

УДК 699.81:614.84:536.21

DOI: 10.30838/UJCEA.2312.290426.17.1222

РОЗРОБКА ЗАХИСНОГО СКЛАДУ ТА СПОСОБУ ЙОГО ВИГОТОВЛЕННЯ ДЛЯ ЗАХИСТУ ДЕРЕВ'ЯНИХ МАТЕРІАЛІВ ТА КОНСТРУКЦІЙ ЗА ДІЄЮ ВИСОКИХ ТЕМПЕРАТУР

БЕЛІКОВ А. С.¹, *докт. техн. наук, проф.*,

ТОДОРОВ О. П.², *асп.*,

КОРОТАЄВ В. М.³, *канд. юр. наук.*,

ХАРЧЕНКО В. В.⁴, *доктор філософії*,

КЛИМЕНКО Г. О.^{5*}, *канд. техн. наук, доц.*

¹ Кафедра охорони праці, цивільної та техногенної безпеки, Український державний університет науки і технологій, ННІ «Придніпровська державна академія будівництва та архітектури», вул. Архітектора Олега Петрова, 24-а, 49005, Дніпро, Україна, e-mail: belikov@pdaba.edu.ua, ORCID ID: 0000-0001-5822-9682

² Кафедра охорони праці, цивільної та техногенної безпеки, Український державний університет науки і технологій, ННІ «Придніпровська державна академія будівництва та архітектури», вул. Архітектора Олега Петрова, 24-а, 49005, Дніпро, Україна, тел. +38 (067) 523-22-55, e-mail: 5232255@ukr.net, ORCID ID: 0009-0003-2274-0560

³ Дніпропетровський науково-дослідний експертно-криміналістичний центр МВС України, Тулик Будівельний, 1, 49033, Дніпро, Україна, тел. +38 (056) 732-16-93, e-mail: exp-walter@ukr.net, ORCID ID: 0000-0002-0269-0389

⁴ Дніпропетровський науково-дослідний експертно-криміналістичний центр МВС України, Тулик Будівельний, 1, 49033, Дніпро, Україна, тел. +38 (056) 732-16-93, e-mail: harchenko-76@ukr.net, ORCID ID: 0000-0002-7653-3001

^{5*} Кафедра охорони праці, цивільної та техногенної безпеки, Український державний університет науки і технологій, ННІ «Придніпровська державна академія будівництва та архітектури», вул. Архітектора Олега Петрова, 24-а, 49005, Дніпро, Україна, e-mail: klimenko.anna@pgasa.dp.ua, ORCID ID: 0000-0002-6885-3144

Анотація. Дерев'яні конструкції широко застосовуються в будівельній галузі, як в Україні, так і в усьому світі. Серед цілої низки позитивних якостей деревини можна виділити її органічність та комфортність, що особливо ціниться при зведенні житла та готельно-курортних комплексів. В той же час, деревина - є горючим матеріалом, і при присутності високотемпературного джерела, здатна стійко горіти. Тому, для забезпечення виконання нормативів із пожежної безпеки при експлуатації таких будівель і споруд, необхідно забезпечити безпеку їх експлуатації в надзвичайних ситуаціях, в тому числі – при виникненні пожежі. Проведений аналіз наукових робіт [1-3] свідчить, що в світовій практиці для зниження горючості деревини застосовують різні захисні засоби. В останніх наукових роботах все більше уваги приділяється деструктивним процесам, що протікають в деревині під дією високих температур з точки зору вигорання поперечного перерізу конструкцій до критичного значення, що може призвести до її обрушення. Складність і взаємозв'язок різних стадій процесу горіння деревини ускладнюють, а іноді й унеможливають, оцінку вогнестійкості та підвищення вогнестійкості будівельних дерев'яних конструкцій. Тому, для дерев'яних конструкцій на сьогодні немає практично перевірених методів оцінки їх вогнестійкої здатності. Розробка захисного складу для захисту дерев'яних матеріалів та конструкцій при дії високих температур - актуальна задача сьогодення. **Мета статті.** Забезпечення безпеки експлуатації дерев'яних конструкцій при дії високих температур за рахунок розробки нових складів захисних покриттів. **Висновки.** 1. На основі проведених досліджень були визначені матеріали і компоненти, які, внаслідок дешевизни, широкого застосування, недифіцитності, підібрані для виготовлення вогнезахисних зпучуючих покриттів. 2. Розроблено вогнезахисний склад та спосіб його застосування, що дозволяє забезпечити високі експлуатаційні властивості деревини в умовах пожежі.

Ключові слова: *пожежна безпека; дерев'яні конструкції; процес горіння; захисне покриття; захисний розчин*

DEVELOPMENT OF A PROTECTIVE COMPOSITION AND METHOD OF ITS PRODUCTION FOR PROTECTION OF WOODEN MATERIALS AND STRUCTURES UNDER THE EXPOSURE OF HIGH TEMPERATURES

BIELIKOV A.S.¹, *Dr. Sc. (Tech), Prof.*,

TODOROV O.P.², *Postgrad. Stud.*,

KOROTAIEV V.M.³, *Ph.D. (Juridical)*,

HARCHENKO V.V.⁴, *Ph.D.*,

KLYMENKO G.O.^{5*}, *Cand. Sc. (Tech.), Assoc. Prof.*

¹ Department of Occupational Safety, Civil and Technogenic Security, Ukrainian State University of Science and Technologies, ESI "Prydniprovsk State Academy of Civil Engineering and Architecture", 24-a, Architect Oleh Petrov St., Dnipro, 49005, Ukraine, tel. +38 (0562) 47-03-25, e-mail: belikov@pdaba.edu.ua, ORCID ID: 0000-0001-5822-9682

² Department of Occupational Safety, Civil and Technogenic Security, Ukrainian State University of Science and Technologies, ESI "Prydniprovsk State Academy of Civil Engineering and Architecture", 24-a, Architect Oleh Petrov St., Dnipro, 49005, Ukraine, tel. +38 (067) 523-22-55, e-mail: 5232255@ukr.net, ORCID ID: 0009-0003-2274-0560

³ Dnipropetrovsk Scientific Research Forensic Center of the MIA (Ministry of Internal Affairs) of Ukraine, 1, Budivelniiy Dead End, Dnipro, 49033, Ukraine, tel. +38 (056) 732-16-93, e-mail: exp-walter@ukr.net, ORCID ID: 0000-0002-0269-0389

⁴ Dnipropetrovsk Scientific Research Forensic Center of the MIA (Ministry of Internal Affairs) of Ukraine, 1, Budivelniiy Dead End, Dnipro, 49033, Ukraine, e-mail: harchenko-76@ukr.net, ORCID ID: 0000-0002-7653-3001

^{5*} Department of Occupational Safety, Civil and Technogenic Security, Ukrainian State University of Science and Technologies, ESI "Prydniprovsk State Academy of Civil Engineering and Architecture", 24-a, Architect Oleh Petrov St., Dnipro, 49005, Ukraine, tel. +38 (0562) 47-03-25, e-mail: klimenko.anna@pgasa.dp.ua, ORCID ID: 0000-0002-6885-3144

Abstract. Wooden structures are widely used in everyday life, both in Ukraine and elsewhere. Among the whole low positive qualities of the village one can see its organic nature and comfort, which is especially valued in the development of hotel-resort complexes. At the same time, wood is a combustible material, and in the presence of a high-temperature flame, it burns reliably. Therefore, in order to ensure compliance with the established standards and safety during the operation of such vessels and spores, it is necessary to ensure the safety of their operation in emergency situations, including in case of accident burn it. An analysis of scientific research [1-3] shows that in light practice, in order to reduce the flammability of wood, various chemical substances are used. In other scientific works, more and more respect is given to the destructive processes that occur in wood under high temperatures from the point of view of the transverse cut of the structure to a critical value, which can lead to it collapse. The foldability and interconnections of the various stages of the mining process complicate, and sometimes make it difficult to assess the susceptibility of wood and the increase in susceptibility of living wood. design. Therefore, for wooden structures today there are no practically verified methods for assessing their structural value. The development of chemical storage for the protection of wooden materials and construction at high temperatures is an urgent task today. **The purpose of the article.** Ensuring the safe operation of wooden structures when exposed to high temperatures by developing new compositions of protective coatings. **Conclusions.** 1. Based on the research, the selected materials and components were selected due to their low cost, wide availability, non-scarcity, and selection for the production of fire-resistant intumescent coatings. 2. The fire-resistant warehouse was dismantled and the method of stagnation was dismantled, which makes it possible to ensure the high operational power of the village in the minds of the former.

Keywords: *fire safety; wooden structures; combustion process; protective coating; protective solution*

Актуальність. Дерев'яні конструкції широко застосовуються в будівельній галузі, як в Україні, так і в усьому світі. Серед цілої низки позитивних якостей деревини можна виділити її органічність та комфортність, що особливо ціниться при зведенні житла та готельно-курортних комплексів. В той же час, деревина - є горючим матеріалом, і при присутності високотемпературного джерела, здатна стійко горіти. Тому, для забезпечення виконання нормативів із пожежної безпеки при експлуатації таких будівель і споруд, необхідно забезпечити безпеку їх експлуатації в надзвичайних ситуаціях, в тому числі – при виникненні пожежі.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Проведений аналіз наукових робіт [1-3] свідчить, що в світовій практиці для зниження горючості деревини застосовують різні захисні засоби. В останніх наукових роботах все більше уваги

приділяється деструктивним процесам, що протікають в деревині під дією високих температур з точки зору вигорання поперечного перерізу конструкцій до критичного значення, що може призвести до її обрушення. У [4] розглянуто вплив товщини матеріалу на займання та поширення полум'я. В той же час, недостатньо уваги приділяється деструктивним процесам, що притікають в деревині без видимих ознак вигорання, які можуть привести до втрати її цілісності, зниження несучої здатності.

Мета статті. Забезпечення безпеки експлуатації дерев'яних конструкцій при дії високих температур за рахунок розробки нових складів захисних покриттів.

Методи дослідження. При проведенні досліджень було проведено аналіз фундаментальних досліджень з питань вогнезахисту та використовувались

стандартні методи визначення пожежної небезпеки.

Результати досліджень. Складність і взаємозв'язок різних стадій процесу горіння деревини ускладнюють, а іноді й унеможливають, оцінку вогнестійкості та підвищення вогнестійкості будівельних дерев'яних конструкцій. Тому, для дерев'яних конструкцій на сьогодні немає практично перевірених методів оцінки їх вогнестійкої здатності.

У зв'язку з цим, для більш повного розуміння процесів, що відбуваються, виникла необхідність подальшого теоретичного вивчення прогріву і горіння деревини при вогневому впливі на пожежі.

Розглянемо складний процес горіння, умовно розбиваючи його на характерні стадії, які можуть суттєво вплинути на оцінку вогнестійкості конструкції.

Для захисту деревини застосовують різні захисні засоби при будівництві та експлуатації цивільних і промислових будівель і споруд, при цьому найбільший інтерес представляють покриття, що мають підвищені атмосферо- і водостійкі властивості складу і покриття при збереженні або поліпшенні його захисних властивостей.

Відомий спосіб виготовлення захисного складу, що містить рідке скло та азбест при наступному співвідношенні компонентів 1:10-5:10 (А.с. 337528 СССР опубл. 03.11.95, бюл. № 3). Недоліком цього способу є зниження захисної здатності адгезійної міцності в часі в результаті зміни його цілісності, нетехнологічності нанесення на будівельну конструкцію та вуглекислотної корозії.

Найближчим аналогом до запропонованого способу є захисний склад (патент України № 114061, опубл. 27.02.2017, бюл. №4) при наступному співвідношенні компонентів, мас. %:

1. Лускатий графіт – 17 – 20.
2. Епоксидна смола з затверджувачем – 15 – 17.
3. Зола виносу – 1 – 3.
4. Рідке скло – решта.

Недоліком аналогу є висока тріщинуватість покриття, зниження захисної

здатності в вологих приміщеннях, а при дії високої температури – розклад з виділенням токсичних продуктів.

Для вдосконалення захисної здатності покриття, зниження тріщинуватості, високої адгезійної міцності було запропоновано провести вибір компонентів та провести дослідження їх впливу на властивості захисних складів та покриття після затвердіння.

Враховуючи широке застосування рідкого скла в якості зв'язуючого в захисних складах [5], нами було прийняте в якості компонента рідке скло – водний розчин силікатів натрію $\text{Na}_2\text{O}(\text{SiO}_2)_n$ (при щільності 1,3–1,6 г/см³ і силікатів калію $\text{K}_2\text{O}(\text{SiO}_2)_n$ (при щільності 1,25–1,4 г/см³), ТУ 21875464.004-98.

Складність нанесення рідкого скла на поверхню, що захищається, виробів ускладнює його стікання з поверхні в «чистому» виді. Крім того, після затвердіння на поверхні захисний шар постійно розтріскується, що призводить до повторного нанесення шару на поверхню для досягнення визначеної захисної здатності.

Тому, нами було проведено дослідження по вивченню технологічних властивостей складів та захисної їх здатності при внесенні додаткових компонентів. При проведенні досліджень з урахуванням властивостей був проведений вибір наступних компонентів:

– зола виносу, ТУ 12.36.341-91, при наступному хімічному складі (зміст окислів, % по масі):

1. SiO_2 : 39,5 – 62,7;
2. Al_2O_3 : 13,5 – 35,5;
3. CaO : 2,5 – 5,9;
4. MgO : 1,5 – 4,3;
5. Fe_3O_4 : 8,5 – 12,8;
6. $\text{K}_2\text{O}+\text{Na}_2\text{O}$: 2,1 – 3,5;

– спучений вермикуліт – мінерал з групи гідрослюд, що мають шарувату структуру. Має високу температуру плавлення – 1350 °С. При нагріванні до температури +900 – +1000 °С спучується в обсязі в 15–25 разів. Біологічно стійкий – не схильний до розкладання і гниття під дією мікроорганізмів, ДСТУ Б.В.2.7-280:2011 (ГОСТ 12865-67);

– лускатий графіт. У лускатого графіту

кристали мають форму пластинок або листочків у жирному пластичному вигляді і мають металевий блиск. Лускатий графіт стійкий до агресивного середовища та високих температур. Має високу температуру плавлення – 3845–3890 °С при тиску від 1 до 0,9 атм, ГОСТ 17022-81;

– портландцемент М 400 ДСТУ Б В.2.7-46:2010 (загальнобудівельного призначення);

– гідрофобізатор метилсиліконат натрію ГКЖ-11. Прозора рідина від блідо-жовтого до коричневого кольору, ТУ 2229-68-

05808020-00.

До основних технологічних властивостей захисних складів відносяться: в'язкість та час затвердіння. При дослідженні за сталу складову приймали різне скло та воду в кількості 30-60 % від вагомому вмісту компонентів (рідке скло 3-5 %), а перемінними були тонкомолоті компоненти: зола виносу, спучений вермикуліт, лускатий графіт, портландцемент. На рисунку 1 наведена зміна технологічних властивостей захисних складів в залежності від вмісту портландцементу.

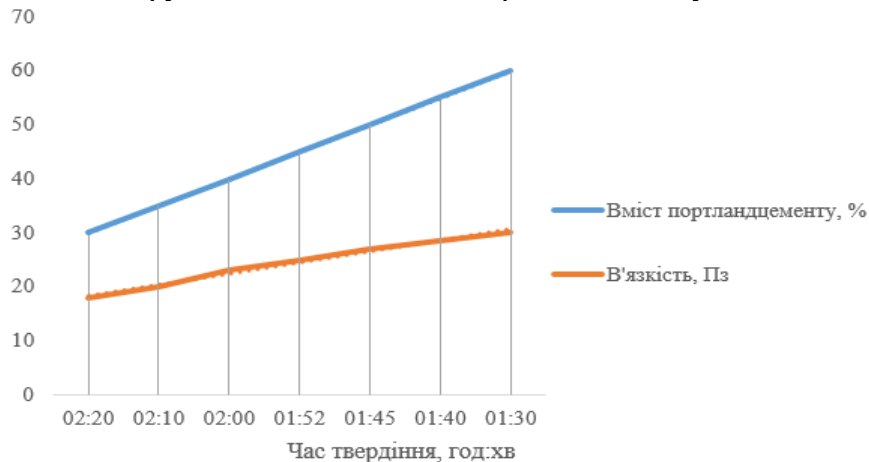


Рис. 1. Зміна технологічних властивостей захисних складів залежно від вмісту портландцементу

Згідно проведених досліджень, введення портландцементу в водний розчин призводить до утворення суміші, що здатна в залежності від вмісту портландцементу

схоплюватися та затверджувати на протязі 1 год. 30 хв. До 3 год. 08 хв. При цьому, консистенція суміші складала від 12,0 Пз до 30,0 Пз.

Таблиця

Вміст компонентів, % по масі 3 (аналог – патент України № 114061 від 27.02.2017р.)

Компоненти суміші	1	2	3	4	Найбл. аналог
портландцемент	20	30	40	50	-
лускатий графіт	3	4	4	5	20
зола виносу	5	7	8	10	3
спучений вермикуліт	30	30	40	40	-
рідке скло	3	4	4	5	решта
гідрофобізатор	0,2	0,3	0,5	0,7	-
епоксидна смола з затверджувачем	-	-	-	-	15

Після обробки одержаних даних на ЕВМ були отримані залежності, що дозволяють прогнозувати зміну технологічних властивостей складів в залежності від вмісту портландцементу.

Зміна в'язкості:
 $y = 5x + 25$.

Час затвердження складу:
 $y = 2,0321x + 16,371$.

Після нанесення вогнезахисної композиції на конструкції відбувається її тужавлення та твердіння, що призводить до утворення покриття з відповідними захисними властивостями.

При цьому досліджувались склади, наведені в таблиці.

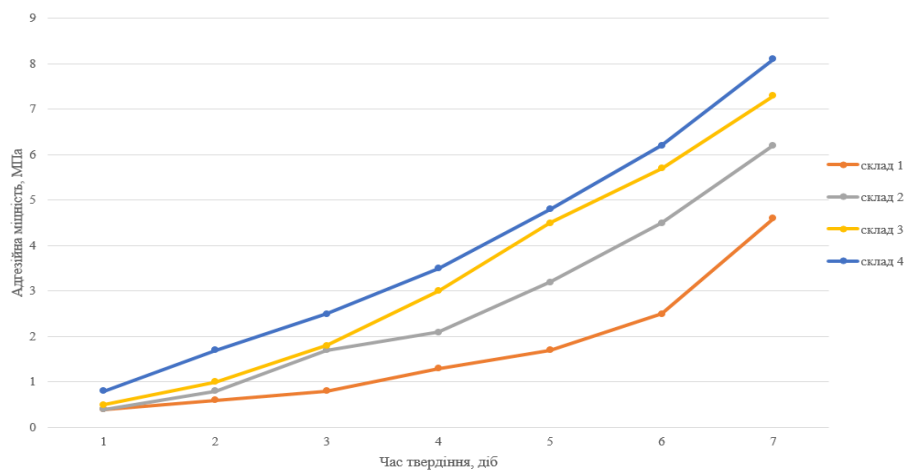


Рис. 2. Зміна адгезійної міцності при твердінні складів 1, 2, 3, 4 в часі

На рисунку 2 наведені результати досліджень адгезійної міцності в часі твердіння.

Як показали проведені дослідження (рис. 2), при введенні в склад портландцементу до 20 % (склад 1) набір адгезійної міцності відбувається практично після 4-8 днів твердіння. При цьому міцність складає до 0,4-0,6 МПа і тільки після 28 днів досягає 4,6 МПа, що дозволяє безпечно експлуатацію конструкції з урахуванням збереження складу на поверхності.

Дослідження дозволили визначити граничні умови з урахуванням адгезійної міцності застосування складів 1, 2, 3, 4.

Порівняльні випробування аналогу показали, що цей склад практично не здатен забезпечити мінімальну адгезійну міцність з покриття на протязі 16 днів твердіння і тільки по досягненні 28 днів максимальна адгезія на міцність складає 5,2 МПа.

Після обробки одержаних даних на ЕВМ були отримані залежності адгезійної міцності покриття в часі в залежності від складу.

Для складу 1:
 $y = 0,3007x^{1,1726}$.

Для складу 2:
 $y = 0,3516x^{1,4008}$.

Для складу 3:
 $y = 0,432x^{1,4194}$.

Для складу 4:
 $y = 0,7543x^{1,1654}$.

Отримані залежності дозволяють

прогнозувати величини адгезійної міцності в залежності від часу твердіння.

Проведені дослідження показали, що адгезійна міцність для запропонованих складів в віці 360 днів залишається стабільною на відміну від розглянутого аналогу.

Визначено, що в складах 1, 2, 3, 4 витримки зразків в умовах $t = 8-23$ °С, W до 75 % протягом 360 днів не відбувається зниження адгезійної міцності. В аналогу за цей час відбулося зниження адгезійної міцності на 26-27 %. Крім того, на зразках було визначено розтріскування захисного складу, що потребує додаткового оброблення поверхні для захисту.

Проведені дослідження показали, що захисне покриття при дії високих температур, починаючи з 300-350 °С, здатне вспінюватися – в результаті вспінювання на поверхні, що захищається, виникає високопоризований шар з низькою теплопровідністю.

В подальшому нами було проведено дослідження захисної здатності покриття на зразках із деревини 150×60×30 мм.

Визначення вогнезахисної здатності запропонованого покриття проводили згідно ДСТУ 8829:2019. Згідно проведених досліджень, захисне покриття дозволяє переведення деревини в групу важкоспалюваних, втрати маси менше ніж 9 %, як в віці 28 днів, так і в віці 360 днів. Випробування самого покриття на горючість показало, що воно відноситься до негорючих матеріалів.

На рисунку 3 наведено втрату маси дерев'яних зразків при випробуваннях, що були витримані протягом 28 діб та 360 діб).

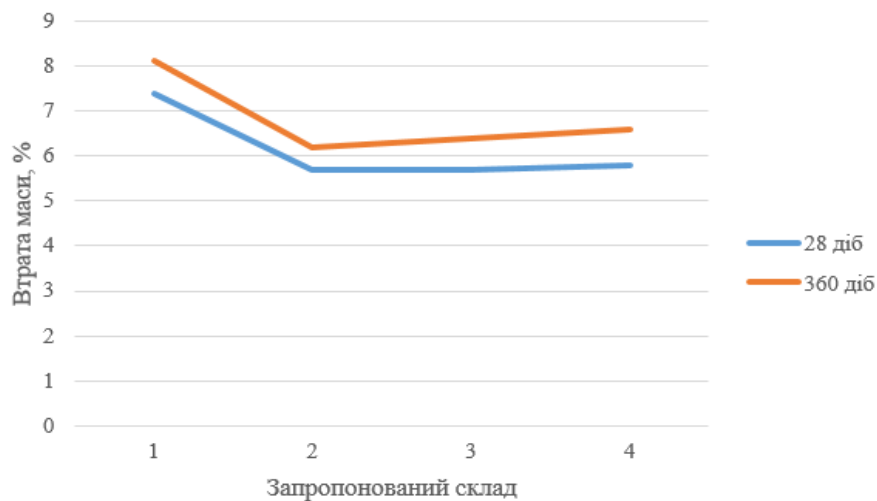


Рис. 3. Втрата маси зразків за 28 та 360 діб, мас. %

Порівняльний аналіз запропонованих складів 1, 2, 3, 4 та аналогу показав, що по показникам: адгезійна міцність та втрата маси зразків у покриттів після витримки 28 діб та 360 діб запропоновані склади відповідають вимогам пожежної безпеки, як захисне покриття. Значні втрати маси дерев'яних зразків покритих аналогом, мають втрату по масі до 12,4 % після витримки 28 діб, а з часом вона в віці 360 діб досягає 22,2 %, що не відповідає вимогам захисту.

Проведені дослідження показали, що захисне покриття на основі аналогу має низьку водостійкість. Так через 72 години витримані зразки покриття втратили до 25 % складу за рахунок присутності не зв'язаної частини рідкого скла (в складі воно сягає 40-50 %).

Запропонований спосіб виготовлення вогнезахисного покриття дозволяє підвищити адгезійну міцність, як у віці

28 діб, так і у віці 360 діб в 1,8–2,0 рази відносно адгезійної міцності відомого способу. Вогнезахисне покриття запропонованого способу забезпечує переведення деревини в розряд важкоспалювальних, втрата маси менше ніж 9 % у віці 360 діб. Втрата маси аналога у віці 360 діб складає 22,1 %, що не відповідає вимогам пожежної безпеки.

Висновки

1. На основі проведених досліджень були визначені матеріали і компоненти, які, внаслідок дешевизни, широкого застосування, недифіцитності, підібрані для виготовлення вогнезахисних зпучуючих покриттів.

2. Розроблено вогнезахисний склад та спосіб його застосування, що дозволяє забезпечити високі експлуатаційні властивості деревини в умовах пожежі.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

- Zhan W., Chen L., Cui F., Gu Z. & Jiang J. Effects of carbon materials on fire protection and smoke suppression of waterborne intumescent coating. *Progress in Organic Coatings*. 2020.
- Maria Zielecka, Anna Rabajczyk, Krzysztof Cygańczuk, Łukasz Pastuszka, Leszek Jurecki. Silicone Resin-Based Intumescent Paints. *Materials*. 2020. № 13 (21). P. 4785.
- Geoffroy L., Samyn F., Jimenez M., Bourbigot S. Intumescent Polymer Metal Laminates for Fire Protection. *Polymers*. 2018. № 10 (9). P. 995.
- Michael Delichatsios. Effects of material thickness on ignition times and creeping flame spread in the thermal regime : Theory, analytical solution and experimental justification. *Fire Safety Journal*. Elsevier, September, 2020.
- Беліков А. С. Зниження горючості і підвищення вогнестійкості будівельних дерев'яних конструкцій за рахунок застосування вогнезахисних покриттів (на прикладі підприємств вугільної промисловості) : дис. ... д-ра техн. наук : 21.06.02 – Пожежна безпека. Харків, 2001.

REFERENCES

1. Zhan W., Chen L., Cui F., Gu Z. and Jiang J. Effects of carbon materials on fire protection and smoke suppression of waterborne intumescent coating. *Progress in Organic Coatings*. 2020.
2. Maria Zielecka, Anna Rabajczyk, Krzysztof Cygańczuk, Łukasz Pastuszka and Leszek Jurecki. Silicone Resin-Based Intumescent Paints. *Materials*. 2020, no. 13 (21), p. 4785.
3. Geoffroy L., Samyn F., Jimenez M. and Bourbigot S. Intumescent Polymer Metal Laminates for Fire Protection. *Polymers*. 2018, no. 10 (9), p. 995.
4. Michael Delichatsios. Effects of material thickness on ignition times and creeping flame spread in the thermal regime: Theory, analytical solution and experimental justification. *Fire Safety Journal*. 2020.
5. Byelikov A.S. *Znizhennya goryuchosti i pidvishennya vognestijkosti budivelnih derev'yanih konstrukcij za rahunok zastosuvannya vognazahisnih pokrittiv (na prikladi pidpriemstv vugilnoyi promislovosti) : dis. ... d-ra tehn. nauk : 21.06.02 – Pozhezhna bezpeka* [Reducing flammability and increasing fire resistance of wooden building structures through the use of fire-retardant coatings (on the example of coal industry enterprises) : dissertation ... Dr. Tech. Sciences : 21.06.02 – Fire safety]. Harkiv, 2001. (in Ukrainian).

Надійшла до редакції: 12.02.2026.