

УДК 614.842

<sup>1</sup> **Ю.В.Цапко**, д.т.н, професор, ORCID 0000-0003-0625-0783;<sup>2</sup> **О.П. Бондаренко**, к.т.н., доцент, ORCID 0000-0002-8164-6473;<sup>3</sup> **О.Ю.Цапко**, доктор філософії, доцент, ORCID 0000-0003-2298-068x;<sup>4</sup> **К.О.Каверин**, к.т.н., доцент, ORCID 0000-0001-9086-5953;<sup>5</sup> **Д.Ю.Семігран**, студент, ORCID 0009-0008-7740-7585.<sup>1,3</sup> Український державний науково-дослідний інститут "Ресурс, Київ.<sup>2,3,4,5</sup> Київський національний університет будівництва і архітектури, Київ.

## ОСОБЛИВОСТІ ВИМИВАННЯ ВОДОРОЗЧИННИХ ФОСФОРНО-АМОНІЙНИХ СОЛЕЙ ВОГНЕЗАХИСНОГО ПОКРИТТЯ ДЕРЕВИНИ

**Анотація.** В статті проведено аналіз вогнезахисних матеріалів для дерев'яних будівельних конструкцій і встановлено необхідність розробки надійних методів дослідження процесу вимивання антипіренів з поверхні будівельної конструкції, необхідних для створення нових типів вогнезахисних матеріалів. Тому виникає необхідність визначення умов утворення бар'єру для вимивання і встановлення механізму гальмування передачі вологи до матеріалу. У зв'язку з цим розроблена математична модель вимивання антипіренів, при застосуванні полімерної оболонки з органічного матеріалу в якості покриття, що дозволяє оцінити ефективність полімерної оболонки за кількістю вимитого антипірену. За експериментальними даними та теоретичними залежностями розраховано динаміку виходу антипіренів з вогнезахисного шару покриття, що не перевищує 1,0 %, та відповідно забезпечує вогнезахист деревини. Результати визначення втрати маси зразка під час впливу води вказують на неоднозначний вплив природи захисту на вимивання. Зокрема, це передбачає наявність даних, достатніх для якісного проведення процесу гальмування дифузії вологи та виявлення на його основі моменту часу, з якого починається падіння ефективності покриття. Експериментальними дослідженнями підтверджено, що зразок вогнезахисної деревини після експозиції води протягом 30 діб витримав вплив теплового потоку. Зокрема втрата маси деревини після температурного впливу становила менше 6 %, а температура димових газів не перевищила 185 °С. Таким чином, є підстави стверджувати про можливість спрямованого регулювання процесів вогнезахисту деревини шляхом застосування полімерних покриттів, здатних утворювати на поверхні вогнезахисного матеріалу захисний шар, який гальмує швидкість вимивання антипіренів.

**Ключові слова:** захисні засоби, втрата маси, оброблення поверхні деревини, вимивання антипірену, полімерна оболонка.

### Постановка проблеми

Деревина, як будівельний матеріал, широко застосовується в будівництві й архітектурі завдяки своїм механічним та експлуатаційним властивостям, але у зв'язку з підвищеною горючістю є пожежонебезпечним матеріалом. З огляду на той факт, що саме цей матеріал чутливий до впливу високої температури, підвищити рівень пожежної безпеки об'єктів, де використовуються будівельні конструкції з деревини, можливо за допомогою їх вогнезахисного оброблення.

Експлуатаційна надійність і ефективність вогнезахисту деревини залежить від якості та реакційної здатності вогнезахисного засобу, а також від класу умов експлуатації об'єкта, де застосовуються ці матеріали. Інколи при експлуатації вогнезахисної деревини в умовах коливання температурно-вологісних полів у широких межах, водорозчинні композиції вимиваються, що приводить до займання горючих конструкцій при дії високотемпературного полум'я. Прикладом є пожежа, яка виникла у 2010 році у виробничій будові підприємства «ВЕРКОН», м. Київ (Україна) під час ремонту покрівлі та світлоаераційних ліхтарів, дерев'яні конструкції яких втратили вогнезахисну здатність і при використанні газових пальників загорілись.

Необхідність вогнезахисту необхідна і для об'єктів масового перебування людей, які виготовлені з

дерев'яних конструкцій і експлуатуються без опалення, періодично, оскільки вогнезахист вимивається з деревини, та осипається під дією гравітаційних сил. Прикладом є пожежа у дитячому таборі «Вікторія», м. Одеса (Україна).

Тому для гальмування процесу вимивання водорозчинних антипіренів з вогнезахисної деревини запропоновано покрити водостійким поліуретановим покриттям та встановити ефективність його застосування.

### Аналіз останніх досліджень

В роботі [1] показано, що реактивні протипожежні покриття дуже ефективно підвищують вогнестійкість дерев'яних конструкцій. Однак покриття і випробування на вогнестійкість мають бути адаптовані і доопрацьовані для все більш складних застосувань, у тому числі і при зміні температури і вологості. Поточні дослідження зосереджені на розробці нових матеріалів (наприклад, геополімерів, керамічних покриттів, покриттів на основі силікону) для сценаріїв екстремального загоряння (екстремальні температури, тривалий час впливу) і реалізації складних функцій (складна геометрія, зміни умов експлуатації). Але не сказано, для яких класів експлуатації вони належать.

Значення впливу гігроскопічності до стійкості

вимивання впливає на показники вогнезахисних речовин [2]. Для підвищення вогнезахисту було додано золь нано-SiO<sub>2</sub> до різних азотно-фосфорно-борних антипіренів для отримання чотирьох нових сполук для просочення, названих: (1) дигідрофосфат амонію + тетрагідрат октаборат натрію (AD), (2) дигідрофосфат амонію + тетрагідрат октаборат натрію + золь нано-SiO<sub>2</sub> (ADS), (3) дигідрофосфат амонію фосфат + борна кислота (AB) та (4) дигідроген амонію фосфат + борна кислота + золь нано-SiO<sub>2</sub> (ABC). Після цього вивчили гігроскопічність, стійкість до вимивання та термостійкість за допомогою скануючої електронної мікроскопії (SEM), енергетично-дисперсійної рентгенівської спектроскопії (EDX), термогравіметричного (TG) та інфрачервоного спектрометра з перетворенням Фур'є (FTIR) та оптимального складного вогню ретардант ABC. Результати показують, що додавання золю нано-SiO<sub>2</sub> може не тільки ефективно знизити гігроскопічність вогнезахисних матеріалів понад 20 %, але й покращити його стійкість до вимивання. Але для підтвердження цього процесу не наведені відповідні фізико-хімічні дані, щодо вимивання в процесі експлуатації.

Опис поведінки деревини [3], що просочена гуанілсечовинним фосфатом, борною кислотою та меламінформальдегідною смолою, виявляла значно підвищену стійкість до вибуговування, зберігаючи при цьому чудову вогнестійкість, як перевірено методом граничного індексу кисню. Було виявлено, що фосфат гуанін сечовини добре затримується у структурі деревини, про що свідчить спектроскопія FTIR. Втрата вогнезахисної речовини на 7,4% була досягнута після надмірного вимивання обробленої деревини. Але, залишаються невирішеними питання, які пов'язані з механізмом утворення пінококсу. Причиною цього можуть бути тонкощі щодо утворення захисного шару, що відповідно робить такі дослідження складними.

У дослідженні [4] було спрямовано на обговорення методу оцінки показників реакції вогню деревини, обробленої антипіреном на основі фосфороганічних речовин, яка використовувалася в якості фасадів будівель з урахуванням погіршення старіння. Були досліджені характеристики вогнестійкості деревини та встановлено, що початкові показники погіршилися під час випробування на реакцію на вогонь понад 12 %.

Ефективність застосування компонентів покриття показана в роботі [5], що стосується ефектів комбінованої обробки деревини азотно-фосфорною вогнезахисною та термообробкою, яка піддавалась гігроскопічності, вимиванню, термостійкості, дослідженням інфрачервоними (FTIR) спектрами перетворення Фур'є, та рентгенівськими дифракційними властивостями. Зразки деревини просочували 10 % - вим розчином антипірену і піддавали термічній дії при 140...160 °C протягом 30 хв. Термічно оброблена деревина зменшила поглинання вологи на 5 % та підвищив стійкість вимивання антипіренів до 10 % та покращила термічну стабільність понад 3 %. Встановлено, що термообробка розкладає антипірен, а кислотність цих продуктів розпаду має дегідратаційний ефект на полісахариди деревини, а кількість гідроксильних груп у деревині значно зменшилася.

Низькотемпературна термообробка посилила фіксацію антипірену та гідрофобність деревини, обробленої антипіреном. Проте виконання даних робіт потребує спеціального устаткування на стадії виготовлення матеріалів.

В роботі [6] за метою було дослідити вплив антипіренів на основі бору та навантаження волокна на механічні, пожежні та теплові показники просоченої деревини, наповненого поліетиленовими композитами високої щільності. Для цього деревину просочували розчином борної кислоти, бури та їх суміші та сушили перед виготовленням композитів. Також досліджували вплив вимивання на граничні рівні кисневого індексу (LOI) вогнезахисених зразків та встановлено, зразки з бурою забезпечували кращі механічні властивості порівняно із зразками з борною кислотою та демонстрували 19% поліпшення модуля розтягування при навантаженні волокна на 40% порівняно з контрольними зразками. Крім того, вогнезахисені зразки бурою збільшували рівень LOI та обуглення, а також зменшували швидкість горіння на 50%. Наявність борної кислоти у композиції після вимивання дещо знизили ефективність захисту до 5%.

Проведені дослідження для вивчення функціональності деревини, обробленої антитардантами [7]. Силікат натрію проникав у деревину, наступні засоби, такі як борна кислота, борат амонію, фосфат діамонію, обробляли для фіксації антипірену. Як результати опір вимивання був покращений на 10%. Вогнезахисна комбінація, така як силікат натрію, борна кислота та фосфат діамонію, показала високі гігроскопічні властивості та корозійну ефективність до металів. Однак не сказано про вплив зміни середовища на покриття, його руйнування в часі.

У роботі [8] дослідженні гіпофосфіт алюмінію і ціанурат меламіну, що використовувалися в якості антипірену в композиті з поліпропілен і деревного борошна. Займистість композитів була перевірена за допомогою граничного кисневого індексу (LOI), випробування на вертикальне горіння і тесту кінцевого калориметр. Коли в композит було завантажено 20 % антипірену, LOI був збільшений до 29,5 %. Крім того, міцність на вигин збільшилася приблизно на 11,0 %. Результати випробування на калориметрі показали, що швидкість тепловиділення і пік швидкості тепловиділення композиту були значно знижені. Механізм термічної деструкції композитів був досліджений методами термогравіметричного аналізу, інфрачервоної спектрометрії з перетворенням Фур'є, та встановлено, що антипірени мають ефект уповільнення горіння в газовій фазі і конденсованої фазі під термічного руйнування композиту, однак не сказано про водостійкість даної композиції.

Вплив неорганічних наповнювачів на вогнезахисне покриття на водній основі проведено в роботі [9]. Результати показують, що комбінація покриття з наповнювачем CaCO<sub>3</sub> значно поліпшила протипожежні характеристики через утворений шар пінококсу і рівноважної температури, рівної 264 °C. Шар вугілля показав однорідну щільну структуру піни на мікрофотографії, і цей склад мав адгезійну міцність 2,13 МПа, що вказує на ефективність адгезії до підкладки. І навпаки, комбінація покриття з Al(OH)<sub>3</sub> показала найвищий кисневий індекс, рівний 35%, що

призвело до стійкості до займання. Однак, механізм спучення покриття при цьому не вказаний та не виявлені умови експлуатації покриття.

У роботі запропоновано математичну модель та методику чисельного дослідження кінетики стану тепло і вологості капілярно-пористого тіла, побудованого на одночасному рівнянні рішення теплопровідності та передачі вологи [10]. Однак дані дослідження притаманні для неорганічного матеріалу і віднести їх для деревини неможливо.

Таким чином, з літературних джерел встановлено, що вогнезахисні покриття здатні вимиватися з поверхні деревини при експлуатації та не визначені параметри, які забезпечують стійкість до втрати деревиною вогнезахисту, а також, що впливає на цей процес. Тому встановлення протидії вимивання антипіренів з вогнезахисної деревини і впливу компонентів на цей процес, і обумовило необхідність проведення досліджень у даному напрямку.

**Мета досліджень**

Виявити закономірності вимивання водорозчинних солей через поліуретанову оболонку з вогнезахисної деревини. Це дає можливість обґрунтувати застосування вогнезахисного покриття на об'єктах з підвищеною вологістю.

**Матеріали та методи досліджень**

Дослідження протидії вимиванню захисного засобу з деревини, обробленою вогнезахисною композицією, проводили на зразках прямошарової деревини [11] розміром 150x60x30 мм (Рисунок 1).

Зразки обробляли покрівельним просочувальним розчином «Skela-i» (суміш карбаміду 28...30 % і фосфорних кислот 23...24 % та крохмалю 20 %) у кількості 270,2 г/м<sup>2</sup>, при цьому товщина вогнезахисного покриття склала близько 100 мкм [12]. За для підвищення стійкості проти дії води зразки покривали полімерними сумішами на основі поліуретанових органічних покриттів виробництва України у кількості 100 г/м<sup>2</sup> [13]. Товщина відповідно склала близько 40 мкм.

Для одержання значень масопереносу антипірену з деревини розроблено і виготовлено спеціальне обладнання (Рисунок 2).

Зразки оброблені вогнезахисною композицією та нанесеним захисним шаром з обробленими парафіном торцями (товщиною 2 мм), поміщали й закріплювали в кюветі з дистильованою водою об'ємом

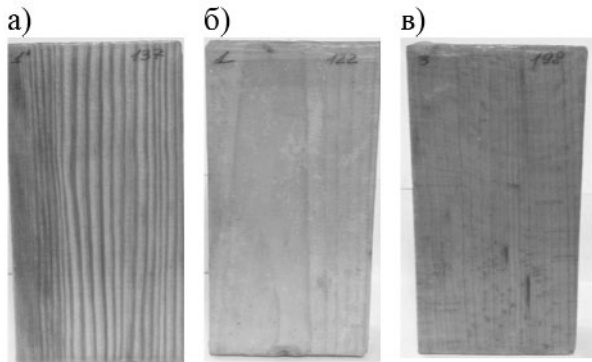


Рис. 1 Модельні зразки деревини для випробувань: сосна (а); смерека (б); бук (в)

100 см<sup>3</sup> (рис. 2). Через певний проміжок часу, перемішавши розчин скляною паличкою, за допомогою піпетки відбирали 5 см<sup>3</sup> води та визначали в ній концентрацію антипірену [14].

Дослідження з визначення горючості деревини після експозиції води проводили методом термічного впливу.

Суть методу випробувань експериментального визначення групи горючості вогнезахисної деревини полягає у впливі на зразок, що розташований в установці, полум'я пальника або радіаційної панелі з заданими параметрами.

Під час проведення експериментальних досліджень з визначення групи горючості фіксується максимальний приріст температури газоподібних продуктів горіння ( $\Delta t$ ) та втрата маси зразка ( $\Delta m$ ).

За результатами випробувань матеріали класифікуються як:

- важкогорючі  $\Delta t < 60$  °C та  $\Delta m < 60$  %;
- горючі  $\Delta t \geq 60$  °C чи  $\Delta m \geq 60$  %.

**Виклад основного матеріалу**

Вплив на гальмування процесу вимивання антипіренів з вогнезахисної деревини за наявності полімерної оболонки ґрунтувалось на проведенні дослідження (Рисунок 3).

Результати досліджень з визначення тривалості індукційного часу виходу антипірена з вогнезахисної деревини через шар полімерної оболонки наведено в Таблиці 1.

Як видно з Таблиці 1, при дії води на зразки деревини полімерна оболонка витримала вплив вологи, а незначну кількість вимитого антипірену зафіксували після 30 доби експозиції водою деревини, що не перевищує 3,0 %.

Таким чином, результати експериментального визначення кількості вимитих солей у воді (Таблиця 1) збігаються з результатами теоретичних досліджень

Таблиця 1

Результати досліджень з визначення кількості вимитого антипірену у воді

Час експозиції, днів	Кількість вимитого антипірену у воді, мг		
	Деревина		
	Сосна	Смерека	Бук
0,5	Нс виявлено	Нс виявлено	Нс виявлено
1	Нс виявлено	Нс виявлено	Нс виявлено
6	Нс виявлено	Нс виявлено	Нс виявлено
12	Нс виявлено	Нс виявлено	Нс виявлено
18	Сліди	Сліди	Сліди
24	0,01	0,03	0,02
30	0,18	0,16	0,15



Рис. 2. Пристрій для випробувань на вимивання вогнезахисних засобів



Рис. 3 Процес вимивання антипіренів водою із зразка деревини

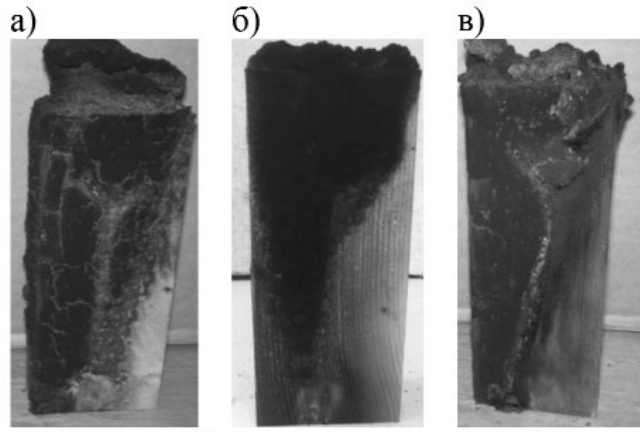


Рис. 4 Зразки після вогневих випробувань виготовлених з деревини: сосна (а); смерека (б); бук (в)

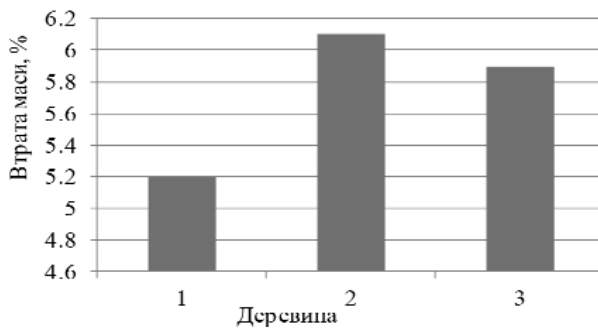


Рис. 5 Результати втрати маси зразків  $\Delta m$ , % вогнезахисної деревини: 1 – сосна; 2 – смерека; 3 – бук

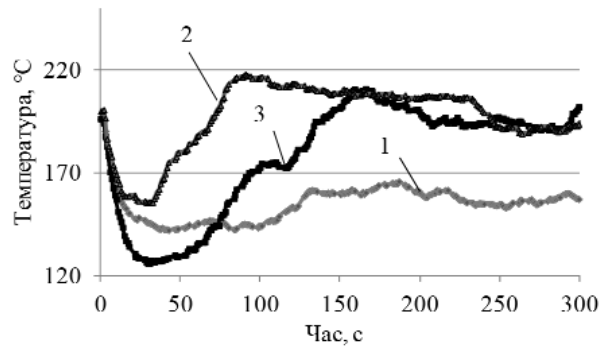


Рис. 6 Динаміка наростання температури димових газів при випробуваннях вогнезахисної деревини: 1 – сосна; 2 – смерека; 3 – бук

зміни концентрації антипірену та характеризуються зниженням до 3,0 %. Для більш повного підтвердження стійкості до вимивання водорозчинних солей даної композиції проведені дослідження по визначенню групи горючості вогнезахисної деревини після експозиції водою.

Після експозиції у воді зразки були висушені і піддані термічній дії на визначення групи горючості. На Рисунку 4 показано результати дії високотемпературного полум'я, на Рисунку 5 наведено втрату маси зразків після випробувань, а на Рисунку 6 – температура димових газів.

У результаті досліджень встановлено, що зразки, які пройшли експозицію води протягом 30 діб, після термічної дії втратили масу не більше 6,2 %, а температура димових газів при горінні склала не більше 220 °C. За цими результатами вогнезахиснені зразки відносяться до важкогорючих матеріалів.

Таким чином, отримані дослідження з визначення групи горючості вогнезахисної деревини відповідають властивостям утворення теплостійкого шару піно коксу під дією високотемпературного полум'я, а значить показують стійкість полімерної оболонки до вимивання водорозчинних антипіренів під впливом води, що підтверджують результати теоретичних досліджень.

### Висновки

При дослідженні процесу вимивання водороз-

чинних фосфорно-амонійних солей вогнезахисного покриття деревини через поліуретанову оболонку встановлено, що закономірним є продовження часу руйнування полімерної оболонки і виходу антипіренів. Це обумовлено стійкістю поліуретанового покриття та утворення заслону на поверхні вогнезахисної деревини, які уповільнюють процеси дифузії водорозчинних антипіренів.

Слід зазначити, що присутність поліуретанової оболонки призводить до закупорки поверхні деревини від проникнення вологи. Вочевидь такий механізм впливу поліуретанової оболонки є тим фактором регулювання процесу, завдяки якому вогнестійкість деревини зберігається. В цьому сенсі має інтерпретація результатів визначення важкогорючості деревини після експозиції води, а саме втрати маси зразків при термічному впливі та температури димових газів при горінні. Оскільки втрата маси не перевищила 6,2 %, а температура склала не більше 220 °C, це свідчить про утворення заслону для виходу антипіренів, який можливо ідентифікувати за методом термічного впливу на дослідженні зразки. Зразок вогнезахисної деревини після експозиції води протягом 30 діб витримав температурний вплив дії теплового потоку.

Це означає, що врахування даного факту відкриває можливість для ефективного регулювання властивостями вогнезахисної деревини безпосередньо в умовах серійного промислового виробництва.



**Література**

1. Kröger S., Gregor J., Gluth G., Watolla M.-B., Morys M., Hölzler D., Schartel B. *Neue Wege: Reaktive Brandschutzbeschichtungen für Extrembedingungen*. Berlin, Bautechnik, Vol. 93/8, (2016), P. 531-542.
2. Zhou Z., Du C., Yu H., Yao X., Huang Q. *Promotion effect of nano-SiO<sub>2</sub> on hygroscopicity, leaching resistance and thermal stability of bamboo strips treated by nitrogen-phosphorus-boron fire retardants*. *Wood Research*, Vol. 65 (5), (2020), P. 693-704. doi: 10.37763/wr.1336-4561/65.5.693704.
3. Lin C.-F., Karlsson O., Mantanis G.I., Sandberg D. *Fire performance and leach resistance of pine wood impregnated with guanil-urea phosphate/boric acid and a melamine-formaldehyde resin*. *European Journal of Wood and Wood Products*, Vol. 78 (1), (2020), P. 107-111. doi: 10.1007/s00107-019-01483-y.
4. Nakamura M., Nishio Y., Hagihara S., Sugita T., Noguchi T. *Evaluation of durability of reaction-to-fire performance of fire-retardant treated wooden facades by accelerated weathering test*. *AIJ Journal of Technology and Design*, Vol. 25(60), (2019), P. 709-714. <https://doi.org/10.3130/aijt.25.709>.
5. Chu D., Mu J., Zhang L., Li Y. *Promotion effect of NP fire retardant pre-treatment on heat-treated poplar wood. Part 2: Hygroscopicity, leaching resistance, and thermal stability*. *Holzforschung*, Vol. 71 (3), (2017), P. 217-223. <https://doi.org/10.1021/acsschemeng.7b03518>.
6. Donmez Cavdar A., Mengelo lu F., Karakus K. *Effect of boric acid and borax on mechanical, fire and thermal properties of wood flour filled high density polyethylene composites*. *Measurement: Journal of the International Measurement Confederation*, Vol. 60, (2015), P. 6-12. <https://doi.org/10.1016/j.measurement.2014.09.078>.
7. Son D.W., Kang M.R., Hwang W.J., Lee H.M., Park S.B. *Hygroscopic property, leaching resistance and metal corrosive efficacy of wood treated with fire retardants*. *Journal of the Korean Wood Science and Technology*, Vol. 42 (2), (2014), P. 157-162. <https://doi.org/10.5658/WOOD.2014.42.2.157>
8. Zhao P, Guo C., Li L. *Flame retardancy and thermal degradation properties of polypropylene/wood flour composite modified with aluminum hypophosphite/melamine cyanurate*. *Journal of Thermal Analysis and Calorimetry*, (2018), P. 1-9. doi: 10.1007/s10973-018-7544-9.
9. Nasir K., Ramli Sulong N.H. Johan M.R., Afifi A.M. *An investigation into waterborne intumescent coating with different fillers for steel application*. *Pigment & Resin Technology*, Vol. 47, 2, (2018), P. 142-153. doi: 10.1108/PRT-09-2016-0089.
10. Kovalnogov, V.N., Karpukhina, T.V., Korotkov, E.A. *Mathematic modeling of the kinetics of heat-and-humidity state of capillary-porous bodies under convection drying*. *AIP Conference Proceedings*, Vol. 1738, 480005, (2016).
11. Tsapko, Yu., Tsapko A. *Establishment of the mechanism and fireproof efficiency of wood treated with an impregnating solution and coatings*. *East European Journal Enterprise Technologies*, Vol. 3, 10/87, (2017), P. 50-55.
12. Tsapko Yu., Tsapko A., Bondarenko O. *Research of conditions of removal of fire protection from building construction*. *Key Engineering Materials*, Vol. 864, (2020), P. 141-148. doi:10.4028/www.scientific.net/KEM.864.141.
13. Tsapko Yu., Lomaha V., Bondarenko O., Sukhanevych M. *Research of Mechanism of Fire Protection with Wood Lacquer*. *Materials Science Forum*, Vol. 1006, (2020), P. 32-40. doi:10.4028/www.scientific.net/MSF.1006.32.
14. Pradyot, Patnaik. *Dean's Analytical Chemistry Handbook*. McGraw-Hill Professional, Vol. 1280, (2004).

**References**

1. Kröger S., Gregor J., Gluth G., Watolla M.-B., Morys M., Hölzler D., Schartel B. *Neue Wege: Reaktive Brandschutzbeschichtungen für Extrembedingungen*. Berlin, Bautechnik, Vol. 93/8, (2016), P. 531-542.
2. Zhou Z., Du C., Yu H., Yao X., Huang Q. *Promotion effect of nano-SiO<sub>2</sub> on hygroscopicity, leaching resistance and thermal stability of bamboo strips treated by nitrogen-phosphorus-boron fire retardants*. *Wood Research*, Vol. 65 (5), (2020), P. 693-704. doi: 10.37763/wr.1336-4561/65.5.693704.
3. Lin C.-F., Karlsson O., Mantanis G.I., Sandberg D. *Fire performance and leach resistance of pine wood impregnated with guanil-urea phosphate/boric acid and a melamine-formaldehyde resin*. *European Journal of Wood and Wood Products*, Vol. 78 (1), (2020), P. 107-111. doi: 10.1007/s00107-019-01483-y.
4. Nakamura M., Nishio Y., Hagihara S., Sugita T., Noguchi T. *Evaluation of durability of reaction-to-fire performance of fire-retardant treated wooden facades by accelerated weathering test*. *AIJ Journal of Technology and Design*, Vol. 25(60), (2019), P. 709-714. <https://doi.org/10.3130/aijt.25.709>.
5. Chu D., Mu J., Zhang L., Li Y. *Promotion effect of NP fire retardant pre-treatment on heat-treated poplar wood. Part 2: Hygroscopicity, leaching resistance, and thermal stability*. *Holzforschung*, Vol. 71 (3), (2017), P. 217-223. <https://doi.org/10.1021/acsschemeng.7b03518>.
6. Donmez Cavdar A., Mengelo lu F., Karakus K. *Effect of boric acid and borax on mechanical, fire and thermal properties of wood flour filled high density polyethylene composites*. *Measurement: Journal of the International Measurement Confederation*, Vol. 60, (2015), P. 6-12. <https://doi.org/10.1016/j.measurement.2014.09.078>.
7. Son D.W., Kang M.R., Hwang W.J., Lee H.M., Park S.B. *Hygroscopic property, leaching resistance and metal corrosive efficacy of wood treated with fire retardants*. *Journal of the Korean Wood Science and Technology*, Vol. 42 (2), (2014), P. 157-162. <https://doi.org/10.5658/WOOD.2014.42.2.157>
8. Zhao P, Guo C., Li L. *Flame retardancy and thermal degradation properties of polypropylene/wood flour composite modified with aluminum hypophosphite/melamine cyanurate*. *Journal of Thermal Analysis and Calorimetry*, (2018), P. 1-9. doi: 10.1007/s10973-018-7544-9.
9. Nasir K., Ramli Sulong N.H. Johan M.R., Afifi A.M. *An investigation into waterborne intumescent coating with different fillers for steel application*. *Pigment & Resin Technology*, Vol. 47, 2, (2018), P. 142-153. doi: 10.1108/PRT-09-2016-0089.
10. Kovalnogov, V.N., Karpukhina, T.V., Korotkov, E.A. *Mathematic modeling of the kinetics of heat-and-humidity state of capillary-porous bodies under convection drying*. *AIP Conference Proceedings*, Vol. 1738, 480005, (2016).
11. Tsapko, Yu., Tsapko A. *Establishment of the mechanism and fireproof efficiency of wood treated with an impregnating solution and coatings*. *East European Journal Enterprise Technologies*, Vol. 3, 10/87, (2017), P. 50-55.

tion and coatings. *East European Journal Enterprise Technologies*, Vol. 3, 10/87, (2017), P. 50-55.

12. Tsapko Yu., Tsapko A., Bondarenko O. Research of conditions of removal of fire protection from building construction. *Key Engineering Materials*, Vol. 864, (2020), P. 141-148. doi:10.4028/www.scientific.net/KEM.864.141.

13. Tsapko Yu., Lomaha V., Bondarenko O., Sukhanevych M. Research of Mechanism of Fire Protection with Wood Lacquer. *Materials Science Forum*, Vol. 1006, (2020), P. 32-40. doi:10.4028/www.scientific.net/MSF.1006.32.

14. Pradyot, Patnaik. *Dean's Analytical Chemistry Handbook*. McGraw-Hill Professional, Vol. 1280, (2004).

<sup>1</sup> **Yu. Tsapko**, doctor of technical sciences, professor, ORCID 0000-0003-0625-0783;

<sup>2</sup> **O. Bondarenko**, PhD, associate professor, ORCID 0000-0002-8164-6473;

<sup>3</sup> **O. Tsapko**, doctor of philosophy, associate professor, ORCID 0000-0003-2298-068x;

<sup>4</sup> **K. Kaverin**, PhD, associate professor, ORCID 0000-0001-9086-5953;

<sup>5</sup> **D. Semigran**, student, ORCID 0009-0008-7740-7585.

<sup>1,3</sup> Ukrainian State Research Institute "Resurs", Kyiv.

<sup>2,3,4,5</sup> Kyiv National University of Construction and Architecture, Kyiv.

## FEATURES OF WASHING WATER-SOLUBLE PHOSPHORUS-AMMONIUM SALTS OF FIREPROOF WOOD COATING

**Abstract.** *The article analyzes fire-resistant materials for wooden building structures and establishes the need to develop reliable methods of researching the process of washing out flame retardants from the surface of the building structure, which are necessary for the creation of new types of fire-resistant materials. Therefore, there is a need to determine the conditions for the formation of a barrier for leaching and to establish a mechanism for inhibiting the transfer of moisture to the material. In this regard, a mathematical model of flame retardant leaching has been developed, when a polymer shell made of organic material is used as a coating, which allows evaluating the effectiveness of the polymer shell based on the amount of flame retardant washed out. According to experimental data and theoretical dependences, the dynamics of release of flame retardants from the fire-resistant layer of the coating, which does not exceed 1.0%, is calculated, and accordingly provides fire protection of wood. The results of determining the loss of mass of the sample during exposure to water indicate an ambiguous effect of the nature of the protection on leaching. In particular, this assumes the availability of data sufficient for qualitatively carrying out the process of inhibiting moisture diffusion and identifying, on its basis, the moment in time when the decline in coating efficiency begins. Experimental studies have confirmed that a sample of fire-resistant wood after exposure to water for 30 days withstood the influence of heat flow. In particular, the loss of wood mass after temperature exposure was less than 6%, and the temperature of flue gases did not exceed 185 °C. Thus, there are reasons to assert the possibility of targeted regulation of wood fire protection processes through the use of polymer coatings capable of forming a protective layer on the surface of the fire retardant material, which inhibits the rate of flame retardant leaching.*

**Keywords:** *protective means, mass loss, wood surface treatment, flame retardant leaching, polymer shell.*