових значень мас зразків, потенційна токсичність таких матеріалів визначається як „прийнятна”. Токсичність продуктів горіння полімерів згідно з їх вимогами не має бути більш токсичними ніж продукти горіння необробленої деревини. Очевидно, що деревині як еталону притаманна однорідність структури та властивостей, а також вона не є матеріалом з допустимою токсичністю продуктів горіння.

З огляду на вищенаведене відділом гігієни та токсикології ДП УНДІ медицини транспорту МОЗ України були проведені відповідні токсикологічні випробування дерев'яних елементів, що були оброблені композицією. (табл. 5).

##### 5. Результати токсикологічних випробувань продуктів горіння обробленої деревини сосни

| 400°C       |         | 750°C        |             |
|-------------|---------|--------------|-------------|
| HCL50, г/м3 | HbCO, % | HCL50, г/м3  | HbCO, %     |
| 58,6        | 59,2    | Не досягнуто | Не виявлено |

Таким чином, в результаті випробувань токсичності продуктів горіння встановлено наступне: рівень карбоксигемоглобіну у крові лабораторних тварин свідчить про те, що смертельний ефект обумовлений головним чином дією монооксиду вуглецю. Мінімальне значення показника  $HCL50$ , визначене при температурі  $400^\circ\text{C}$  складає для деревини  $58,6 \text{ г/м}^3$ , використане для

встановлення величини показника токсичності продуктів горіння згідно з класифікацією за ГОСТ 12.1.044 [11], та встановлено що досліджені матеріали відносяться до помірно небезпечних матеріалів.

Проведено випробування з визначення токсичності продуктів згідно з ГОСТ 12.1.044 [11] тканини льняної обробленої композицією, яка використовується для виготовлення

Сірко З. С., Стариш Є. А., Коновальчук Г. Я., Цірень Н. Л., Цапко О. Ю., Торчиловський Д. П., Кісіль Л. Л., Пархоменко В. І.

штор, у відділі гігієни та токсикології ДП УНДІ медицини транспорту МОЗ України.

лабораторних тварин визначалась спектрофотометричним методом (табл. 6).

Масова доля карбоксигемоглобіну в крові

### 6. Результати токсикологічних випробувань тканини “Runotex”

| 400°C       |         | 750°C       |         |
|-------------|---------|-------------|---------|
| HCL50, г/м3 | НЬСО, % | HCL50, г/м3 | НЬСО, % |
| 84,3        | 49,8    | 72,4        | 52,6    |

За результатами досліджень з визначення токсичності продуктів горіння обробленої тканини встановлено: значення кількості карбоксигемоглобіну у крові лабораторних тварин свідчить про те, що смертельний ефект обумовлений головним чином дією оксиду вуглецю, аміаку та водню ціаністого. Мінімальне значення показника  $H_{CL50}$ , визначене при температурі 750 °C, склало 72,4 г/м<sup>3</sup>. Тому значення  $H_{CL50}$  при температурі 750 °C використане для встановлення величини показника токсичності продуктів горіння згідно з класифікацією згідно з ГОСТ 12.1.044 [11], відповідно до якого показника досліджуваний зразок відноситься до класу помірно небезпечних матеріалів.

Придатність до використання на об'єктах масового перебування людей визначається, крім норм пожежної безпеки, також санітарно-епідеміологічними вимогами (нормами). Проведено токсикологічні випробування на придатність

вогнезахищеної деревини до використання її в пасажирських вагонах, дизель- та електропотягах. За результатами випробувань надано “Висновок державної санітарно-епідеміологічної експертизи”, в якому зазначено, що “Об'єкт експертизи” відповідає встановленим медичним критеріям безпеки (показникам): за результатами оцінки ризику для здоров'я населення та працюючих, аналізами наданої заявником документації, яка свідчить, що при виготовленні деталей вогнезахищених деревини, концентрації шкідливих речовин у повітрі робочої зони, а саме: формальдегіду – не більше 0,5 мг/м<sup>3</sup> (пари, II клас небезпеки), уайт-спіріту – не більше 300 мг/м<sup>3</sup> (пари, IV клас небезпеки), етилацетату – не більше 200 мг/м<sup>3</sup> (пари, IV клас небезпеки). Ефективна питома активність природних радіонуклідів у матеріалі – не більше 370 Бк/кг згідно з НРБУ-97.

Таким чином, застосування екологічнобезпечних вогнебіозахисних сумішей дозволяє

Сірко З. С., Стариш Є. А., Коновальчук Г. Я., Цірень Н. Л., Цапко О. Ю., Торчиловський Д. П., Кісіль Л. Л., Пархоменко В. І.

вирішити ряд пожежонебезпечних та екологічних задач щодо застосування вогнезахисних целюлозовмісних матеріалів на об'єктах з масовим перебуванням людей.

### Висновки

Проведено експериментальні дослідження процесу займання зразків деревини та виявлено вплив на цей параметр вогнезахисного покриття. Визначено характеристики параметрів займання та пригнічення

### Список використаних джерел

1. Тичино Н.А. Особенности практического применения огне- и биозащитных средств для пропитки древесины. Пожаровзрывоопасность веществ и материалов. Вып. 6. М.: ВНИИПО, 2002. С. 38-43.

2. Жартовский В.М., Цапко Ю.В. Профилактика горения целюлозовмісних матеріалів. Теорія та практика. Київ: УкрНДІПБ МНС України, 2006. 248 с.

3. Бут В.П., Жартовський В.М., Цапко Ю.В., Баріло О.Г. Новый подход к огнебиозащите изделий из целлюлозы. Пожаровзрывобезопасность. М.: ВНИИПО, 2004. Вып. 5. С. 31-32.

4. Максименко Н.А. Исследование токсичности огнебиозащитных препаратов. В кн.: Вторая Всесоюз. конференция по биоповреждениям. Тез. докл. 4 II, г. Горький, 1981. С. 144-145.

5. ГОСТ 12.1.007-76 ССБТ. Вредные вещества. Классификация и общие требования безопасности. – Киев: Госстандарт Украины, 1995.

6. Жартовський В., Бут В., Цапко Ю., Баріло О. Дослідження механізму вогнезахисної ефективності деревини просочувальними композиціями. Коммунальное хозяйство городов: Научно-технический сборник. Вып.55 (Технические науки и архитектура). К.: Техніка, 2004. С. 219-229.

7. Baker J.M., a.o. Research in wood protection at the Princes Risborough

горіння, що дозволяють одержувати зміну динаміки горіння при розкладі вогнезахисного покриття. При цьому встановлено зміщення процесу займання зразків деревини у більш часові терміни.

Подальші дослідження будуть спрямовані на вивчення процесів структуроутворення захисного шару, встановлення взаємозв'язку між складовими і властивостями покриттів та їх оптимізації.

Laboratory. 1975-1976 - Build. Res Establ. Curr. Pap., 1977, № 37. 14 p.

8. Becker G. Situation und Tendenzen der Holzschutzmittel Anwendung. Holz als Roh und Werkstoff. 1978. 36, № 7. P. 255-260.

9. Dobbs A.J., Grant C. The volatilization of arsenic on burning of copper-chrome-arsenic (CCA) treated wood. Holzforschung. 1978 32, № 1. P.32-35.

10. Krauses Chr., Englert N. Zur Gesundheitlichen Pentachlorphenolhaltiger Holzschutzmittel in Wohnrdrumen. Holz als Roh und Werkstoff. 1980. № 11. P. 429-432.

11. Пожаровзрывоопасность веществ и материалов. Номенклатура показателей и методы их определения: ГОСТ 12.1.044–1989 [Дата введения 1991–01–01]. М.: Издательство стандартов, 1990. 143 с.

12. Цапко Ю.В., Соколенко К.І. Аспекти моделювання процесу висолювання вогнезахисних композицій з деревини. Науковий вісник УкрНДІПБ. 2005. № 1 (11). С. 82-85.

### References

1. Tichino N.A. (2002). Osobennosti prakticheskogo primeneniya ogne-i biozashchitnykh sredstv dlya propitki drevesiny. Pazharovzryvoopasnost veshchestv i materialov. Vyp. 6. M.: VNIPO. P. 38-43.

2. Zhartovskiy V.M., Tsapko Yu. V. (2006). Profilaktyka gorinnya tselyulozovmisnykh materialiv. Teoriya ta praktyka. Kyiv: UkrNDIPB MNS Ukrainy, 248.

Сірко З. С., Стариш Є. А., Коновальчук Г. Я., Цирень Н. Л., Цапко О. Ю., Торчилевський Д. П., Кісіль Л. Л., Пархоменко В. І.

3. But V.P., Zhartovskiy V.M., Tsapko Yu.V., Barylo O.G. (2004). Novyy podkhod k ognеbiozashchite izdeliy iz tsellulozy. Pozharovzryvobezopasnost. M.: VNIPO. Vyp. 5. P. 31-32.

4. Maksimenko N.A. Issledovanie toksichnosti ognеbiozashchitnykh preparatov. V kn.: Vtoraya Vsesoyuzn. Konferentsiya po biopovrezhdeniyam. Tez. dokl. 4 II, g. Gorkiy. 1981. P. 144-145.

5. GOST 12.1.007-76 SSBT. Vrednye veshchestva. Klassifikatsiya i obshchie trebovaniya bezopasnosti. Kiev: Gosstandart Ukrainy. 1995.

6. Zhartovskiy V.M., But V.P., Tsapko Yu.V., Barylo O.G. (2004). Doslidzhennya mekhanizmu vognеzakhsnoi efektyvnosti derevyny prosochuvalnymi kompozitsiyamy. Kommunalnoye khozyaystvo gorodov: Nauchno-tekhnicheskyy zbornik. Vyp. 55 (Tekhnicheskyye nauki i arkhitektura). K.: Tekhnika, P. 219-229.

7. Baker J.M., a.o. (1977) Research in wood protection at the Princes Risborough

Laboratory. 1975-1976 - Build. Res Establ. Curr. Pap. № 37. 14.

8. Becker G. (1978). Situation und Tendenzen der Holzschutzmittel Anwendung. Holz als Roh und Werkstoff. 36, № 7. P. 255-260.

9. Dobbs A.J., Grant C. (1978). The volatilization of arsenic on burning of copper-chrome-arsenic (CCA) treated wood. Holzforschung. 32, № 1. P.32-35.

10. Krauses Chr., Englert N. (1980). Zur Gesundheitlichen Pentachlorphenolhaltiger Holzschutzmittel in Wohnruden. Holz als Roh und Werkstoff. № 11. P. 429-432.

11. (1990). Pozharovzryvobezopasnost veshchestv i materialov. Nomenklatura pokazateley i metody ikh opredeleniya: GOST 12.1.044 – 1989 [Data vvedeniya 1991 – 01 – 01]. M.: Izdatelstvo standartov, 143.

12. Tsapko Yu.V., Sokolenko K.I. (2005). Aspekty modelyuvannya vognеzakhsnykh kompozitsiy z derevyny. Naukovyy visnyk UkrNDIPB. № 1 (11). P. 82-85.

## СООТВЕТСТВИЕ ОГНЕЗАЩИТНЫХ ЦЕЛЮЛОЗОСОДЕРЖАЩИХ МАТЕРИАЛОВ ЭКОЛОГИЧЕСКОЙ БЕЗОПАСНОСТИ

З. С. Сирко, Е. А. Старыш, Г. Я. Коновальчук, Н. Л. Цирень, А. Ю. Цапко, Д. П. Торчилевский, Л. Л. Кисиль, В. И. Пархоменко

***Аннотация.** В строительстве все более интенсивно ведется поиск новых высокоэффективных средств огнезащиты древесины. Но огнезащита сегодня должна не только обеспечивать нормированную огнестойкость древесины, а также хранить ее эксплуатационные параметры, решать экологическую безопасность и долговечность. Поэтому важной проблемой обеспечения жизнедеятельности и безопасного функционирования объектов строительства является разработка, с экономической, технологической и экологической точек зрения, вспенивающих огнезащитных покрытий для строительных конструкций, что могут использоваться не только наравне с существующими аналогами, но и быть высокоэффективными в специальных отраслях строительства, что предотвращает возникновение техногенных аварий. В статье приведены результаты исследований по повышению эффективности защиты объектов путем перевода, примененных в них, целлюлозосодержащих материалов в группу трудногорючих и установлено, что применение композиции переводит древесину в состояние трудногорючести, которая не распространяет пламени по поверхности, с умеренной дымообразующей способностью. По этим показателям пожарной опасности, огнезащищенная*

Сірко З. С., Стариш Є. А., Коновальчук Г. Я., Цірень Н. Л., Цапко О. Ю., Торчилевський Д. П.,  
Кісіль Л. Л., Пархоменко В. І.

*древесина, как строительный материал, разрешается к применению для внутреннего устройства помещений, в том числе на путях эвакуации.*

**Ключевые слова:** *древесина; огнезащитное покрытие древесины; летучие продукты горения; горение древесины; дымообразование*

## COMPLIANCE OF FIRE-PROTECTIVE CELLULOSE-CONTAINING MATERIALS WITH ENVIRONMENTAL SAFETY

Z. Sirko, E. Starysh,, G. Konovalchuk N. Tsireny, O. Tsapcko,, D. Torchilevskyi,  
L. Kysyl, V. Parkhomenko,

**Abstract.** *Search for new highly efficient agents for wood fire retardant treatment in the construction has been conducted more and more intensively. But fire retardant treatment nowadays should not only ensure specified fire resistance of wood but preserve its performance as well as ensure its environmental safety and durability. Therefore a significant problem of ensuring vital activities and safe functioning of building facilities lies in the development of intumescent coatings for building structures taking into consideration economical, processing and environmental aspects; these coatings shall be used not only on a par with existing similar ones but be highly efficient in special spheres of construction which makes it possible to prevent occurrence of man-caused accidents. The paper shows results of the studies purposed at raising efficiency of the facilities protection by conversion of the cellulose containing materials used at them to the group of hardly combustible materials; it was revealed that application of appropriate composition converted the wood into hardly combustible material that did not spread flame across its surface and had moderate smoke production ability. Taking into account these fire hazard indices the wood having been subjected to fire retardant treatment as construction material could be allowed for application for the internal lining of rooms including those at the escape routes.*

**Keywords:** *wood; fire retardant coating of wood; volatile combustion products; burning of wood; smoke formation*