

УДК 624.012

ПІДВИЩЕННЯ ВОГНЕСТІЙКОСТІ ДЕРЕВ'ЯНИХ БУДІВЕЛЬНИХ КОНСТРУКЦІЙ ЗА РАХУНОК ЗНИЖЕННЯ ГОРЮЧОСТІ ДЕРЕВИНИ

БЕЛІКОВ А. С.^{1*}, *д.т.н, проф.*,
 ШАЛОМОВ В. А.^{2*}, *к.т.н., доц.*,
 КОРЖ Є. М.^{3*}, *аспірант*,
 РАГИМОВ С. Ю.⁴, *к.т.н., доц.*

^{1*} Кафедра безпеки життєдіяльності, Державний вищий навчальний заклад «Придніпровська державна академія будівництва та архітектури», вул. Чернишевського, 24-а, м. Дніпро, Україна, 49005, тел. +38 (056) 756-34-73, e-mail: bgd@mail.pgasa.dp.ua, ORCID ID: 0000-0001-5822-9682

^{2*} Кафедра безпеки життєдіяльності, Державний вищий навчальний заклад «Придніпровська державна академія будівництва та архітектури», вул. Чернишевського, 24-а, м. Дніпро, Україна, 49005, тел. +38 (056) 756-34-57, e-mail: shalomov_v_a@mail.ru, ORCID ID: 0000-0002-6890-932X

^{3*} Кафедра Безопасности жизнедеятельности, ГВУЗ «Приднепровская государственная академия строительства и архитектуры», ул. Чернышевского, 24 а, г. Днепр, 49600, e-mail: pankorzh@i.ua ORCID ID: 0000-0002-2421-3137

⁴ Кафедра організації та технічного забезпечення аварійно-рятувальних робіт Національний університет цивільного захисту України, вул. Чернишевського 94, 61023, Харків, Україна, тел +38 (057) 370-50-52, e-mail: sergragimov@mail.ru, ORCID ID: 0000-0003-0572-4465

Анотація. Мета. Розробка вогнезахисного складу і дослідження його властивостей: визначення групи вогнезахисної ефективності запропонованого покриття. **Методика.** При виконанні досліджень проводився аналітичний огляд основних груп вогнезахисних засобів, які підвищують межу вогнестійкості дерев'яних будівельних конструкцій, дана оцінка їх технічних характеристик, а також відповідно до ДСТУ Б В.1.1-4-98 «Захист від пожежі. Будівельні конструкції. Методи випробувань на вогнестійкість. Загальні вимоги» визначено вогнезахисні властивості розробленого вогнезахисного покриття. **Результати.** Авторами був розроблена композиція вогнезахисного покриття, що спучується, яке утворює на поверхні, яка «захищається» тонкий непрозорий шар, що перешкоджає запаленню і поширенню полум'я по дерев'яній конструкції. Підбір складу вогнезахисної композиції проводився за схемою «сполучник – добавка, що спучується - наповнювач». За основу покриття взято рідке скло, через те що воно має такі позитивні характеристики як доступність, пов'язано з проявом рідким склом в'язучих властивостей - здатності до мимовільного твердіння з утворенням штучного силікатного каменю. Додавання в рідке скло таких компонентів як перліт, графіт і епоксидної смоли, беручи до уваги їх позитивні характеристики щодо дії високих температур, дозволили отримати новий вогнезахисний склад. Середньоарифметичне значення втрати маси 6 зразків складало 6,875%. Товщина шару вогнезахисного покриття становить не більше 1 мм. Згідно ДСТУ Б В.1.1-4-98 розроблене вогнезахисне покриття забезпечує I групу вогнезахисної ефективності для деревини, оскільки втрата маси захищеної деревини в умовах випробування не більше 9%. **Наукова новизна.** З урахуванням теоретичних передумов проведено вибір вихідних компонентів для нового вогнезахисного складу. **Практична значимість.** Розроблено новий негорючий спучуються склад, що спучується, який дозволяє перевести горючі матеріали в групу важкогорючих і підвищити вогнестійкість будівельних конструкцій. На розроблену вогнезахисну композицію одержано патент України на корисну модель.

Ключові слова: вогнезахисні склади, що спучуються; вогнезахист деревини; пожежа; вогнестійкість дерев'яних конструкцій; вогнезахисна ефективність покриття; рідке скло; антипірени

ПОВЫШЕНИЕ ОГНЕСТОЙКОСТИ ДЕРЕВЯННЫХ СТРОИТЕЛЬНЫХ КОНСТРУКЦИЙ ЗА СЧЕТ СНИЖЕНИЯ ГОРЮЧЕСТИ ДРЕВЕСИНЫ

БЕЛИКОВ А. С.^{1*}, *д.т.н, проф.*,
 ШАЛОМОВ В. А.^{2*}, *к. т. н., доц.*,
 КОРЖ Е. Н.^{3*}, *аспірант*,
 РАГИМОВ С. Ю.⁴, *к.т.н., доц.*

^{1*} Кафедра безопасности жизнедеятельности, Государственное высшее учебное заведение «Приднепровская государственная академия строительства и архитектуры», ул. Чернышевского, 24а, г. Днепр, Украина, 49005, тел. +38 (056) 756-34-73, e-mail: bgd@mail.pgasa.dp.ua, ORCID ID: 0000-0001-5822-9682

^{2*} Кафедра безопасности жизнедеятельности, Государственное высшее учебное заведение «Приднепровская государственная академия строительства и архитектуры», ул. Чернышевского, 24а, г. Днепр, Украина, 49005, тел. +38 (056) 756-34-57, e-mail: shalomov_v_a@mail.ru, ORCIDID: 0000-0002-6890-932X

^{3*} Кафедра безопасности жизнедеятельности, Государственное высшее учебное заведение «Приднепровская государственная академия строительства и архитектуры», ул. Чернышевского, 24а, г. Днепр, Украина, 49005, тел. +38 (056) 756-34-57, e-mail: pankorzh@i.ua ORCID ID: 0000-0002-2421-3137

⁴ Кафедра организации и технического обеспечения аварийно-спасательных работ Национальный университет гражданской защиты Украины, ул. Чернышевского 94, 61023, Харьков, Украина, тел +38 (057) 370-50-52, e-mail: sergragimov@mail.ru, ORCID ID: 0000-0003-0572-4465

Аннотация. Цель. Разработка огнезащитного состава и исследование его свойств: определение группы огнезащитной эффективности предложенного покрытия. **Методика.** При выполнении исследований проводился аналитический обзор основных групп огнезащитных средств, повышающих предел огнестойкости деревянных строительных конструкций, дана оценка их технических характеристик, а также в соответствии с ДСТУ Б В.1.1-4-98 «Защита от пожара. Строительные конструкции. Методы испытаний на огнестойкость. Общие требования» определены огнезащитные свойства разработанного огнезащитного покрытия. **Результаты.** Авторами был разработана композиция вспучивающегося огнезащитного покрытия, которое образует на «защищаемой» поверхности, тонкий непрозрачный слой, препятствующий воспламенению и распространению пламени по деревянной конструкции. Подбор состава огнезащитной композиции проводился по схеме «связующее - вспучивающаяся добавка - наполнитель». За основу покрытия взято жидкое стекло, потому что оно имеет такие положительные характеристики как доступность, связано с проявлением жидким стеклом вяжущих свойств - способности к самопроизвольному твердению с образованием искусственного силикатного камня. Добавление в жидкое стекло таких компонентов как перлит, графит и эпоксидной смолы, учитывая их положительные характеристики к воздействию высоких температур, позволили получить новый огнезащитный состав. Среднеарифметическое значение потери массы 6 образцов составило 6,875%. Толщина слоя огнезащитного покрытия составляет не более 1 мм. Согласно ДСТУ Б В.1.1-4-98 разработанное огнезащитное покрытие обеспечивает I группу огнезащитной эффективности для древесины, поскольку потеря массы защищенной древесины в условиях испытания не более 9%. **Научная новизна.** С учетом теоретических предпосылок проведен выбор исходных компонентов для нового огнезащитного состава. **Практическая значимость.** Разработано новый негорючий вспучивающийся состав, который позволяет перевести горючие материалы в группу трудногорючих и повысить огнестойкость строительных конструкций. На разработанную огнезащитную композицию получен патент Украины на полезную модель.

Ключевые слова: вспучивающиеся огнезащитные составы; огнезащита древесины; пожар; огнестойкость деревянных конструкций; огнезащитная эффективность покрытия; жидкое стекло; антипирены

INCREASE OF FIRE RESISTANCE OF WOODEN BUILDING STRUCTURES BY REDUCING THE FLAMMABILITY OF WOOD

BELIKOV A. S. ^{1*}, *Dr. Sc(Tech).*, *Prof.*,
SHALOMOV V. A. ^{2*}, *Cand. Sc.(Tech)*, *Assoc. Prof.*,
KORZH E. N. ^{3*}, *Graduate Student*,
RAHIMOV S. Yu. ⁴, *Cand. Sc. (Tech.)*.

^{1*} Department of Life Safety, State Higher Education Establishment «Pridneprovsk State Academy of Civil Engineering and Architecture», 24-A, Chernishevskogo st., Dnipro, 49005, Ukraine, phone +38 (056) 756-34-73, e-mail: bgd@mail.pgasa.dp.ua, ORCID ID: 0000-0001-5822-9682

² Department of Life Safety, State Higher Education Establishment «Pridneprovsk State Academy of Civil Engineering and Architecture», 24-A, Chernishevskogo st., Dnipro, 49600, Ukraine, phone +38 (056) 756-34-57, e-mail: shalomov_v_a@mail.ru, ORCIDID: 0000-0002-6890-932X

^{3*} Department of Life Safety, State Higher Education Establishment «Pridneprovsk State Academy of Civil Engineering and Architecture», 24-A, Chernishevskogo st., Dnipro, 49600, Ukraine, phone +38 (056) 7563-4-73, тел. +38 (056) 756-34-57, e-mail: pankorzh@i.ua ORCID ID: 0000-0002-2421-3137

⁴ Department of Organization and technical support rescue operations National University of Civil Defence of Ukraine, st. Chernyshevsky 94, Kharkiv, 61023, Ukraine, phone +38 (057) 370-50-52, e-mail: sergragimov@mail.ru, ORCID ID: 0000-0003-0572-4465

Annotation. Purpose. Development of flame retardants and study its properties: determination of effectiveness of the proposed fireproof coating. **Methods.** In carrying out investigations conducted an analytical overview of the main groups of flame retardants tools that increase fire resistance limit of builders, assess their performance, and in accordance with DSTU B V. 1. 1-4-98 "Protection from fire. Building construction. Test methods for fire resistance. General requirements "is defined fireproof properties developed fire retardant coating. **Results.** The authors developed fire retardant coating composition that swells that forms on the surface, which is "protected" thin transparent layer that prevents inflammation and the spread of flames on the wooden construction. Selection of fireproof composition performed on a "conjunction - supplement bubbled - filler." The basis of liquid glass coating is taken due to the fact that it has such positive characteristics as availability, due to the expression of liquid glass astringent properties - the ability to spontaneous curing to form artificial silicate stone. Adding water glass components such as perlite, graphite and epoxy, taking into account their positive characteristics about high temperatures, provided a new flame retardant. Mean value of weight loss 6 samples was 6.875%. The thickness of fire-proof coatings is less than 1 mm. According to DSTU B V.1.1-4-98 designed fireproof coating provides group I fireproof efficiency for wood as weight loss in a secure timber under test is not more than 9%. **Scientific novelty.**

Given the choice of theoretical assumptions held initial components for the new flame retardant. *Practical meaningfulness*. It has developed a new non-combustible intumescent composition that allows to convert combustible material to the group and to increase slow-fire building designs.

Keywords: flame retardants that bubbled; flameproof; fire; fire resistance of wooden structures; the effectiveness of fireproof coatings; liquid glass; flame retardants

Постановка проблеми. Деревина й конструкцій з неї займають велику частку в будівництві житлових, громадських, виробничих та складських будівель і споруд. Деревина є екологічно чистим матеріалом, що має свої відмінні декоративні характеристики, яких потребує сучасна будівельна індустрія. До того ж різноманітні статистичні аналізи свідчать про те, що тенденція до збільшення обсягів використання конструкцій та матеріалів на основі деревини буде зберігатися. Разом з тим, деревина - є горючим, а відповідно, і пожежонебезпечним матеріалом.

Кожен рік в Україні фіксуються тисячі пожеж в будівлях різноманітного призначення. В зв'язку з цим цілком актуальним є прагнення уникнути цього лиха завдяки проведенню спеціальних заходів, вартість яких складає до 15 % повної вартості споруд та до 35 % вартості конструкцій, що підлягають вогнезахисту. Більш за все забезпечується пожежна безпека несучих, горищних, огорожувальних конструкцій з деревини.

Найголовніша задача, що виконує вогнезахист - це зниження ймовірності загоряння горючих матеріалів від різних джерел вогню, що обмежені за часом дії та потужності (малокалорійні джерела), а саме: палаючого сірника, короткого замикання, запаленого дрантя. В зв'язку з цим, завдання забезпечення захисту деревини від запалення від малокалорійних джерел вогню завжди буде актуальною.

Аналіз останніх досліджень, виокремлення невіршених раніше частин загальної проблеми. Виходячи з призначення і області застосування засоби, що використовуються для вогнезахисту деревини та виробів з неї, поділяються на такі види [1]:

- за природою складових: органічні і неорганічні;
- по реакції на вплив тепла: активні (спучування, спінювання) і пасивні;
- за способом застосування: просочення; обмазка (до 5 мм); фарби, лаки (до 1 мм); штукатурки (до 0,5-2 см); облицювальні матеріали.

Кожен з представлених класів засобів має як переваги, так і недоліки щодо застосування їх для вогнезахисту будівельних конструкцій з деревини.

Покриття (фарби, емалі, лаки) утворюють на поверхні деревини, що захищається тонку плівку, яка надає декоративний вигляд, яка перешкоджає загорянню, поширенню полум'я поверхнею і захищає від впливу вологи. Однак фарби, емалі на основі органічних складових в більшості випадків виготовляються на горючих розчинниках, залишки якого можуть міститися в плівках, утворених з них.

Тобто протягом деякого часу такі покриття після нанесення можуть мати знижені вогнезахисні властивості.

Лакофарбові матеріали на основі синтетичних в'язучих при горінні схильні до інтенсивного димота сажоутворення. Більш ефективними, порівняно з лаками, фарбами та емалями, які використовуються скоріше як засоби профілактики горіння, є вогнезахисні покриття, які спучуються [2-4]. При вогневому впливі вони збільшуються в обсязі в десятки, а то і сотні разів, утворюючи шар твердої піни з низькою теплопровідністю і високою стійкістю до полум'я.

Покриття, які спучуються є багатокомпонентними системами, що складаються з сполучного, антипірена і піноутворювачів – добавок, які спучуються. Підбір компонентів покриття, їх індивідуальні властивості, забезпечення їх сумісності, яка в основному і визначає властивості покриття, істотно впливають на загальні властивості вогнезахисних покриттів, які спучуються. Тому при їх розробці використовують математичну модель, що дозволяє за фізичними властивостями покриття передбачити температурний режим поверхні, яка захищається і може бути використана для оцінки ефективності покриття і вибору напрямку їх створення. Основою покриттів, які спучуються можуть бути органічні і неорганічні в'язучі, які зумовлюють як їх переваги, так і недоліки.

Так, покриття на основі органічних в'язучих мають хороші декоративні властивості, високу адгезію до підготовленої поверхні деревини, наносяться тонким шаром, але в той же час дорогі, мають високу димоутворювальну поверхню і обмежений час їх вогнезахисної дії. При вогневому впливі спучений коксовий шар поступово вигорає, механічно руйнується і відшаровується від поверхні. Тому актуальним є розробка вогнезахисних засобів, що не містять горючих компонентів і володіють високими вогнезахисними властивостями.

Більшість покриттів, які спучуються на основі неорганічних в'язучих виготовляються на основі рідкого натрієвого або калієвого скла. Основною їх перевагою є значно менша їх вартість у порівнянні з фарбами на органічних в'язучих, негорючість самих покриттів, відсутність токсичних виділень при горінні. Однак вони мають низькі декоративні властивості, невисоку механічну міцність, малий термін експлуатації, нестійкість до впливу вологи, велика витрата при нанесенні для досягнення однакового рівня вогнезахисної ефективності з органічними фарбами.

Висока вогнезахисна дія гелеутворюючих складів обумовлена їх низькою теплопровідністю і

наявністю в своєму складі антипіренів [5]. Вогнезахисні покриття на основі таких складів одночасно діють як обмазка (штукатурка) і як просочення. До переваг гелеутворюючих складів можна віднести малу трудомісткість їх нанесення на дерев'яні конструкції, можливість візуального контролю суцільності і товщини покриття, можливість отримання складів, які спучуються, введення в них антипіренів і інгібіторів горіння. Недоліками їх є легке відшарування і суттєве розтріскування під час сушіння, що знижує їх довговічність, декоративні властивості і атмосферостійкість.

Вогнезахисне просочування деревини дозволяє підвищити термічну стійкість матеріалу, збільшити тривалість вогнезахисту [6-8]. Просочувальні склади, як правило, представляють собою водні розчини солей (антипіренів), які наносяться на поверхню або вводяться в поверхневі шари деревини способом глибокого просочення. Поверхнєве просочення антипіренами не викликає зниження міцності і не створює внутрішніх напружень в деревині, просте у виконанні, дозволяє обробляти дерев'яні конструкції безпосередньо на будівельному об'єкті, антипірени є найбільш поширеними на ринку засобів вогнезахисту. Однак отримати надійний вогнезахист таким способом вкрай складно.

Методи глибокого просочення спрямовані на збільшення кількості антипірену в деревині, а також збереження її текстури. Однак зі збільшенням кількості антипірену в деревині погіршуються її фізико-механічні властивості, крім того для забезпечення I групи вогнезахисту глибоке просочення вимагає спеціального обладнання або оснащення, і, отже, не здійсненне в умовах будівельного майданчика.

Недоліком водорозчинних антипіренів на основі неорганічних солей є їх висолування після зволоження деревини, що призводить до зниження вогнезахисного ефекту. Отже, такі склади можуть використовуватися тільки для внутрішнього вогнезахисту деревини. З метою збільшення довговічності вогнезахисного просочування для деревини, що експлуатується на відкритому повітрі, можлива додаткова обробка просоченої деревини гідрофобізуючими складами. Під час теплового впливу більшість вогнезахисних матеріалів піддаються різного роду деформаціям, що призводить до їх відшарування, утворення великих і глибоких тріщин з оголенням поверхні, що захищається.

Істотний вплив на деформацію надає еластичність покриття, кількість газів, що виділяються при нагріванні, а також ступінь відповідності коефіцієнтів теплового розширення покриття і матеріалу, який захищається. Іншими словами, будь-яке вогнезахисне покриття в процесі експлуатації рано чи пізно втрачає захисні властивості. Після цього деревина потребує повторної обробки. Крім того, деревині загрожує не

тільки вогонь, але і біоруїнування, а простіше кажучи - гниття, утворення мікроорганізмів, бактерій, цвілі, грибків і т.д. Повноцінний захист деревини повинен бути комплексним, особливо в будівлях, розташованих в місцевостях з вологим кліматом, в низинах, долинах річок тощо.

На сьогодні все більше застосування знаходять комбіновані вогнебіозахисні склади [9, 10]. Найчастіше це просочення, які містять цілий перелік складових: антипірени, біоциди, антисептики, фарбувальні пігменти, плівкоутворювальні добавки для захисту від атмосферного впливу. Універсальний склад в будь-якому випадку буде програвати засобу спеціального призначення. У зв'язку з тим, що термін експлуатації будівель і споруд обчислюється десятиліттями, зростають вимоги до збереження вогнезахисної ефективності застосовуваних покриттів. Основний показник - вогнезахисна ефективність може бути втрачена з часом без видимих змін покриття.

В якості інноваційних інгредієнтів, що забезпечують поліпшення експлуатаційних характеристик вогнезахисних покриттів (і органорозчинних, і водорозчинних), застосовуються порожнисті скляні мікрокульки (склосфери) і вуглецеві нанотрубки [3, 5]. Порожні склосфери відносять до дорогих наповнювачів, проте їх застосування економічно виправдано, оскільки вміст у полімері порожніх склосфер в кількості 5-20% за рахунок їх низької щільності істотно знижує вартість одиниці об'єму матеріалу.

Аналіз вогнезахисних засобів, їх використання в будівництві для підвищення вогнестійкості конструкцій з деревини показав, що багато хто з них має цілу низку недоліків, таких як дорожнеча і дефіцитність окремих компонентів, токсичність багатьох застосовуваних речовин [11-13], особливо при збільшенні температури повітря. Ці та інші чинники сприяють подальшому пошуку і розробці нових вогнезахисних покриттів для будівельних конструкцій з деревини, що забезпечують необхідні параметри вогнезахисту, з урахуванням вимог споживчого ринку України.

Мета роботи. Кафедрою безпеки життєдіяльності ДВНЗ «Придніпровської державної академії будівництва та архітектури» ведуться роботи по підвищенню вогнестійкості будівельних конструкцій. На сьогоднішній день розроблено ряд ефективних вогнезахисних складів, які застосовуються в даний час на народно-господарських об'єктах з метою зниження їх пожежної небезпеки. До таких ефективних складів відносяться і наведений тут нижче вогнезахисний склад на який отримано патент України на винахід [14].

Нами було проведено аналітичний огляд основних груп вогнезахисних засобів, що підвищують межу вогнестійкості дерев'яних будівельних конструкцій, наведено оцінку їх технічних характеристик, а також відповідно до

ДСТУ Б В.1.1-4-98 «Захист від пожежі. Будівельні конструкції. Методи випробувань на вогнестійкість. Загальні вимоги» визначені вогнезахисні властивості розробленого вогнезахисного покриття.

Виклад основного матеріалу досліджень. Авторами був розроблений склад вогнезахисного засобу, який спучується (далі - ВЗС), який утворює на поверхні, яка захищається тонкий непрозорий шар, що перешкоджає запаленню і поширенню полум'я по дерев'яній конструкції. Винахід відноситься до галузі будівельних матеріалів і може бути використаний при виготовленні вогнезахисного покриття для підвищення вогнестійкості будівельних конструкцій.

Підбір складу проводився за схемою «сполучник – добавка, яка спучується - наповнювач».

За основу покриття обрано рідке скло, тому що воно має такі позитивні характеристики як доступність, пов'язане з проявом рідким склом в'язучих властивостей - здатності до мимовільного твердіння з утворенням штучного силікатного каменю. Унікальною здатністю рідкого скла є також його високі адгезійні властивості до підкладки різної хімічної природи. У цих випадках рідке скло виступає в якості хімічного сполучника для склеювання різних матеріалів, виготовлення покриттів і виробництва композиційних матеріалів широкого призначення. До недоліків рідкого скла відноситься погане нанесення на дерев'яні конструкції (висока плинність), розчинність в воді, при затвердінні з'являються тріщини.

В основу винаходу поставлена задача удосконалення вогнезахисного складу для отримання вогнезахисного покриття, введення в яке додаткових компонентів забезпечує підвищення вогнестійкості і адгезійної міцності покриття, що дозволяє перевести вогнезахисні конструкції, які захищаються в I групу вогнезахисної ефективності для деревини (втрата маси до 9%), а також вирішувати питання технологічності нанесення композиції. Поставлена задача досягається за рахунок нанесення вогнезахисного покриття, яке включає рідке скло, перліт, золу уноса, інтеркальований графіт і епоксидну смолу на дерев'яні будівельні конструкції. Розглянемо основні характеристики даних компонентів.

Графіт. Має високу теплопровідність, яка становить 3,55 Вт * град/см і займає місце між паладієм і платиною. Коефіцієнт теплопровідності 0,041 (в 5 разів більше, ніж у цегли). У тонких графітових ниток теплопровідність вище, ніж у мідних. Температура плавлення графіту - 3845-3890° С при тиску від 1,0 до 0,9 атм. Точка кипіння доходить до 4200°С. Температура займання в струмені кисню становить для явнокристалічних графітів 700-730°С. Кількість тепла, одержуваного при спалюванні графіту, знаходиться в межах від 7832 до 7856 ккал. Хімічно інертний і не розчиняється ні в яких розчинниках, крім розплавлених металів, особливо тих, у яких висока

точка плавлення. При розчиненні утворюються карбіди, найбільш важливими з яких є карбіди вольфраму, титану, заліза, кальцію і бору. При звичайних температурах графіт з'єднується з іншими речовинами дуже важко, але при високих температурах він дає хімічні сполуки з багатьма елементами.

Перліт. Основні компоненти перліту: діоксид кремнію SiO₂ (65-75%), оксид алюмінію Al₂O₃ (10-16%), оксид калію K₂O (до 5%), оксид натрію Na₂O (до 4%), оксид заліза (III) Fe₂O₃ (від частки до 3%), оксид магнію MgO (від частки до 1%), оксид кальцію CaO (до 2%), вода H₂O (2-6%). Сипучий, пористий, пухкий, легкий, довговічний матеріал. Вогнестійкий: температура застосування - від -200 до +900°С. Тепло- і звукоізоляційний, має високу всмоктуючу здатність: здатний увібрати рідини до 400% власної ваги. Біологічно стійкий: не схильний до розкладання і гниття під дією мікроорганізмів, не є сприятливим середовищем для комах і гризунів. Хімічно інертний: нейтральний до дії лугів і слабких кислот. Перліт є екологічно чистим і стерильним матеріалом, не токсичний, не містить важких металів.

Епоксидна смола. Стійка до дії галогенів, деяких кислот (до сильних кислот, особливо до кислот-окислювачів, має слабку стійкість), лугів, має високу адгезію до металів. Атмосферостійка, водостійка, має високу адгезію.

Зола уносу – тонкодисперсний матеріал, що утворюється з мінеральної частини твердого палива, яке спалюється в пилоподібному стані, і вловлюється золовловлювальними пристроями з димових газів теплових електростанцій. Матеріал досить однорідний, на 90% складається з алюмосилікатів, причому, близько 2/3 припадає на SiO₂. Крім того, вона практично не містить незгорілих частинок, які є шкідливими домішками. Зола уносу складається з аморфної і кристалічної фази, причому перша становить понад 70%, завдяки чому зола має високу активність (у порівнянні з кварцовим піском), аморфна складова в основному представлена склом. Кристалічна складова включає кварц, польові шпати, муліт тощо.

Питома поверхня золи становить 280 – 350 м²/кг. Її середня щільність знаходиться в межах 1900-2000 кг/м³, насипна 700-720 кг/м³. Вологість золи становить 0,1-0,2%. Зола уносу має знижене значення питомої ефективної активності ПРН - 95,06 Бк/кг, що дає підставу говорити про достатній рівень, екологічності продукту.

При визначенні групи вогнезахисної ефективності розробленого ВЗС проводили згідно ДСТУ Б В.1.1-4-98 «Захист від пожежі. Будівельні конструкції. Методи випробувань на вогнестійкість. Загальні вимоги» [4] використовувалися зразки прямошаруватої повітряно-сухої деревини - сосни - прямокутні бруски з поперечним перерізом 30 × 60 мм і довжиною 150 мм. Зразки тримали в полум'ї пальника протягом 2 хв. Через 2 хв подачу газу в пальник припиняли і залишали зразок в приладі для

охлаждения до комнатной температуры. На рис. 1 показаны зразки с нанесенным покрытием до огневого влияния, и после випробування.

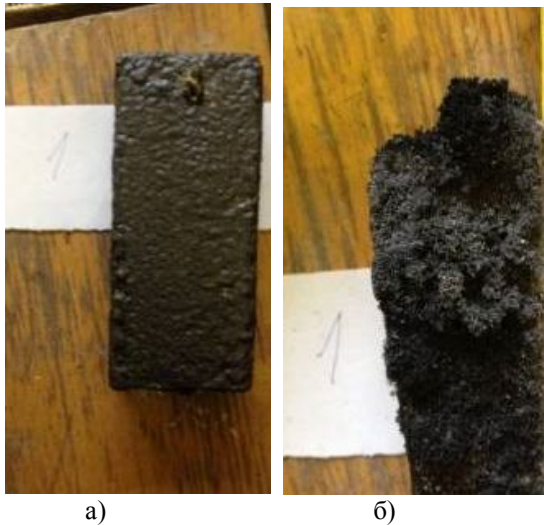


Рис. 1. Вид ВЗС, нанесеного на сосновый брусok розміром 60×30×150 мм: а) до випробувань; б) після випробування / Type of flame retardant intumescent composition applied to the pine block size of 60×30×150 mm: a) prior to testing; b) after the test

Остиглый зразок деревини витягували з керамічного коробу і зважували. Втрату маси зразків у відсотках вираховували за формулою:

$$P = \frac{(m_1 - m_2) \cdot 100\%}{m_1} \quad (1)$$

де m_1 – маса зразку до випробування, г;
 m_2 – маса зразку після випробування, г.

Середньоарифметичне значення втрати маси 10 зразків склало 6,875%. Товщина шару ВЗС становить не більше 1 мм. Згідно ДСТУ Б В.1.1-4-98 розроблене

ВЗС забезпечує I групу вогнезахисної ефективності для деревини, оскільки втрата маси захищеної деревини в умовах випробування не більше 9%. Результати випробувань зразків, оброблених вогнезахисним покриттям наведені в табл. 1.

Таблиця 1

Результати випробувань /
 The results of tests

№	Маса зразків, г			Втрата маси зразку, P, %	Коефіцієнт спінення K_{sp} , %
	без покриття, m	з покриттям до випробування, m_1	з покриттям після випробування, m_2		
1	112,12	153,51	146,87	7,432	160
2	101,84	138,87	133,37	6,948	190
3	99,15	140,96	134,13	8,725	240
4	115,30	161,54	152,58	8,313	140
5	134,85	148,13	142,89	5,474	150
6	105,86	179,63	174,69	4,358	140

Висновок. На основі проведеного аналітичного огляду основних груп вогнезахисних засобів, що підвищують межу вогнестійкості дерев'яних будівельних конструкцій, розроблений новий вогнезахисний склад, який спучується на основі рідкого скла. Визначено вогнезахисні властивості розробленого вогнезахисного покриття відповідно до ДСТУ Б В.1.1-4-98. Середньоарифметичне значення втрати маси 10 зразків склало 6,875%. При товщині шару ВЗС не більше 1 мм розроблене ВЗС забезпечує I групу вогнезахисної ефективності для деревини, оскільки втрата маси захищеної деревини в умовах випробування не більше 9%.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. ДБН В 1.1-7-2002 «Пожезна безпека об'єктів будівництва». – Київ : Державний комітет України з будівництва та архітектури, 2003. – 69 с.
2. Корольченко А. Я. Средства огнезащиты: справочник / А. Я. Корольченко, О. Н. Корольченко. — Москва: Пожнаука, 2006. — 258 с.
3. Леонович А. А. Огнезащита древесины и древесных материалов: Учебное пособие. – Санкт Петербург, 1994. – 148 с.
4. ДСТУ Б В.1.1-4-98 «Захист від пожежі. Будівельні конструкції. Методи випробувань на вогнестійкість. Загальні вимоги». – Київ : Державний комітет України з будівництва та архітектури, 1999. – 75 с.
5. Орлова А. М. Огнезащита древесины / А. М. Орлова, Е. А. Петрова // Пожаровзрывобезопасность. – 2000. – т. 9, №2. – С. 8–17.
6. Еремина Т. Ю. Нормирование качества огнезащитных вспучивающихся красок / Т. Ю. Еремина, Ю. Н. Дмитриева, М. В. Крашенинникова // Лакокрасочные материалы и их применение. — 2006. — № 11. — С. 8–11.
7. Баженов С. В. Определение срока службы огнезащитных покрытий по результатам натуральных и ускоренных климатических испытаний / С. В. Баженов, Ю. В. Наумов // Пожаровзрывобезопасность. — 2005. — № 6. — С. 59-67.
8. Охрана труда в строительстве : учебник / [Беликов А. С., Сафонов В. В., Нажа П. Н. и др.] ; под общ. ред. А. С. Беликова. – Киев : Основа, 2014. – 592 с.
9. Вахитова Л. Н. Армирование вспученного слоя огнезащитных покрытий / Л. Н. Вахитова, К. В. Калафат, М. П. Лапушкин, П. А. Фещенко // Лакокрасочные материалы и их применение. — 2007. — № 7-8. — С. 81-85.
10. К вопросу обеспечения безопасной эксплуатации металлических конструкций в очаге пожара / А. С. Беликов, В. А. Шаломов, Ю. Ф. Стаценко, Е. Н. Корж // Строительство, материаловедение, машиностроение : сб. науч. тр. /

- Приднепр. гос. акад. стр-ва и архитектуры. – Днепропетровск, 2015. – Вып. 83 : Безопасность жизнедеятельности. – С. 34-39.
11. Roitman V. M. Fire testing of Building Materials in View of the Moisture Factor.— First European Symposium of Fire Safety Science (Abstracts).— Zurich. ETH. 2005. —P. 135-136.
 12. Dou H. S., Tsai H. U., Khoo B. Ch. Simulation of detonation wave propagation in rectangular duct using three dimensional WENO scheme // Comb. Flame. 2012. V. 154. P. 644-647.
 13. Cadorn J. F., Perez Jimenez C., Franssen J. M. Influence of the section and of the insulation type on the equivalent time // Proceedings of the 4th International Seminar on Fire and Explosion Hazards. University of Ulster, 2011. P. 547–557.
 14. Пат. 114002 Україна, МПК С09К 21/00. Суміш для виготовлення вогнезахисного покриття / Беліков А. С., Капленко Г. Г., Корж Є. М., заявник і патентовласник Державний вищий навчальний заклад «Придніпровська державна академія будівництва та архітектури». – №201608710. Заявл. 11.08.2016; Надр. 27.02.2017; Бюл. 4. – 4 с.

REFERENCES

1. DBN B 1.1-7-2002 *Pozhezna bezpeka ob'ektiv budivnytstva* [Fire safety of construction objects]. *Derzhavnyi comitet Ukrainy z budivnytstva ta arhitekturi* [Ukrainian State Committee of construction and architecture]. Kyiv : 2003. – 69 p. (in Ukrainian).
2. Korolchenko A. Ya. and Korolchenko O. N. *Sredstva ognemaschity* [Means of fire protection]. — Moskva : Pozhnuka, 2006. — 258 p. (in Russian).
3. Leonovich A. A. *Ognezaschity drevesiny i drevesnykh materialov* [Fire protection of wood and wood-based materials]. – St. Petersburg, 1994. – 148 p. (in Russian).
4. DSTU B V.1.1-4-98 *Zahist vid pozhezhi. Budivelni konstruktivni. Metodi viprobuvannia na vognestiykist. Zagalni vimoги* [Protection from fire. Building construction. Test methods for fire resistance. General requirements]. *Derzhavnyi comitet Ukrainy z budivnytstva ta arhitekturi* [Ukrainian State Committee of construction and architecture]. Kyiv : 1999. – 75 p. (in Ukrainian).
5. Orlova A. M. and Petrova E. A. *Ognezaschity drevesiny* [Fire protection of wood]. *Pozharovzryvobezopasnost* - [The explosion safety]. – 2000. – Vol. 9, no. 2. – pp. 8–17. (in Russian).
6. Eremina T. Yu., Dmitrieva Yu. N. and Krashennikova M. V. *Normirovanie kachestva ognemaschitnykh vspuchivayushchihysya krasok* [Standardization of the quality of fire-retardant intumescent paints]. *Lakokrasochnye materialy i ih primenenie* - [Paintwork materials and their application]. - 2006. - no. 11. - pp. 8-11. (in Russian).
7. Bazhenov S. V. and Naumov Yu. V. *Opredelenie sroka sluzhby ognemaschitnykh pokrytiy po rezul'tatam naturnykh i uskorennykh klimaticheskikh ispytaniy* [Determination of the service life of fire retardant coatings based on the results of full-scale and accelerated climatic tests]. *Pozharovzryvobezopasnost* - [Fire and explosion safety] . - 2005. - no. 6. - pp. 59-67. (in Russian).
8. Belikov A. S., Safonov V. V., Nazha P. N., Chalyiy V. G., Shlyikov N. Yu., Shalomov V. A. and Ragimov S. Yu. *Ohrana truda v stroitel'stve* [A labour protection in building]. – Kiev: Osнова, 2014. – 592 p. (in Russian).
9. Vahitova L. N., Kalafat K. V., Lapushkin M. P. and Feschenko P. A. *Armirovanie vspuchennogo sloya ognemaschitnykh pokrytiy* [Reinforcement of the expanded layer of fireproof coatings] *Lakokrasochnye materialy i ih primenenie* - [Paintwork materials and their application]. - 2007. - no. 7-8. - pp. 81-85. (in Russian).
10. Belikov A. S., Shalomov V. A., Statcenko Yu. F. and Korzh E. M. *K voprosu obespecheniya bezopasnoy ekspluatatsii metallicheskih konstruktivnykh v ochage pozhara* [To the issue of ensuring the safe operation of metal structures in the fire area] *Stroitel'stvo, materialovedenie, mashinostroenie* – [Construction, materials science, mechanical engineering]. PDABA. Dnipropetrovsk, 2015, no. 83, pp. 34-39. (in Russian).
11. Roitman V. M. Fire testing of Building Materials in View of the Moisture Factor.— First European Symposium of Fire Safety Science (Abstracts).— Zurich. ETH. 2005. - pp. 135-136.
12. Dou H. S., Tsai H. U., Khoo B. Ch. Simulation of detonation wave propagation in rectangular duct using three dimensional WENO scheme // Comb. Flame. 2012. V. 154. pp. 644-647.
13. Cadorn J. F., Perez Jimenez C., Franssen J. M. Influence of the section and of the insulation type on the equivalent time // Proceedings of the 4th International Seminar on Fire and Explosion Hazards. University of Ulster, 2011. pp. 547–557.
14. Belikov A. S., Kaplenko G. G., Korzh E. M. *Sumish dlya виготовлення вогнезахисного покриття* [The mixture for making fire-proof coatings]. *Pat. 114002 Ukrayina, MPK S09K 21/00, заявник і патентовласник Державний вищий навчальний заклад «Придніпровська державна академія будівництва та архітектури»*. – №201608710. Заявл. 11.08.2016; Надр. 27.02.2017; Бюл. 4. – 4 p.(in Ukrainian).

Стаття надійшла в редколегію 24.03.2017