

**ОПТИМІЗАЦІЯ НЕОРГАНІЧНИХ СКЛАДОВИХ ВОГНЕЗАХИСНОГО ЛАКУ
ДЛЯ ДЕРЕВИНИ**

^{1,2}**Цапко Ю.В.**, д.т.н., с.н.с.,
juriyts@ukr.net, ORCID: 0000-0003-0625-0783

¹**Цапко О.Ю.**, м.н.с.,
alekseysapko@gmail.com, ORCID: 0000-0003-2298-068X

¹**Бондаренко О.П.**, к.т.н., доцент,
bondolya3@gmail.com, ORCID: 0000-0002-8164-6473

¹*Науково-дослідний інститут в'язучих речовин і матеріалів ім. В.Д. Глуховського
Київський національний університет будівництва і архітектури*
пр. Повітрофлотський, 31, м. Київ, 03037, Україна

²**Ломага В.В.**, аспірант,
lomaga39@gmail.com, ORCID: 0000-0002-0569-9987

²*Національний університет біоресурсів і природокористування України*
вул. Героїв Оборони, 12в, м. Київ, 03041, Україна

Анотація. В роботі досліджено процеси створення вогнезахисного лаку для деревини, який складається з суміші неорганічних та полімерних речовин. Встановлено, що оптимізація неорганічної складової приводить до направленої співвідношення мінеральних кислот та карбаміду, здатних до ефективного вогнезахисту матеріалу. Дослідження показали, що при початковій температурі газоподібних продуктів горіння $T=68$ °С, при дії радіаційної панелі необроблений зразок загорівся після 146 с, полум'я поширилося по всій поверхні, натомість, зразок вогнезахисний лаком не загорівся, максимальна температура становила 105 °С. При цьому, як свідчать результати термостійкості, відбувається зміна структури захисної плівки покриття: збільшується товщина захисного шару за рахунок розкладу композиції, що призводить до гальмування окислення в газовій і конденсованій фазі, зміна напрямлення розкладу в сторону утворення негорючих газів і важкогорючого коксового залишку, зниження горіння матеріалу та відповідно підвищення індексу горючості. Покриття при дії високої температури сприяє утворенню тепло ізолювального шару коксу, що запобігає вигоранню і проходженню високої температури до матеріалу, що і підтверджується відсутністю процесу займання вогнезахисної деревини.

Ключові слова: вогнезахист деревини, случуючі покриття, теплопровідність, оброблення поверхні, теплофізичні властивості.

Вступ. Важливою проблемою забезпечення життєдіяльності та безпечного функціонування об'єктів будівництва є розроблення, з економічної, технологічної та екологічної точок зору, вогнезахисних засобів для будівельних конструкцій, що можуть використовуватись не тільки нарівні з існуючими аналогами, але і бути високоефективними у спеціальних галузях будівництва, що уможлиблює запобігання виникненню техногенних аварій. В будівництві все більш інтенсивно ведеться пошук нових високоефективних будівельних матеріалів, зокрема, з деревини. Застосування у будівництві деревини має значну кількість переваг, але потребує захисту від вогню.

На сьогодні існує два способи вогнезахисту будівельних матеріалів. Перший – це просочення антипіренами, частіше за все на основі неорганічних солей, коли засіб на основі кислот, проникаючи в глибину структури матеріалу і взаємодіючи з клітчатого, утворює комплекси, які інгібують горіння [1, 2]. Другий засіб – це нанесення на поверхню деревини покриття на органічному чи неорганічному в'язучому [3, 4]. Засіб на органічному в'язучому має підвищене димоутворення і виділення токсичних речовин, тому його використання обмежене та притаманне відкритим поверхням [5, 6]. Більш ефективними вважаються

вогнезахисні покриття на неорганічному в'язучому, властивості яких вже досліджені [7, 8], але ці матеріали утворюють на поверхні жорстке покриття, яке змінює колір поверхні та під дією атмосфери втрачає адгезію та осипається.

Аналіз останніх досліджень та публікацій. Сучасні методи вогнезахисту включають використання покриттів, що спучуються. Вони являють собою складні системи органічних і неорганічних компонентів [9], що характеризуються високою інтумесцентною здатністю. Але, не сказано, для яких класів експлуатації вони належать. Ефективність застосування вогнезахисних покриттів на основі органічних речовин показана в роботах [10, 11], де за рахунок дії антипіренів на основі поліфосфорних кислот та спінювачів є можливість значно впливати на формування захисного шару пінококсу. Однак, постає необхідність дослідження умов утворення бар'єру для тепло- та вологопровідності і встановлення ефективної дії покриття з утворенням захисного шару.

Значне підвищення стійкості, щільності і міцності захисного шару досягається внаслідок направленої формування тих чи інших добавок, які утворюють високотемпературні сполуки [12]. Однак, для підтвердження цього процесу не наведені відповідні фізико-хімічні дані.

Вплив неорганічних наповнювачів на вогнезахисне покриття на водній основі показав свою ефективність, однак механізм спучення покриття при цьому не вказаний та не виявлені умови експлуатації покриття [13]. Авторами приведена аналітична модель вогнестійкості та термічної деградації пористої структури пінококсу вогнезахисного покриття, яка враховує форми пор, але дана модель не враховує, які фазові перетворення покриття відбуваються при експлуатації [14].

Тому перспективним питанням є дослідження складових вогнезахисного лаку для деревини при довготривалій дії температур та впливі суміші речовин, які входять до складу покриття і забезпечують термічний опір полум'ю.

Мета дослідження. Метою даної роботи є оптимізація неорганічних складових вогнезахисного лаку для деревини і встановлення ефективності вогнезахисту обробленого виробу.

Матеріали і методи досліджень. Для встановлення горючості деревини використовували зразки прямошарової деревини сосни розміром 310×140×6 мм, густиною 420...470 кг/м³. Зразки оброблювали різними композиціями, зокрема, покриття, яке утворює на поверхні безбарвну плівку та здатне під дією високої температури створити на поверхні піно коксовий захисний шар, а саме, покрівельним просочувальним розчином на основі суміші органічних і неорганічних речовин (суміш карбаміду і фосфорних кислот та природного полімеру у різних пропорціях).

Отриману масу перемішували, додавали воду 100 % і наносили на зразок деревини (рис. 1), а для дослідження впливу складу сумішей антипіренів знижували їх концентрацію до пропорції 1:1.



Рис. 1. Модельні зразки деревини для випробувань

Дослідження з визначення термічної стійкості вогнезахисного очерету проводили за методикою, суть якої полягала у впливі на зразок вогнезахисного очерету радіаційної панелі та його запалювання, вимірюється максимальна температура продуктів горіння та час

її досягнення, час займання та проходження фронтом полум'я ділянок поверхні, довжину згорілої частини зразка. Та за отриманими даними розраховується величина безрозмірного індексу горючості за коефіцієнтом I :

$$I = \sqrt{\frac{q \cdot Q}{W} \cdot \frac{\Delta T_{\max}}{\Delta T_{\text{но}}} \cdot \frac{\tau_{\max} - \tau_0}{\tau_0} \cdot \left[1 + \frac{60 \cdot l_r}{l} \cdot \sum_{i=1}^n \frac{1}{\tau_i} \right]}, \quad (1)$$

де q – питома теплота згоряння газу пропан (23630), кДж·л⁻¹; Q – витрата газу запального пальника (0,001), л·с⁻¹; W – потужність електричної радіаційної панелі, 0,5 кВт; ΔT_{\max} – максимального приросту температури димових газів:

$$\Delta T_{\max} = T_{\max} - T_0,$$

де T_0 – температура навколишнього середовища, °С; T_{\max} – максимальна температура димових газів, °С; $\Delta T_{\text{но}}$ – максимального приросту температури нагрівального обладнання:

$$\Delta T_{\text{но}} = T_1 - T_0,$$

де T_0 – температура навколишнього середовища, °С; T_1 – температура вихідного повітря при роботі нагрівального обладнання, °С; τ_0 – час займання зразка, с; τ_{\max} – час досягнення максимальної температури димових газів, с; τ_i – час проходження фронтом полум'я контрольних ділянок, с; l – довжина зразка, мм; l_r – довжина пошкодження зразка, мм.

На рис. 2 наведено випробувальну камеру для проведення досліджень.

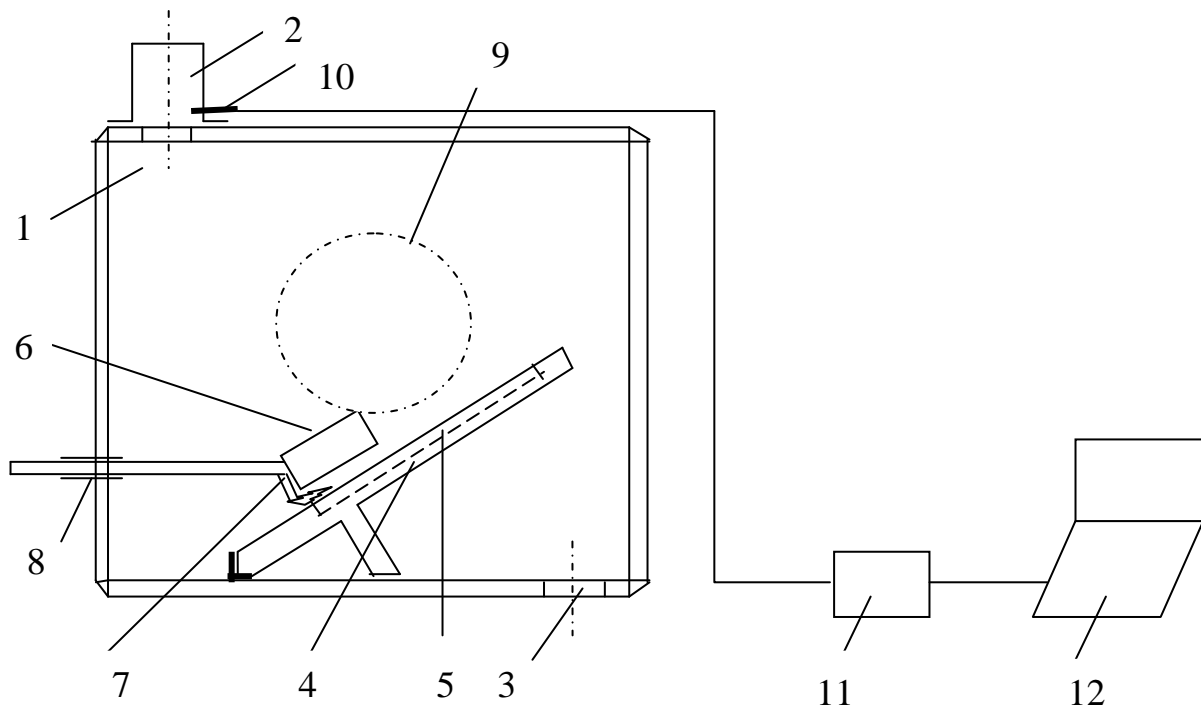


Рис. 2. Випробувальна камера для визначення параметрів займання та поширення полум'я: 1 – випробувальна камера; 2 – витяжна труба; 3 – вентиляційний отвір; 4 – тримач зразка; 5 – зразок; 6 – радіаційна панель; 7 – запалювальний пристрій; 8 – регулювальна труба; 9 – оглядове скло; 10 – термопара; 11 – аналого-цифровий перетворювач; 12 – комп'ютер

Результати досліджень. Виробники вогнезахисних засобів, враховуючи умови ринку, намагаються оптимізувати дані вироби з точки зору вмісту основних компонентів, а точніше антипіренів, в'язучих, загусників і інших складових. Варіації вмісту та концентрації вивчаються та досліджуються також з точки здешевлення покриття, але при цьому отримання гарного ефекту вогнезахисту з необхідними властивостями міцності.

Під час розробки покриття керуються необхідністю одержання ряду властивостей, що визначають у цілому його здатність захищати від дії вогню. До числа таких властивостей відносяться: негорючість покриття, ізолюючі властивості покриття від дії тепла, ізолюючі

властивості покриття від доступу повітря та полум'я від джерела запалювання. Для одержання вогнезахисного покриття, що задовольняє пред'явленим вимогам, необхідно, щоб компоненти, які входять до складу покриття відносились безпосередньо до групи негорючих, важкогорючих матеріалів або утворювали такі з'єднання в умовах нагрівання, та здатні утримуватись на поверхні виробу.

Враховуючи вище наведений механізм дії, за допомогою трьохфакторного симплекс-центрального методу планування експерименту в математичному середовищі Statistica 12, проведено оптимізацію складових вогнезахисної композиції при витраті кислоти та карбаміду.

У якості факторів варіювання були обрані: кількість фосфатної кислоти, ФК, %, (фактор X_1); кількість етидренової кислоти, ЕК, % (фактор X_2), зміна яких наведена в таблиці 1.

Таблиця 1 – Фактори варіювання

Фактори	Код	Рівні варіювання		Інтервал варіювання
		Нижній -1	Верхній 1	
Фосфатна кислота, ФК, %	X_1	10	20	10
Етидренова кислота, ЕК, %	X_2	5	10	5

У якості вихідного параметру було обрано індекс горючості та втрата маси, значення яких фіксували на зразках, які піддавалися термічного впливу. Матриця планування експерименту та її математична реалізація наведена в табл. 2.

Таблиця 2 – Матриця експерименту та її реалізація

№ п/п	Фактори, вигляд		Матриця планування	
	X_1	X_2	ФК, %	ЕК, %
1	-1	-1	10	5
2	1	-1	20	5
3	-1	1	10	10
4	1	1	20	10

У результаті моделювання отримані рівняння регресії та побудовані тернарні поверхні змін вихідного параметру в залежності від змін факторів варіювання (рис. 3).

Рівняння регресії:

$$I = 16,1 - 0,72 X_1 - 0,64 X_2 + 0,03 X_1 X_2$$

$$\Delta m, g = 13,2 - 0,52 X_1 - 0,7 X_2 + 0,032 X_1 X_2$$

$$t_{\max, s} = 240 + 36 X_1 + 36 X_2 - 1,2 X_1 X_2$$

$$T_{\max, ^\circ C} = 500 - 18 X_1 - 18 X_2 + 0,81 X_1 X_2,$$

де X_1 – фосфатна кислота, %; X_2 – етидренова кислота, %.

Аналіз рівнянь регресії свідчить про те, що варійовані фактори значимі та взаємозв'язані, найбільш вагомо на індекс горючості при витраті кислоти в кількості 14% впливає сумісна дія факторів X_2 і $X_1 X_2$; при витраті ПВА-дисперсії в кількості 16% – сумісна дія факторів X_1 , X_2 і $X_1 X_2$; при витраті ПВА-дисперсії в кількості 18% – сумісна дія факторів $X_1 X_2$ і X_2 .

Аналізуючи вплив складу вогнезахисної речовини можна зробити висновок, що для забезпечення показників вогнезахисту оптимальним співвідношенням кислот є 2:1 – ФК:ЕК, а саме введення їх у кількості: 15...18% фосфатна кислота та 7...9% етидренова кислота.

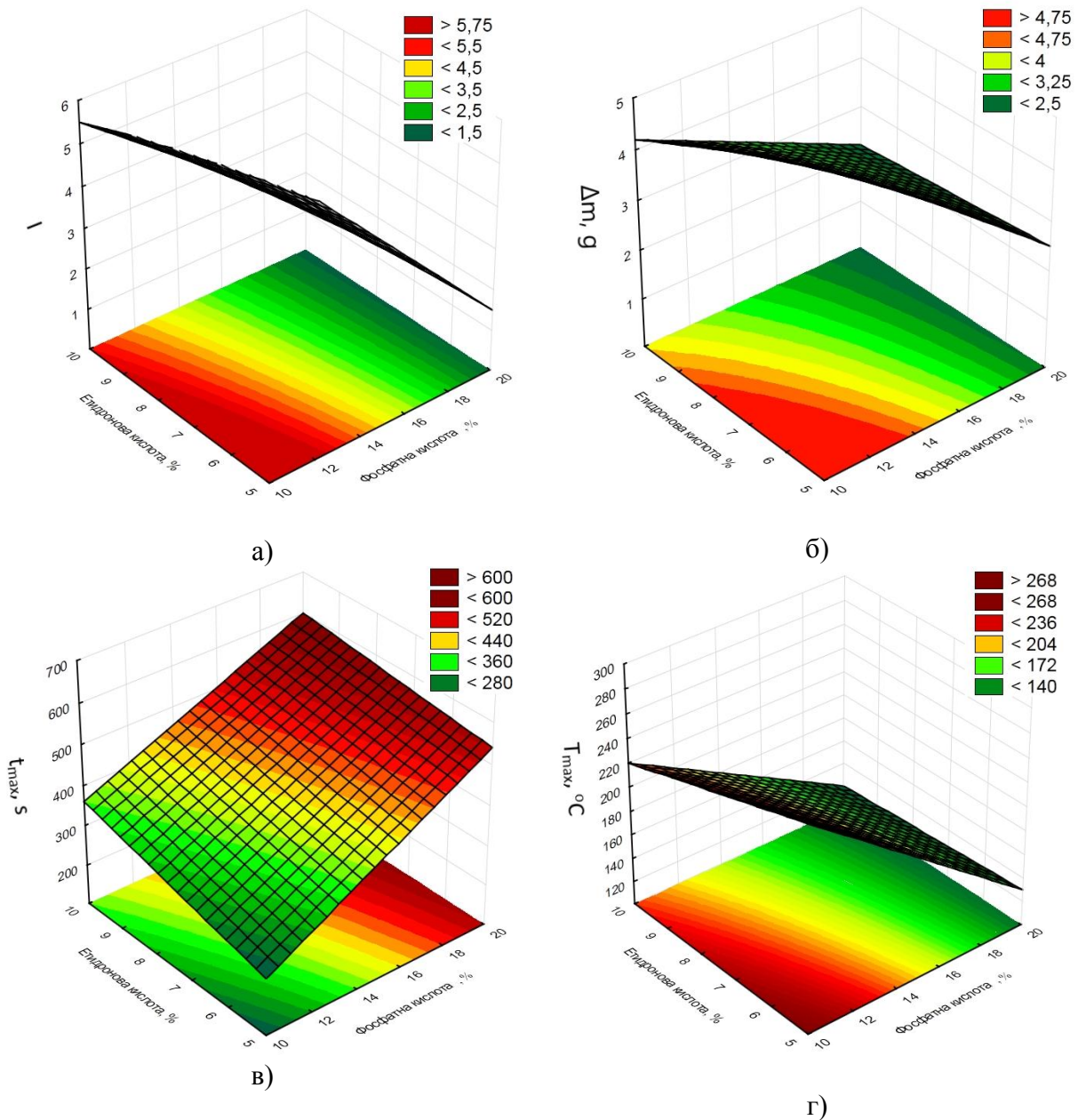


Рис. 3. Тернарні поверхні зміни складової вогнезахисної композиції після термічної дії при різних співвідношеннях кислот:
 а – індексу горючості; б – втрати маси; в – часу займання; г – максимальної температури

Аналогічно проведено оптимізацію для співвідношення комплексу кислот і карбаміду (табл. 3).

Таблиця 3 – Фактори варіювання

Фактори	Код	Рівні варіювання		Інтервал варіювання
		Нижній -1	Верхній 1	
Комплекс кислот, КК, %	X_1	21	27	6
Карбамід, К, %	X_2	20	30	10

У якості вихідного параметру було обрано індекс горючості та втрата маси, значення яких фіксували на зразках, які піддавалися термічного впливу. Матриця планування експерименту та її математична реалізація наведена в табл. 4.

Таблиця 4 – Матриця експерименту та її реалізація

№ п/п	Фактори, вигляд		Матриця планування	
	X ₁	X ₂	КК, %	К, %
1	-1	-1	21	20
2	1	-1	27	20
3	-1	1	21	30
4	1	1	27	30

У результаті моделювання отримані рівняння регресії та побудовані тернарні поверхні змін вихідного параметру в залежності від змін факторів варіювання (рис. 4).

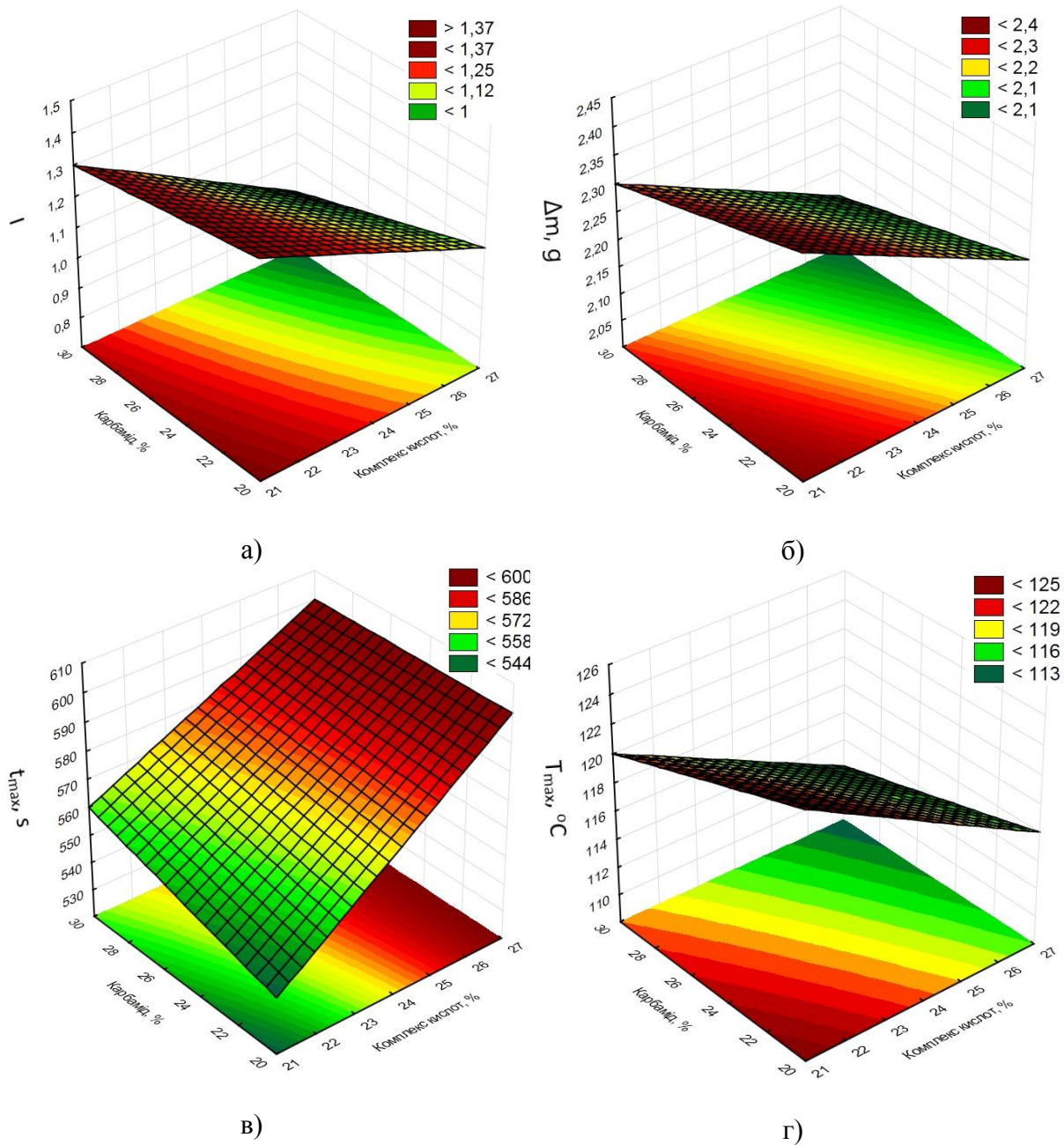


Рис. 4. Тернарні поверхні зміни складової вогнезахисної композиції після термічної дії при різних співвідношеннях кислот і карбаміду: а – індексу горючості; б – втрати маси; в – часу займання; г – максимальної температури

Рівняння регресії:

$$I = 1,95 - 0,016 X_1 + 0,025 X_2 - 0,001 X_1 X_2$$

$$\Delta m, g = 3,3 - 0,033 X_1 - 0,009 X_2 - 0,001 X_1 X_2$$

$$t_{max}, s = 150 + 16,67 X_1 + 9,0 X_2 - 0,33 X_1 X_2$$

$$T_{max}, ^\circ C = 173,5 - 1,83 X_1 - 0,85 X_2 + 0,0167 X_1 X_2,$$

де X_1 – комплекс кислот, %; X_2 – карбамід, %.

Аналізуючи вплив складу вогнезахисної речовини можна зробити висновок, що для забезпечення показників вогнезахисту оптимальним співвідношенням кислоти до карбаміду є 1:1 – ФК:ЕК, а саме введення їх у кількості: 26...27% – комплекс кислот та 28...30% – карбамід (рис. 4). Проведені дослідження з визначення індексу горючості та максимальної температури вихідних газів з установки при термічній дії на деревину. Результати досліджень наведено в табл. 5.

Дослідження показали, що при початковій температурі газоподібних продуктів горіння $T=68$ °С, при дії радіаційної панелі на необроблений зразок він загорівся після 146 с, полум'я поширилося по всій поверхні, натомість, зразок вогнезахисний лаком не загорівся, максимальна температура становила 105 °С.

Таблиця 5 – Час проходження фронтом полум'я контрольних точок

Зразок деревини	Температура димових газів, °С		Час займання, с	Час проходження фронтом полум'я ділянок зразка, с									Час досягнення T_{max} димових газів, с	Довжина горіння зразка, мм	Індекс горючості
	T_1	T_{max}		1	2	3	4	5	6	7	8	9			
Необроблений	68,3	234	146	2	4	6	10						295	120	73,67
Вогнезахисний	66,9	105	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	600	0	0

Висновки та перспективи подальших досліджень. Таким чином, проведено оптимізацію неорганічних складових вогнезахисного лаку для деревини і показано, що для забезпечення показників вогнезахисту оптимальним співвідношенням кислоти до карбаміду є 1:1 – ФК:ЕК, а саме введення їх у кількості: 26...27% – комплекс кислот та 28...30% – карбамід. Встановлено особливості гальмування процесу займання та поширення полум'я деревини, що оброблена лаком, які полягають у декількох аспектах. Серед них утворення теплоізолювального шару коксу, який запобігає вигоранню і проходженню високої температури до матеріалу, що і підтверджується відсутністю процесу займання вогнезахисного очерету. Це свідчить про можливість спрямованого регулювання процесами передавання високої температури до органічного матеріалу шляхом використання спеціальних покриттів для виробів з деревини.

Подальші дослідження будуть спрямовані на теоретичне та експериментальне вивчення процесів горіння матеріалів з деревини, а також встановлення взаємозв'язку між складовими і властивостями засобів захисту.

Подяка. Автори висловлюють подяку за фінансову підтримку роботи, виконаної в рамках бюджету фінансування № 3 ДБ-2018, а також на розробку наукових тем у програмі наукового співробітництва COST Action FP 1407 «Розуміння модифікації деревини за допомогою інтегрованого наукового та екологічного підходу» в рамках програми Європейського Союзу HORIZON2020.

Література

1. Tsapko Yu., Tsapko A. Establishment of the mechanism and fireproof efficiency of wood treated with an impregnating solution and coatings. *Eastern-European Journal Enterprise Technologies*. 2017. Vol. 3. №10 (87). P. 50-55. <https://doi: 10.15587/1729-4061.2017.102393>.
2. Tsapko Ju., Tsapko A. Simulation of the phase transformation front advancement during the swelling of fire retardant coatings. *Eastern-European Journal Enterprise Technologies*. 2017. Vol. 2. №11 (86). P. 50-55. <https://doi: 10.15587/1729-4061.2017.73542>.

3. Бут В.П., Жартовский В.М. и др. Новый подход к огнебиозащите изделий из целлюлозы. *Пожаровзрывобезопасность*. М.: ВНИИПО. 2004. Вып. 5. С. 31-32.
4. Tsapko Yu., Lomaha V., Tsapko O., Mazurchuk S., Horbachova O., Zavalov D. Determination of regularities of heat resistance under flame action on wood wall with fire-retardant varnish. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*. 2019. Vol. 4. № 4/10 (100). P. 37-43. [https://doi: 10.15587/1729-4061.2019.175346](https://doi.org/10.15587/1729-4061.2019.175346).
5. Цапко Ю.В., Кравченко А.В., Кривенко П.В., Ніколаєнко М.В. Основні тенденції створення вогнезахисних спучуючих композицій для будівельних конструкцій. *Вісник ОДАБА*. 2016. Вип. 65. С. 142-147.
6. Tsapko Yu., Tsapko A., Bondarenko O. Determination of the laws of thermal resistance of wood in application of fire-retardant fabric coatings. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*. 2020. Vol. 2. № 2/10 (104). P. 13-18. [https://doi: 10.15587/1729-4061.2020.200467](https://doi.org/10.15587/1729-4061.2020.200467).
7. Krivenko P.V., E.K. Pushkarjeva, M.V. Sukhanevich, Guziy S.G. Fireproof coatings on the basis of alkaline aluminum silicate systems. *Developments in Strategic Materials: Ceramic Engineering and Science Proceedings*. 2009. Vol. 29. Issue 10. P. 129-142.
8. Krivenko P., Guzii S., Kravchenko A. Protection of Timber from Combustion and Burning Using Alkaline Aluminosilicate-Based Coatings. *Advanced Materials Research*. 2013. Vol. 688. P. 3-9.
9. Tichino N.A. Features of the practical application of fire and bioprotective agents for wood impregnation. *Fire and explosion hazard of substances and materials*. 2002. Vol. 6. P. 38-43.
10. Khalili P., Tshai K.Y., Hui D., Kong I. Synergistic of ammonium polyphosphate and alumina trihydrate as fire retardants for natural fiber reinforced epoxy composites, *Composites Part B: Engineering*. 2017. Vol. 114. P. 101-110.
11. Krüger S., Gregor J., Gluth G., Watolla M-B., Morys M., Häßler D., Schartel B. *Neue Wege: Reaktive Brandschutzbeschichtungen für Extrembedingungen*. 2016. Vol. 93/8. P. 531-542.
12. Gaff M., Kačík F., Gašparík M., Makovická L., Osvaldová L., Čekovská H. The effect of synthetic and natural fire-retardants on burning and chemical characteristics of thermally modified teak (*Tectona grandis* L. f.) wood. *Construction and Building Materials*. 2019. Vol. 200. P. 551-558.
13. Janetti M.B., Wagner P. Analytical model for the moisture absorption in capillary active building materials. *Building and Environment*. 2017. Vol. 126. P. 98-106.
14. Ciriipi B.K., Wang Y.C., Rogers B., Assessment of the thermal conductivity of intumescent coatings in fire. *Fire Safety Journal*. 2016. Vol. 81. P. 74-84.

References

- [1] Yu. Tsapko, A. Tsapko, "Establishment of the mechanism and fireproof efficiency of wood treated with an impregnating solution and coatings", *Eastern-European Journal Enterprise Technologies*, vol. 3, no. 10 (87), pp. 50-55, 2017. [https://doi: 10.15587/1729-4061.2017.102393](https://doi.org/10.15587/1729-4061.2017.102393)
- [2] Ju. Tsapko, A. Tsapko, "Simulation of the phase transformation front advancement during the swelling of fire retardant coatings", *Eastern-European Journal Enterprise Technologies*, vol. 2, no. 11 (86), pp. 50-55, 2017. [https://doi: 10.15587/1729-4061.2017.73542](https://doi.org/10.15587/1729-4061.2017.73542).
- [3] V.P. Booth, V.M. Zhartovsky et al., "Novyj podhod k ognеbiozashite izdelij iz cellyulozy", *Pozharovzryvobezopasnost*, vol. 5, pp. 31-32, 2004.
- [4] Yu. Tsapko, V. Lomaha, O. Tsapko, S. Mazurchuk, O. Horbachova, D. Zavalov, "Determination of regularities of heat resistance under flame action on wood wall with fire-retardant varnish", *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, vol. 4, no. 4/10 (100), pp. 37-43, 2019. [https://doi: 10.15587/1729-4061.2019.175346](https://doi.org/10.15587/1729-4061.2019.175346).
- [5] Yu.V. Tsapko, A.V. Kravchenko, P.V. Krivenko, N.V. Nikolaenko, "Osnovni tendenciyi stvorenniya vognеzahisnih spuchuyuchih kompozicij dlya budivelnih konstrukcij", *Visnik Odes'koï derzhavnoï akademii budivnictv ta arhitekturi*, vol. 65, pp. 142-147, 2016.
- [6] Yu. Tsapko, A. Tsapko, O. Bondarenko, "Determination of the laws of thermal resistance of wood in application of fire-retardant fabric coatings", *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, vol. 2, no. 2/10 (104), pp. 13-18, 2020. [https://doi: 10.15587/1729-4061.2020.200467](https://doi.org/10.15587/1729-4061.2020.200467).

- [7] P.V. Krivenko, E.K. Pushkarjeva, M.V. Sukhanevich, S.G. Guziy, "Fireproof coatings on the basis of alkaline aluminum silicate systems", *Developments in Strategic Materials: Ceramic Engineering and Science Proceedings*, vol. 29, Issue 10, pp. 129-142, 2009.
- [8] P. Krivenko, S. Guzii, A. Kravchenko, "Protection of Timber from Combustion and Burning Using Alkaline Aluminosilicate-Based Coatings", *Advanced Materials Research*, vol. 688, pp. 3-9, 2013.
- [9] N.A. Tichino, "Features of the practical application of fire and bioprotective agents for wood impregnation", *Fire and explosion hazard of substances and materials*, vol. 6, pp. 38-43, 2002.
- [10] P. Khalili, K.Y. Tshai, D. Hui, I. Kong, "Synergistic of ammonium polyphosphate and alumina trihydrate as fire retardants for natural fiber reinforced epoxy composites", *Composites Part B: Engineering*, vol. 114, pp. 101-110, 2017.
- [11] S. Krüger, J. Gregor, G. Gluth, M-B. Watolla, M. Morys, D. Häßler, B. Schartel, "Neue Wege: Reaktive Brandschutzbeschichtungen für Extrembedingungen", vol. 93, Issue 8, pp. 531-542, 2016.
- [12] M. Gaff, F. Kačík, M. Gašparík, L. Makovická, L. Osvaldová, H. Čekovská, "The effect of synthetic and natural fire-retardants on burning and chemical characteristics of thermally modified teak (*Tectona grandis* L. f.) wood", *Construction and Building Materials*, vol. 200, pp. 551-558, 2019.
- [13] M.B. Janetti, P. Wagner, "Analytical model for the moisture absorption in capillary active building materials", *Building and Environment*, vol. 126, pp. 98-106, 2017.
- [14] B.K. Ciripi, Y.C. Wang, B. Rogers, "Assessment of the thermal conductivity of intumescent coatings in fire", *Fire Safety Journal*, vol. 81, pp. 74-84, 2016.

ОПТИМИЗАЦИЯ НЕОРГАНИЧЕСКИХ СОСТАВЛЯЮЩИХ ОГНЕЗАЩИТНОГО ЛАКА ДЛЯ ДРЕВЕСИНЫ

^{1,2}Цапко Ю.В., д.т.н., с.н.с.,

juryiys@ukr.net, ORCID: 0000-0003-0625-0783

¹Цапко А.Ю., м.н.с.,

alekseytsapko@gmail.com, ORCID: 0000-0003-2298-068X

¹Бондаренко О.П., к.т.н., доцент,

bondolya3@gmail.com, ORCID: 0000-0002-8164-6473

¹Научно-исследовательский институт вяжущих веществ и материалов им. В.Д. Глуховского
Киевский национальный университет строительства и архитектуры
пр. Воздухофлотский, 31, г. Киев, 03037, Украина

²Ломага В.В., аспирант,

lomaga39@gmail.com, ORCID: 0000-0002-0569-9987

²Национальный университет биоресурсов и природопользования Украины
ул. Героев Оборона, 12в, г. Киев, 03041, Украина

Аннотация. В работе исследованы процессы создания огнезащитного лака для древесины, состоящего из смеси неорганических и полимерных веществ. Установлено, что оптимизация неорганической составляющей приводит к направленному соотношению минеральных кислот и карбамида, способных к эффективной огнезащите материала. Исследования показали, что при начальной температуре газообразных продуктов горения $T = 68$ °С, при воздействии радиационной панели необработанный образец загорелся после 146 с, пламя распространилось по всей поверхности, вместо того, образец огнезащищённый лаком не воспылал, максимальная температура составляла 105 °С. При этом, как свидетельствуют результаты термостойкости, происходит изменение структуры защитной пленки покрытия: увеличивается толщина защитного слоя за счёт разложения композиции, что приводит к торможению окисления в газовой и конденсированной фазе, изменение направления разложения в сторону образования негорючих газов и тяжелогорючего коксового остатка, снижение горения материала и соответственно повышение индекса горючести. Покрытие при

воздействию высокой температуры способствует образованию теплоизолирующего слоя кокса, что предотвращает выгорание и прохождение высокой температуры к материалу, что и подтверждается отсутствием процесса воспламенения огнезащитной древесины.

Установлены особенности торможения процесса воспламенения и распространения пламени древесины, обработанной лаком, которые заключаются в нескольких аспектах. Это, образование теплоизолирующего слоя кокса, что предотвращает выгорание и прохождение высокой температуры к материалу, что и подтверждается отсутствием процесса воспламенения огнезащитного тростника. Это свидетельствует о возможности направленного регулирования процессов передачи высокой температуры к органическому материалу путем использования специальных покрытий для изделий из древесины.

Ключевые слова: огнезащита древесины, спучивающиеся покрытия, теплопроводность, обработка поверхности, теплофизические свойства.

OPTIMIZATION OF INORGANIC COMPONENTS OF FIRE PROTECTIVE VARNISH FOR WOOD

^{1,2}**Tsapko Yu.**, Doctor of Technical Sciences,
juriyts@ukr.net, ORCID: 0000-0003-0625-0783

¹**Tsapko A.**, Junior researcher,
alekseytsapko@gmail.com, ORCID: 0000-0003-2298-068X

¹**Bondarenko O.**, PhD, Associate Professor,
bondolya3@gmail.com, ORCID: 0000-0002-8164-6473

¹*Scientific Research Institute for Binders and Materials,
Kyiv National University of Construction and Architecture
Povitroflotsky ave., 31, Kyiv, 03037, Ukraine*

²**Lomaha V.**, graduate student,
lomaga39@gmail.com, ORCID: 0000-0002-0569-9987
²*National University of Life and Environmental Sciences of Ukraine
Heroiv Oborony str., 15, Kyiv, 03041, Ukraine*

Abstract. The processes of creation of fire-retardant varnish for wood consisting of a mixture of inorganic and polymeric substances are investigated in the work. It is established that the optimization of the inorganic component leads to a directional ratio of mineral acids and urea capable of effective fire protection of the material. Studies have shown that at the initial temperature of gaseous combustion products $T = 68$ °C, when exposed to the radiation panel, the untreated sample ignited after 146 s, the flame spread over the entire surface, instead, the sample fire-protected varnish did not ignite, the maximum temperature was 105 °C. In this case, as evidenced by the results of heat resistance, there is a change in the structure of the protective film of the coating. The thickness of the protective layer increases due to the decomposition of the composition, which leads to inhibition of oxidation in the gas and condensed phase, change the direction of decomposition towards the formation of non-combustible gases and combustible coke residue, reduce material combustion and increase flammability index. The coating under the influence of high temperature promotes the formation of a heat-insulating layer of coke, which prevents burning and the passage of high temperature to the material, which is confirmed by the absence of the process of ignition of fire-retardant wood.

Features of braking of process of ignition and distribution of a flame of the wood processed by a varnish which consist in several aspects are established. This is the formation of a heat-insulating layer of coke, which prevents burning and the passage of high temperatures to the material, which is confirmed by the absence of the process of ignition of fire-retardant reeds. This indicates the possibility of targeted control of high temperature transfer processes to organic material through the use of special coatings for wood products.

Key words: fire protection of wood, adhered coatings, thermal conductivity, surface treatment, thermal properties.

Стаття надійшла до редакції 27.10.2020