

УДК 624.012

DOI: 10.30838/P.СММ.2415.250918.35.128

АНАЛІЗ ВПЛИВУ ВХІДНИХ КОМПОНЕНТІВ НА ТЕПЛОФІЗИЧНІ ВЛАСТИВОСТІ ПОКРИТТЯ ПРИ ВОГНЕВОМУ ВПЛИВІ

БЄЛІКОВ А. С.¹, *д.т.н., проф.*,
ШАЛОМОВ В. А.^{2*}, *к.т.н., доц.*,
КОРЖ Є. М.^{3*}, *аспірант*,
ЛЕВЧЕНКО А. А.⁴, *магістр*,
ШАЛОМОВ О. В.⁵, *студент*.

¹ Кафедра безпеки життєдіяльності, ДВНЗ «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, ДВНЗ «Придніпровська державна академія будівництва та архітектури», вул. Чернишевського, 24-а, м. Дніпро, Україна, 49005, тел. +38 (056) 756-34-57, e-mail: shalomov1709@gmail.com, ORCID ID: 0000-0002-6890-932X

^{3*} Кафедра безпеки життєдіяльності, ДВНЗ «Придніпровська державна академія будівництва та архітектури», вул. Чернишевського, 24-а, м. Дніпро, Україна, 49005, тел. +38 (056) 756-34-57, e-mail: pankorzh@gmail.com ORCID ID: 0000-0002-2421-3137

⁴ Кафедра безпеки життєдіяльності, ДВНЗ «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: 0000-0002-7557-9745

⁵ Кафедра безпеки життєдіяльності, ДВНЗ «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: 0000-0002-4500-5767

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. Збільшення вмісту наповнювачів дозволяє збільшити інтервал застосування композиції до 900-920⁰С, а максимальну температуру при якій забезпечується спучування покриття 540-680⁰С. Згідно з дослідженнями найбільша вогнезахисна ефективність покриття досягається при вмісті в композиції азбестоцементних відходів від 15,0 до 22,5%, алюмокальцієвого шлаку від 7,5 до 10,0%. Збільшення вмісту наповнювачів і технічної бури за раціональну область знижує теплозахисну здатність покриття і знижує вогнезахисну ефективність покриття. Додавання у вогнезахисну композицію сульфітно-спиртової бражки в значній мірі поліпшує зчеплення покриття з поверхню, яка оберігається, що позначається і на вогнезахисній здатності покриття, вона зростає до 76,0-81,0 хвилин. **Наукова новизна.** З урахуванням теоретичних передумов проведено вибір вихідних компонентів для нового вогнезахисного складу. **Практична значимість.** Розроблено новий негорючий 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

АНАЛИЗ ВЛИЯНИЯ ВХОДЯЩИХ КОМПОНЕНТОВ НА ТЕПЛОФИЗИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА ПОКРЫТИЯ ПРИ ОГНЕВОМ ВОЗДЕЙСТВИИ

БЕЛИКОВ А. С.¹, *д.т.н., проф.*,
ШАЛОМОВ В. А.^{2*}, *к. т. н., доц.*,
КОРЖ Е. Н.^{3*}, *аспирант.*,
ЛЕВЧЕНКО А. А.⁴, *магистр.*,
ШАЛОМОВ А. В.⁵, *студент*.

¹ Кафедра безопасности жизнедеятельности, ГВУЗ «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, ГВУЗ «Приднепровская государственная академия строительства и архитектуры», ул. Чернышевского, 24а, г. Днепр, Украина, 49005, тел. +38 (056) 756-34-57, e-mail: shalomov1709@gmail.com, ORCIDID: 0000-0002-6890-932X

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

⁴ Кафедра безопасности жизнедеятельности, ГВУЗ «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: 0000-0002-7557-9745

⁵ Кафедра безопасности жизнедеятельности, ГВУЗ «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: 0000-0002-4500-5767

Цель. Разработка огнезащитного состава и исследования его свойств: определение группы огнезащитной эффективности предложенного покрытия. **Методы.** 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 защитного покрытия. **Результаты.** Авторами была разработана композиция защитного вспучивающегося покрытия, которое образует на защищаемой поверхности тонкий непрозрачный слой, препятствующий воспламенению и распространению пламени по деревянной конструкции. Подбор состава защитной композиции проводился по схеме «вязущее - вспучивающаяся добавка, - наполнитель». За основу взято жидкое стекло, потому что оно имеет такие положительные характеристики как доступность, связано с проявлением вязущих свойств - способности к самопроизвольному твердению с образованием искусственного силикатного камня. Увеличение содержания наполнителей позволяет увеличить интервал применения композиции до 900-920⁰С, а максимальную температуру, при которой обеспечивается вспучивание покрытия 540-680⁰С. Согласно исследованиям наибольшая защитная эффективность покрытия достигается при содержании в композиции асбестоцементных отходов от 15,0 до 22,5%, алюмокальциевого шлака от 7,5 до 10,0%. Увеличение содержания наполнителей и технической буре за рациональную область снижает теплозащитную способность покрытия и снижает эффективность покрытия. Добавление в защитную композицию сульфитно-спиртовой бражки в значительной степени улучшает сцепление покрытия с защищаемой поверхностью, что сказывается и на огнезащитной способности покрытия, она возрастает до 76,0-81,0 мин. **Научная новизна.** С учетом теоретических предпосылок проведен выбор исходных компонентов для нового защитного состава. **Практическая значимость.** Разработан новый негорючий вспучивающийся состав, который позволяет перевести горючие материалы в группу трудногорючих и повысить огнестойкость строительных конструкций. На разработанную защитную композицию получен патент Украины на полезную модель.

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

ANALYSIS OF THE INFLUENCE OF INCOMING COMPONENTS ON THE THERMOPHYSICAL PROPERTIES OF THE COATING UNDER FIRE EXPOSURE

BELIKOV A. S. ¹, *Dr. Sc(Tech), Prof.*,
SHALOMOV V. A. ^{2*}, *Ph.D. (Tech), Assoc. Prof.*,
KORZH E. N. ^{3*}, *Doctoral Student*,
LEVCHENKO A. A. ⁴, *M.S (Tech)*.
SHALOMOV A. V. ⁵, *Student*.

¹ Department of Life Safety, SHEE «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, SHEE «Pridneprovsk State Academy of Civil Engineering and Architecture», 24-A, Chernishevskogo st., Dnipro, 49600, Ukraine, phone +38 (056) 756-34-57, e-mail: shalomov1709@gmail.com, ORCIDID: 0000-0002-6890-932X

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

⁴ Department of Life Safety, SHEE «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: 0000-0002-7557-9745

⁵ Department of Life Safety, SHEE «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: 0000-0002-4500-5767

Purpose. Development of fire protection composition and study of its properties: definition of fire protection group of the proposed coating. **Methodology.** In the course of the research, an analytical review of the main groups of fire retardants, which increase the fire resistance of wooden construction constructions, gave an assessment of their technical characteristics, as well as in accordance with DSTU B V.1.1-4-98 "Fire protection. Building constructions. Test methods for fire resistance. General requirements" defines the fire-protective properties of the developed fire protection coating. **Findings.** The authors developed a composition of flame retardant coating that forms on the surface, which "protects" a thin non-transparent layer that prevents inflammation and spread of flame on a wooden structure. The selection of composition of fire protection composition was carried out according to the scheme "compound - the additive that is flowing - the filler". The basis of the coating is liquid glass, because it has such positive characteristics as accessibility, due to the manifestation of liquid glass adhesive properties - the ability to spontaneous hardening with the formation of artificial silica. An increase in the content of fillers can increase the use interval of the composition to 900-920°C, and the maximum temperature at which provides the swelling of the coating 540-680°C. According to studies, the highest fire-retardant coating efficiency is achieved with content in the composition of asbestos-cement waste from 15.0 to 22.5%, aluminum-calcium slag from 7.5 to 10.0%. An increase in the content of fillers and technical drill for a rational area reduces the heat-shielding ability of the coating and reduces the fire-retardant effectiveness of the coating. Adding to the flame retardant composition sulfite-alcoholic membrane greatly improves the adhesion of the coating from the protected surface, which also affects the fire-protective ability of the coating, it grows to 76.0-81.0 minutes. **Originality.** Taking into account the theoretical preconditions, the choice of output components for a new fire protection composition has been carried out. **Practical value.** A new non-flammable spillway structure is developed, which allows the transfer of combustible materials into a group of heavier and increase fire resistance of building structures. On the developed fireproof composition the Ukrainian patent for utility model was obtained.

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

Постановка проблеми

Згідно статистичних даних УкрНДЦЗ за 8 місяців 2018 року в Україні зареєстровано 54 071 пожежі. Порівняно з аналогічним періодом 2017 року спостерігається зменшення кількості пожеж на 14,7%. В той же час, кількість людей, загиблих унаслідок пожеж, збільшилась на 1,3%, травмованих на пожежах зменшилось на 0,1%. Прямі збитки від пожеж збільшились на 0,3%, побічні зменшились на 0,3%. На 1,6% більше знищено та пошкоджено техніки, у 5,4 рази більше загинуло свійських птахів, на 33,0% більше знищено тонн зерна, на 7,0% менше знищено та пошкоджено будівель і споруд, на 30,6% менше знищено тонн кормів, на 26,5% менше загинуло свійських тварин.

Матеріальні втрати від пожеж склали 5 млрд 260 млн 410 тис. грн (з них прямі збитки становлять 1 млрд 341 млн 518 тис. грн, а побічні – 3 млрд 918 млн 892 тис. грн). На пожежах виявлено 1 168 загиблих людей, у тому числі 26 дітей. Загинуло внаслідок пожеж 1 163 людини, у тому числі 32 дитини; 989 людей отримали травми, з них 81 дитина.

Упродовж 8 місяців 2018 року в Україні в середньому щодня виникало 222 пожеж, на яких гинуло 4 і отримувало травми 4 людини, вогнем знищувалось або пошкоджувалось 68 будівель і споруд та 12 одиниць транспортних засобів. Щоденні матеріальні втрати від пожеж становили суму близько 21,6 млн грн. Кожною пожежею державі наносились прямі збитки на суму 24,8 тис. грн. [1]

В зв'язку з цим цілком актуальним є прагнення уникнути цього лиха завдяки розробці захисних покриттів. Найголовніша задача, яку 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 та публікацій

Аналіз захисних засобів, їх використання в будівництві для підвищення вогнестійкості конструкцій з деревини показав, що багато з них має цілу низку недоліків, таких як дорожнеча і дефіцитність окремих компонентів, токсичність багатьох застосовуваних речовин [2], 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 з підвищення 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.

Виклад основного матеріалу досліджень

Згідно проведених раніше досліджень [3-6] рідке скло має значну величину спучування $K=15$. В процесі спучування в рідкому склі протікають процеси переходу від початкової щільної структури покриття в пористу дисперсну комбіновану систему зі зміною фізичних і теплофізичних властивостей. При цьому виявлено [3], основний процес спучування покриття що протікає в результаті випаровування вільної та кристалізаційної води. Дослідження показали, що початок спучування покриття відзначено при температурі 100-125°C, а при досягненні температури 170-210°C відбувається перехід рідкої фази у в'язко-

піропластичний стан з інтенсифікацією спучування. Особливо інтенсивне спучування покриття відзначається в інтервалі температур 210-370⁰С (випаровування кристалізаційної води). Область деструкції спученого рідкоскляного покриття становить 580-600⁰С з переходом в рідко-пластичний стан та стіканням з поверхні. Згідно досліджень [3] в рідке скло для збільшення межі температурного застосування вводяться різні наповнювачі, які дозволяють за рахунок армування каркаса знизити температурний вплив на покриття.

Аналіз досліджень показав, що зі збільшенням вмісту в композиції азбестоцементних відходів і алюмокальцієвого синтетичного шлаку і зменшенням вмісту рідкого скла коефіцієнт спучування знижується з 15,0 до 6,0. В області раціонально підібраних складів він становить 10,0-8,0. Збільшення вмісту наповнювачів дозволяє збільшити інтервал застосування композиції до 900-920⁰С, а максимальну температуру при якій забезпечується спучування покриття 540-680⁰С.

На рис. 1 представлена залежність зміни спучування покриття від температури при стандартному розвитку пожежі.

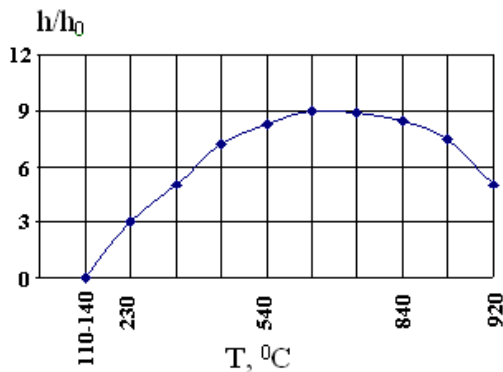


Рис. 1. Зміна величини спучування покриття при розвитку пожежі за стандартним режимом (співвідношення азбестоцементних відходів: алюмокальцієвого шлаку - 20,0 : 10,0) / The change in the magnitude of the expansion of the coating in the development of fire in the standard mode (the ratio of asbestos cement waste: calcium-aluminum slag - 20.0 : 10.0)

У початковій стадії температурного впливу до 110-140⁰С в покритті відзначаються незначні зміни структури, а в подальшому з підвищенням температури до 230⁰С відбувається значне випаровування води (K=3,0).

Збільшення температури веде до зростання спучування, яке, практично, закінчується в інтервалі 540-680⁰С. Подальший нагрів покриття веде, починаючи з інтервалу 840⁰С до часткового ущільнення структури і руйнування структурного пористого каркаса. При досягненні температури 920⁰С відбувається перехід до в'язко-пластичного стану, що різко позначається на теплозахисних властивостях

покриття. Це підтверджують дослідження зміни щільності і коефіцієнта теплопровідності покриття від температурного впливу. Так, відповідно до рис. 2 при початковій щільності 905 кг / м³ і коефіцієнті теплопровідності 0,126 Вт / м * град покриття зазнає в результаті температурного впливу значні структурні зміни, що призводить до зниження щільності до 200-190 кг / м³, а коефіцієнта теплопровідності до 0,11-0,113 Вт / м * град (температура 580-680⁰С).

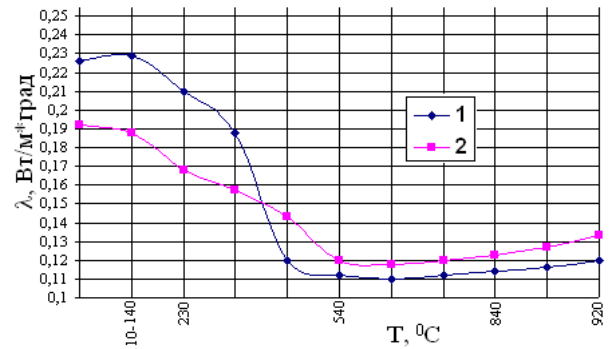


Рис. 2. Зміна щільності і коефіцієнта теплопровідності покриття при розвитку пожежі по стандартному режиму (співвідношення азбестоцементних відходів: алюмокальцієвого шлаку - 20,0; 10,0) : 1 - зміна коефіцієнта теплопровідності; 2 - зміна щільності / The change in the density and thermal conductivity of the coating during the development of a fire according to the standard mode (the ratio of asbestos cement waste: calcium-alumina slag is 20.0 : 10.0) : 1 - change of heat conductivity coefficient; 2 - change in density

Встановлено, що в початковий період прогріву (110-140⁰С) при зниженні щільності покриття до 880 кг / м³ відбувається деяке збільшення теплопровідності (коефіцієнт теплопровідності зростає до 0,229 Вт / м * град). Пояснюється це значною міграцією води при температурному впливі, що збільшує теплопровідність. Надалі при прогріванні спостерігається загальна закономірність для зміни щільності та теплопровідності. Особливо різке зниження щільності і теплопровідності відзначено в інтервалі 230-440⁰С, в подальшому цей процес стабілізується. Мінімальні значення щільності і теплопровідності відзначені в інтервалі 580-660⁰С (ρ=190 кг / м³, λ=0,110 Вт / м * град) Це добре поєднується з максимальною величиною спучування покриття (K=9,0).

Часткове ущільнення структури при підвищенні температури понад 840⁰С веде до підвищення щільності і теплопровідності покриття (ρ=217-310 кг / м³, λ=0,114-0,120 Вт / м * град). Отримані результати досліджень (рис. 1-2) добре узгоджуються з результатами досліджень захисної ефективності покриття.

Так, згідно з дослідженнями найбільша вогнезахисна ефективність покриття досягається при вмісті в композиції азбестоцементних відходів від 15,0 до 22,5%, алюмокальцієвого шлаку від 7,5 до 10,0%. При цьому досягається зниження щільності пок-

риття до 190-174 кг / м³, а коефіцієнта теплопровідності до 0,114-0,110 Вт / м * град. Напевно, високі теплотехнічні властивості спученого покриття дозволяють знизити тепловий удар на поверхню металу, яка захищається.

Після математичної обробки отриманих даних (рис. 1 і 2) на ЕОМ встановлені наступні залежності:

Зміна коефіцієнта спучування покриття від температури вогневого впливу:

$$K = -0,0298T^3 + 0,0876T^2 + 2,4793T - 2,3643 \quad (1)$$

Зміна щільності покриття від температури вогневого впливу, кг / м³:

$$j = 3,2601T^3 - 37,071T^2 - 12,212T + 968,36 \quad (2)$$

Зміна коефіцієнта теплопровідності покриття від температури вогневого впливу, Вт / м * град:

$$\lambda = 0,0009T^3 - 0,011T^2 + 0,015T + 0,2282 \quad (3)$$

Високі значення отриманих коефіцієнтів кореляції дозволяють судити про високу значимість отриманих залежностей. Отримані залежності дозволяють визначати заздалегідь на стадії проектування зміни теплотехнічних властивостей, що дозволяє прогнозувати вогнезахисну ефективність покриття.

Дослідження показали, що майже аналогічно поводить покриття в осередку пожежі й захисною композиції з застосуванням в якості другого зв'язуючого наповнювача глиноземистого цементу. Але максимальна температура при якій можливо ще спучування покриття трохи нижче і становить 520-660⁰С. Коефіцієнт спучування покриття для раціональної області композиції складає K=8,5-10,5. При цьому щільність знижується до 216-170 кг / м³, коефіцієнт теплопровідності становить 0,113-0,105 Вт / м * град. Як показали дослідження вогнезахисна ефективність такого покриття за рахунок більш високих значень теплозахисту трохи вище, ніж, проте через високу здатність до тріщин покриття, відзначено підвищення теплопровідності покриття при температурі 750⁰С і вище, що і визначає вогнезахисну здатність покриття до 63 хв.

Додавання у захисну композицію сульфитно-спиртової бражки в значній мірі поліпшує зчеплення покриття з поверхню, яка оберігається, що позначається і на вогнезахисній здатності покриття, вона зростає до 76,0-81,0 хвилин. При цьому, незважаючи на більш високу щільність спученого покриття (j =260-270 кг / м³), коефіцієнт теплопровідності становить 0,098-0,108 Вт / м * град. Мабуть, за рахунок введення в композицію СДБ (від 1,0 до 2,0%) це сприяє утворенню замкнутого дрібнодисперсного пористого покриття зі збереженням щільної структури в зоні контакту (при збереженні коефіцієнта спучування K=9,0-10,5). На рис. 3 наведені дослідження впливу введен-

ня технічної бури в захисну композицію на основні теплотехнічні властивості покриття.

Як видно з рис. 3 в міру збільшення технічної бури від 0 до 8,0% відбувається в значній мірі збільшення коефіцієнта спучування. Так, для композиції при співвідношенні наповнювачів - азбестоцементних відходів і алюмокальцієвого шлаку 17,5:7,5 коефіцієнт спучування зростає від 8,5 до 14,0. Це пояснюється високою деструкцією в складі композиції бури, а також рідкого скла за рахунок видалення при високотемпературному впливі води. У міру збільшення жорсткості каркаса (збільшення процентного вмісту наповнювачів) відбувається зниження спучування, однак його величина залишається значущою K=9,5-13,2.

При цьому щільність покриття знижується з 920 кг / м³ до 215-347 кг / м³, а коефіцієнт теплопровідності становить 0,086-0,131 Вт / м * град. З урахуванням найбільш досяжної для даного покриття вогнезахисної ефективності 79,0-81,0 хв для раціональної області прийнято граничне значення технічної бури від 4,0 до 6,0%. При цьому, як показали дослідження щільність покриття складає від 215-256 кг / м³, а теплопровідність 0,086-0,091 Вт / м * град, що добре узгоджується з встановленням оптимального співвідношення компонентів.

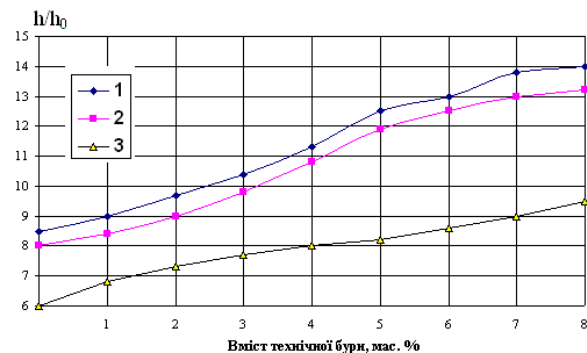


Рис. 3. Вплив вмісту технічної бури на величину спучування покриття (при вмісті компонентів: азбестоцементні відходи - алюмокальцієвий шлак) : 1 – 17,5:7,5; 2 – 20,0:7,5; 3 – 20,0:15,0 / The effect of the content of technical borax on the amount of expansion of the coating (with the content of components: asbestos-cement waste - alumo-calcium slag) : 1 – 17,5:7,5; 2 – 20,0:7,5; 3 – 20,0:15,0

Дослідження показали, що максимальна температура при якій можливо спучування покриття становить 520-600⁰С. Так, відмічено, що введення бури знижує температуру спучування покриття на 35-70⁰С. Встановлено, що інтервал застосування такого покриття складає 920-930⁰С, в подальшому спостерігається підвищення теплопровідності покриття і його розм'якшення зі стіканням з поверхні.

Після обробки отриманих даних рис. 3 на ЕОМ отримані наступні залежності:

Зміна коефіцієнта спучування покриття від вмісту технічної бури при співвідношенні наповнюва-

чів - азбестоцементні відходи: алюмокальцієвий шлак - 17,5: 7,5):

$$K = -0,0155x^3 + 0,2244x^2 - 0,1482x + 8,4746 \quad (4)$$

Зміна коефіцієнта спучування покриття від змісту технічної бури при співвідношенні наповнювачів - азбестоцементні відходи: алюмокальцієвий шлак - 20,0: 7,5):

$$K = -0,02x^3 + 0,2859x^2 - 0,3917x + 8,146 \quad (5)$$

Зміна коефіцієнта спучування покриття від змісту технічної бури при співвідношенні наповнювачів - азбестоцементні відходи: алюмокальцієвий шлак - 20,0: 15,0):

$$K = 0,0103x^3 - 0,168x^2 + 1,1836x + 4,9913 \quad (6)$$

де: x - вміст технічної бури, %.

Високі значення отриманих коефіцієнтів дозволяють судити про значимість отриманих моделей.

Отримані моделі 1-6 дозволяють на стадії вибору компонентів оцінити вогнезахисну здатність покриття. Введення в захисну композицію разом технічної бури і сульфітно-дріжджової бражки дозволяє в значній мірі поліпшити не тільки технологічні властивості композиції, але і вогнезахисну спроможність покриття. На рис. 4 наведено результати дослідження впливу вмісту технічної бури на величину спучування покриття.

Дослідження показали, що введення сульфітно-дріжджової бражки до 1,5% не робить істотного впливу на величину спучування і, в основному, спучування покриття залежить від процентного вмісту інших компонентів.

Висновки

Як показали дослідження збільшення вмісту наповнювачів і технічної бури за раціональну область

знижує теплозахисну здатність покриття і знижує вогнезахисну ефективність покриття.

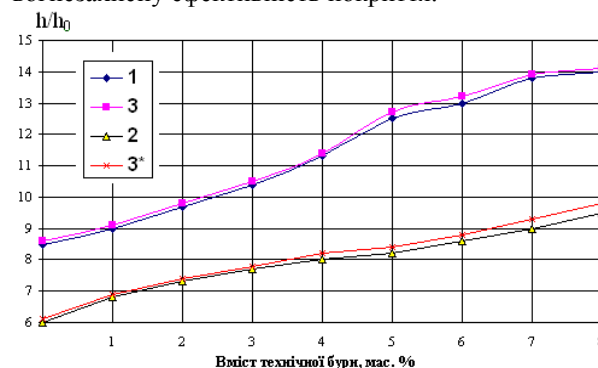


Рис. 4. Вплив змісту вхідних компонентів на величину спучування вогнезахисної композиції (при вмісті компонентів: азбестоцементні відходи - алюмокальцієвий шлак) : 1 - 17,5:7,5; 2 - 20,0:15,0; 3, 3* - сульфітно-дріжджова брага 1,5% / The influence of the content of incoming components on the amount of expansion of the flame retardant composition (with the content of components: asbestos-cement waste - aluminocalcium slag) : 1 - 17,5:7,5; 2 - 20,0:15,0; 3, 3* - sulphite yeast brew 1,5%

Так, збільшення вмісту в композиції азбестоцементних відходів до 40,0% знижує коефіцієнт спучування до 7,0, при цьому, щільність зростає до 520 кг/м^3 , а теплопровідність до $0,161 \text{ Вт/м}^{\circ}\text{C}$. Збільшення вмісту технічної бури до 6,0% веде до збільшення спучування з 8,5 до 14,0, але при цьому утворюється пухка не міцна структура з відкритими порами, що в значній мірі негативно позначається на теплофізичні властивості покриття і його захисні властивості. Тому при приготуванні запропонованих вогнезахисних композицій необхідно дотримуватися якісного дозування компонентів.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Статистика пожеж // Український науково-дослідний інститут цивільного захисту. – Режим доступу: <http://undicz.dsns.gov.ua/ua/STATISTIKA-POZHEZH>. – Назва з екрана. – Перевірено: 08.10.2018.
2. Корольченко А. Я. Средства огнезащиты: справочник / А. Я. Корольченко, О. Н. Корольченко. — Москва: Пожнаука, 2006. — 258 с.
3. Повышение огнестойкости деревянных строительных конструкций за счет снижения горючести древесины / А. С. Беликов, В. А. Шаломов, Е. Н. Корж, С. Ю. Рагимов // Строительство, материаловедение, машиностроение : сб. науч. тр. / ПГАСА. – Днепр, 2017. – Вып. 98 : Энергетика, экология, компьютерные технологии в строительстве. – С. 38-45.
4. Cadorin 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.
5. 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.
6. 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.

REFERENCES

1. Statistika pozhezh [Fire statistics]. *Ukrayinskiy naukovy-doslidniy Institut tsivilnogo zahistu*. [Ukrainian Research Institute of Civil Protection]. Available at: <http://undicz.dsns.gov.ua/ua/STATISTIKA-POZHEZH>. (in Ukrainian).

2. Korolchenko A. Ya. and Korolchenko O. N. *Sredstva ognezaschity* [Means of fire protection]. — Moskva : Pozhnauka, 2006. — 258 p. (in Russian).

3. Belikov A. S., Shalomov V. A., Korzh E. M. and Ragimov S/ Yu. *Povyishenie ognestoykosti derevyannyih stroitelnyih konstruktsiy za schet snizheniya goryuchesti drevesinyi* [Increase of fire resistance of wooden building structures due to reduction of flammability of wood] *Stroitelstvo, materialovedenie, mashinostroenie* – [Construction, materials science, mechanical engineering]. PDABA. Dnipro, 2017, no. 98, pp. 38-45. (in Russian).

4. Cadorn J. F., Perez Jimenez C. and 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.

5. Dou H. S., Tsai H. U. and Khoo B. Ch. Simulation of detonation wave propagation in rectangular duct using three dimensional WENO scheme // Comb. Flame. 2012. V. 154. pp. 644-647.

6. 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.

Надійшла до редколегії 09.09.2018 р.