

УДК 614.84

А. С. Беликов, д. т. н., проф., В. А. Шаломов, к. т. н., доц., И. В. Трифонов д. т. н., проф.,
ГВУЗ «ПГАСА»,
Е. В. Борсук, Е. В. Дзецина,
Черкасский институт пожарной безопасности имени Героев Чернобыля НУГЗ Украины

ВНЕДРЕНИЕ СРЕДСТВ ОГНЕЗАЩИТЫ ДЛЯ ПОВЫШЕНИЯ ОГНЕСТОЙКОСТИ СТРОИТЕЛЬНЫХ КОНСТРУКЦИЙ

Приведены результаты опытно-промышленных испытаний разработанных огнезащитных композиций, которые показали, что их применение позволяет повысить безопасность эксплуатации строительных объектов, повысить безопасность аварийно-спасательных работ при возникновении экстремальных условий на объекте с высокотемпературным воздействием

Ключевые слова: безопасность строительных объектов и конструкций, безопасность путей эвакуации, огнезащитная композиция, горючесть строительных материалов.

Постановка проблемы. Статистические данные свидетельствуют, что безопасность строительных объектов, безопасность эвакуации людей, безопасность аварийно-спасательных работ в полной мере зависят от горючести и огнестойкости применяемых материалов и конструкций. Так, за 10-летний период с 2004 по 2014 гг из общего числа жертв при пожарах в культурно-массовых учреждениях Западной Европы 47,2% погибло не от огня, а в результате обрушения конструкций, горючести материалов на путях эвакуации.

Анализ последних достижений и публикаций. В настоящее время существуют различные способы повышения времени безопасной эксплуатации строительных материалов и конструкций: защита строительных конструкций от прямого источника огня за счет их оштукатуривания, нанесения специальных стойких к высоким температурам красок, лаков и специальных покрытий.

Одним из эффективных способов повышения безопасного времени эксплуатации конструкций является применение защитных покрытий, которые за счет вспучивания снижают теплопередачу на строительные конструкции.

Постановка задачи и ее решение. Однако, отечественная промышленность, практически их не выпускает, а завозимые импортные, в основном на органической основе, не отвечают требованиям, в полной мере, безопасности и весьма дорогие. Поэтому разработка отечественных негорючих защитных покрытий, исследование их защитных свойств и внедрение на производстве является важной научно-технической задачей для Украины.

Выделение нерешенных ранее частей общей проблемы, которым посвящена статья. Исследования показали, что предложенные огнезащитные композиции: ВЗП-Ж-2; ВЗП-1А; ВЗП-2А обладают высокими огнезащитными свойствами и для их изготовления и применения требуются не дорогие, не дефицитные компоненты. Многие из них являются отходами производства. Поэтому возникла необходимость в проведении опытно-промышленных испытаний предложенных композиций и отработке безопасной технологии их применения.

Изложение основного материала исследования с полным обоснованием полученных научных результатов.

Анализ объектов предприятия “Днепракремстрой” показал, что они не отвечают требованиям безопасной эксплуатации из-за несоответствия пожарным нормам. Значительная часть построек выполнена из горючих материалов и конструкций, а многие объекты перепрофилированы в связи с изменением технологических процессов и назначения, что не отвечает нормативам пожарной безопасности, требованиям охраны труда.

Административное здание

Согласно предписаний пожарного надзора каркасы подвесных потолков административных и складских зданий и сооружений следует выполнять из негорючих материалов. Заполнение подвесных потолков запрещается выполнять из горючих материалов в общих коридорах, на лестницах, лестничных клетках, вестибюлях, холлах и фойе зданий I и IVa степеней огнестойкости.

В административном здании около 305 м² навесных потолков в коридорах и на лестничных площадках выполнены из древесных материалов, что не отвечает правилам безопасной эксплуатации зданий, создает угрозу жизни работающим на путях эвакуации в случае возникновения пожара, поэтому возникает необходимость замены дерева на негорючие материалы. В то же время, анализ состояния здания показал, что замена деревянных потолков является весьма сложной в техническом решении и требует обязательного усиления конструктивных элементов, что связано со значительными материальными затратами и временной приостановкой работы здания по назначению.

Согласно определения возгораемости навесные панели обшитые листом асбестоцемента толщиной до 6 мм или сухой штукатуркой при сгораемом каркасе не могут быть отнесены к трудносгораемым.

Поэтому для повышения безопасной эксплуатации здания, безопасной эвакуации людей в случае пожара нами было предложено провести обработку навесных потолков огнезащитным составом композиции ВЗП-2А при следующем соотношении компонентов, % по массе:

асбестоцементные отходы	20
шамотный песок	5
техническая бура	5
жидкое стекло	остальное

Согласно проведенных ранее исследований была принята толщина покрытия 1 мм.

В качестве основных компонентов были использованы:

- натриевое жидкое стекло с силикатным модулем 3,5, плотностью 1,4 г/см³;
- асбестоцементные отходы с содержанием, масс. в %: CaO 50,2-52,4; SiO₂ до 18,2; Al₂O₃ 3,0-4,0; Σ MgO+Na₂O 3,30-4,25; SO₃ до 3,0; п.п.п. до 15,0;
- шамотный песок - отход производства шамотного кирпича с содержанием SiO₂ 48-52%; Al₂O до 45%;
- техническая бура - с содержанием до 90% соли тетраборной кислоты H₂B₄O₇.

В табл. 1 приведены физико-механические свойства огнезащитной композиции.

Таблица 1 - Физико-механические свойства огнезащитной композиции

Свойства смеси огнезащитной композиции						
Плотность, г/см ³	Растекаемость по конусу АзНИИ, см	Вязкость по КЦ-5, Пз	Водоотстой, %	Укрываемость, г/м ²	Толщина слоя покрытия, мм	Время загустевания при t=20 ⁰ С, ч-мин
1,60	16,0	27,0	1,8	600	0,5-0,6	1-15

Для приготовления огнезащитных составов применяли типовое технологическое оборудование.

Технология приготовления огнезащитных составов включает следующие процессы:

- подготовка материалов;
- дозировка компонентов;
- совместное тонкое измельчение твердых компонентов (при необходимости);
- совместное перемешивание до однородной массы твердых и жидких компонентов;
- расфасовка и затаривание (при необходимости).

Применительно к данным условиям, приготовление огнезащитных составов включает следующее технологическое оборудование:

1. Дозатор для взвешивания компонентов;
2. Емкость для жидкого стекла и других компонентов;
3. Емкость для приготовления раствора;
4. Насос с высоконапорными шлангами;
5. Емкость с водой для промывки насоса;
6. Сетка для отсева крупных примесей;
7. Манометр для контроля давления нагнетания насоса;
8. Денсиметр для контроля плотности жидкостей.

В смесительную емкость загружают компоненты в такой последовательности: жидкое стекло и добавки регуляторы свойств, а затем тонкоизмельченные твердые компоненты. При этом, постоянно прокачивая насосом раствор жидкого стекла с компонентами огнезащитного состава, добиваются равномерного перемешивания до получения однородной массы.

Производство работ по огнезащите выполняется в следующей последовательности:

- подготовка конструкций для нанесения огнезащитных составов;
- подготовка исходных материалов (компонентов) и проверка их качества;
- подготовка к работе установки для приготовления и нанесения огнезащитных составов;
- приготовление огнезащитного раствора и нанесение его на конструкции;
- контроль качества нанесения покрытия.

Подготовка исходных материалов, проверка их качества, подготовка конструкций, приготовление и нанесение огнезащитных покрытий производили в строгом соответствии последовательности основных технологических операций [1-3].

Подготовка строительных конструкций для нанесения огнезащитных составов

До начала работ конструкции очищаются от краски, грязи. При необходимости производится обезжиривание.

Безопасность приготовления и нанесения огнезащитных композиций на строительные конструкции

1. К эксплуатации технологического оборудования, приготовлению и нанесению покрытия допускаются лица не моложе 18 лет прошедшие подготовку по программе-минимум, утвержденной главным инженером предприятия после их аттестации с выдачей удостоверения.

2. При выполнении работ по нанесению огнезащитного покрытия следует руководствоваться ДБН А.3.2-2-2009 “Охорона праці і промислова безпека у будівництві”, санитарными нормами СН 245-81.

3. Все работы по приготовлению покрытия должны проводиться при хорошей вентиляции, обеспечивающей чистоту воздуха в рабочей зоне, содержание вредных веществ не должно превышать ПДК и отвечать требованиям СН 245-81, ГОСТ 12.1.005-88 “Воздух в рабочей зоне”.

4. Лица, занятые на работах по приготовлению и нанесению огнезащитных покрытий должны быть обеспечены средствами индивидуальной защиты, спецодеждой из хлопчатобумажной ткани по ГОСТ 12.4.085-80, ГОСТ 12.4.086-80, средствами индивидуальной защиты органов дыхания (респиратор универсальный РУ-60М, ГОСТ 17269-71 с патроном марки А, ШБ-2 “Лепесток-200”, ГОСТ 12.4.028-76, обувью и средствами защиты рук по ГОСТ 12.4.103-83, защитными очками по ГОСТ 12.4.003-80.

5. Покрытие ВЗП-Ж-2; ВЗП-1А; ВЗП-2А не содержат токсичных веществ.

Компоненты огнезащитных составов проверяются на соответствие их стандартам и техническим условиям.

При этом обязательно контролируются следующие параметры:

■ плотность жидкого стекла по денсиметру должна быть от 1,18 до 1,5 г/см³, для калиевого или натриевого стекла с модулем 2,5-3,0.

Твердые компоненты должны строго просеиваться через сито, при этом, не должно быть комков и примесей. Удельная поверхность должна быть не менее 1000-1500 см²/г.

Приготовление огнезащитных композиций может производиться как на специальных технологических машинах с установкой согласно замеров тары, так и непосредственно в условиях производства перед применением. Технология их приготовления не требует специального технологического оборудования и в условиях предприятия “Днепрапремстрой” нами было использовано следующее оборудование: смеситель С-334; дозатор ЦНИИЛ-3; емкости для воды, жидкого стекла и приготовленной композиции.

Дозировку компонентов производили с точностью до 0,1%, продолжительность перемешивания 15-20 мин. Для устранения комкования сухих компонентов при перемешивании с жидким стеклом предварительно проводился отсев компонентов через сита и перетирка комков вручную.

Нанесение покрытия на навесной потолок из древесных материалов производили механизированным способом. Предварительно до начала работ был закрыт доступ посторонним на участок ведения работ, обесточено электрооборудование и осветительная линия. Температура окружающей среды при ведении работ составляла 18-20 °С, влажность не превышала 65%.

Нанесение покрытия производили краскораспылителем и в соответствии с требованиями, изложенными в [1].

Для безопасности рабочее место оператора должно отвечать требованиям электробезопасности ГОСТ 12.1.019 и санитарным нормам СН 245-71.

Расстояние от краскопульта до предохраняемой поверхности составляло 300-500 мм, давление распыления 0,4-0,5 МПа. Толщина слоя покрытия составляла 0,5-0,75 мм. Повторную обработку производили через 48 ч, общая толщина покрытия составляла не менее 1,0 мм. Механизированным способом было обработано 305 м² навесных потолков.

Контроль за процессом приготовления и нанесения огнезащитного покрытия производился инженерно-техническими работниками предприятия и представителями ПГАСА.

Контроль за качеством нанесения огнезащитного покрытия на строительные конструкции сводился к визуальному осмотру покрытой поверхности. Не допускается наличие необработанной поверхности, образование трещин, отслоений, вздутий, коробления и т.д. Толщина покрытия должна быть не менее 1,0 мм, контроль за толщиной покрытия производился на 10% обработанной площади поверхности конструкций замером глубины покрытия, затем указанные участки повторно обрабатывались.

При обнаружении пропусков покрытия или других дефектов проводилась повторная обработка поверхности.

В журнале делалась запись о сроках проведения обработки, а также о последующих профилактических осмотрах (не реже 1 раз в месяц).

Складские помещения

В складском помещении СМУ-1 12 стальных колонн выполнены из равносторонних уголков №20 с толщиной стенки 12 мм, площадь поперечного сечения одного уголка $F=47,1 \text{ см}^2$, $\delta_{пр}=1,17 \text{ см}$.

Согласно методики расчета, изложенной в работах [1, 4, 5], предел огнестойкости незащищенной металлической колонны равен:

$$\tau = e^{-1,4385} \cdot \delta_{пр}^{0,5834} = 0,237402 \cdot 1,1 = 0,26 \text{ ч} = 15,6 \text{ мин}$$

где: τ - предел огнестойкости конструкций, ч;

δ - приведенная толщина металла, см.

Согласно требований безопасности, противопожарных норм ДБН В.1.1-7-2002 минимальный предел огнестойкости строительных конструкций в зданиях II степени огнестойкости производственного и складского назначения должен быть не менее 0,75 ч.

В предписании пожарного надзора в целях безопасной эксплуатации объекта и сохранения материальных ресурсов необходимо повысить безопасность эксплуатации конструкций до 1 ч.

В качестве меры повышения безопасности эксплуатации при пожаре строительных колонн 20x20 см, высотой 3,4 м предложено нанесение огнезащитного покрытия следующего состава, % по массе (композиция ВЗП-2А):

асбестоцементные отходы	25
шамотный песок	5
техническая бура	6
жидкое стекло	остальное

Предложено провести нанесение огнезащитного покрытия (композиция ВЗП-2А) толщиной 5 мм. При этом, согласно полученной нами зависимости и методики расчета, приведенной в работе [1] безопасное время эксплуатации колонны при пожаре (огнестойкость) будет равно:

$$\tau = 14,776 + 15,637\delta_n - 1,118\delta_n^2 + 0,0249\delta_n^3 =$$

$$= 14,776 + 15,137 \cdot 5 - 1,118 \cdot 5^2 + 0,0249 \cdot 5^3 = 65,62 \text{ мин}$$

Технологические свойства огнезащитной композиции ВЗП-2А приведенного выше состава представлены в табл. 2.

Таблица 2 - Физико-механические свойства огнезащитной композиции

Свойства смеси огнезащитной композиции						
Плотность, г/см ³	Растекаемость по конусу АЗНИИ, см	Вязкость по КЦ-5, Пз	Водоотстой, %	Укрываемость, г/м ²	Толщина слоя покрытия, мм	Время загустевания при t=20 °С, ч-мин
1,65	12,5	32,5	1,6	600	0,6-0,75	0-55

Нанесение покрытия на стальные колонны производили шпателем в 2 приема. После нанесения после первого слоя покрытие выдерживали не менее 48 ч, затем производилась повторная обработка. Толщина отвердевшего слоя составляла не менее 5 мм. Визуальным осмотром производился контроль за качеством нанесения покрытия. При обнаружении дефектов: пропусков в покрытии, трещин, проводилась повторная обработка с обязательной записью в журнале об устранении недостатков.

Для оценки огнезащитной эффективности применяемых композиций во времени для защиты строительных конструкций готовились образцы, которые хранились в тех же условиях, что и строительные конструкции. Контроль качества покрытия проводился как визуально, так и по результатам огневых испытаний.

Для контроля за сохранением эффективности покрытия на деревянном навесном потолке готовились стандартные образцы по ГОСТ 16363-98. Одновременно с обработкой конструкций обрабатывались образцы с такой же толщиной покрытия. Всего было изготовлено 80 образцов, по 20 образцов в каждой серии. Огневые испытания образцов проводили в установленные сроки согласно ГОСТ 16363-98 и ГОСТ 12.11.044-89 с изменениями и дополнениями, приведенными в методике исследований [1].

Результаты исследований представлены в табл. 3-5.

Таблица 3 - Потеря массы контрольных образцов при испытании по ГОСТ 16363-98

№ контрольных образцов	Потеря массы, % после выдержки			
	90 суток	180 суток	270 суток	360 суток
1	6,8	6,7	6,4	5,8
2	5,9	6,6	6,4	6,9
3	6,0	6,4	6,3	6,4
4	5,0	6,7	6,8	6,3
5	6,4	6,5	6,9	6,0
6	6,4	6,3	6,1	6,3
7	6,5	6,8	6,8	6,5
8	6,7	6,4	6,5	8,4
9	6,3	6,0	6,3	6,4
10	6,6	7,1	6,0	6,7
среднее значение	6,3	6,6	6,7	7,1

Таблица 4 - Потеря массы контрольных образцов при испытании по ГОСТ 12.1.044-89 (время испытаний 10 мин)

№ контрольных образцов	Потеря массы контрольных образцов, % после выдержки			
	90 суток	180 суток	270 суток	360 суток
1	21,4	20,4	22,4	23,1
2	22,1	23,4	22,3	23,2
3	23,0	23,2	22,5	22,4
4	24,6	23,1	23,0	21,0
5	23,8	23,6	25,1	21,7
6	23,9	23,4	24,6	22,9
7	21,6	22,0	24,0	23,4
8	22,9	22,0	24,1	24,6
9	24,0	21,2	23,9	24,1
10	23,1	21,2	23,0	24,5
среднее значение	22,5	23,0	23,1	23,5

Это подтвердили и результаты исследований по ГОСТ 12.1.044-89 (табл. 4, 5).

Таблица 5 - Максимальное приращение температуры при испытании контрольных образцов по методу “керамической трубы”

№ контрольных образцов	Максимальное приращение температуры, °С после выдержки			
	90 суток	180 суток	270 суток	360 суток
1	25,8	26,0	26,4	27,8
2	25,4	26,6	26,8	27,7
3	25,6	26,3	26,9	27,4
4	25,8	26,4	26,0	30,0
5	26,3	26,0	27,0	26,5
6	26,0	26,8	26,4	26,4
7	26,3	26,3	26,6	26,1
8	26,3	26,4	26,8	27,7
9	25,7	26,3	26,4	27,4
10	25,6	26,3	26,4	27,8
среднее значение	25,8	26,3	26,6	27,5

Результаты исследований (табл. 3-5) показали, что нанесение огнезащитной композиции на строительные деревянные конструкции позволяет повысить безопасность эксплуатации объекта, перевести их в группу трудногораемых (потеря массы согласно ГОСТ 16363-98 менее 9%). При этом, в процессе эксплуатации конструкций в условиях предприятия в течение 2-х лет не выявлено снижения огнезащитной эффективности покрытия. Согласно п. 4.3 ГОСТ 16363-98 (СТ СЭВ 4686-84) покрытие ВЗП-2А при толщине нанесения 1,0мм (в сухом состоянии), относится к I группе огнезащитной эффективности (обеспечивает получение трудногорючей древесины в течение указанного срока эксплуатации).

Анализ полученных данных позволяет сделать вывод, что максимальная потеря массы не превышает 60%, а максимальное приращение температуры не превышает 60 °С. Это позволяет утверждать, что нанесение огнезащитной композиции на деревянные конструкции позволяет перевести древесину в группу трудногорючих материалов, повысить безопасность эксплуатации объектов, повысить безопасность аварийно-спасательных работ при пожаре.

Для оценки огнезащитной эффективности покрытия в процессе эксплуатации металлических колонн одновременно с обработкой колонн проводилась обработка металлических образцов - пластин 200x200 мм, $\delta_{пр}=10$ мм из стали ст3. Толщина покрытия на образцах наносилась аналогично защите колонн до 5 мм. Образцы выдерживались в тех же условиях, что и колонны (укладывались рядом с колоннами на стеллажи). Каждые 6 месяцев серия из трех образцов испытывалась согласно методики, изложенной в [1].

Результаты испытаний контрольных образцов приведены в табл. 6.

Таблица 6 - Достижение критической температуры при нагреве контрольных образцов с покрытием ($\delta_n=5$ мм)

Продолжительность испытаний, мин	Температуры нагрева, °С образцов выдержанных в эксплуатационных условиях			
	90 суток	180 суток	270 суток	360 суток
10	85	80	85	82
20	140	155	165	150
30	180	189	200	175
40	210	220	260	220
50	270	270	300	280
60	350	360	425	330
65	410	417	500	460
70	500	489	-	500
72	-	500	-	-

Анализ результатов исследований (табл. 6) позволяет сделать вывод, что огнезащитное покрытие толщиной 5 мм позволяет повысить безопасное время эксплуатации конструкций при пожаре (предел огнестойкости) с $\delta_{пр}=10$ мм до 65 мин и во времени огнезащитное покрытие сохраняет эффективность. Из рис. 1 видно, что огнезащитное покрытие в течение 40-50 мин оказывает значительное термическое сопротивление прогреву (наблюдается почти линейная зависимость повышения температуры на необогреваемой стороне пластин с повышением температуры и длительности прогрева). Однако в дальнейшем, по-видимому, в покрытии происходят незначительные деструктивные изменения, которые влияют на теплоизоляционные свойства покрытия, снижая их.

t, °С

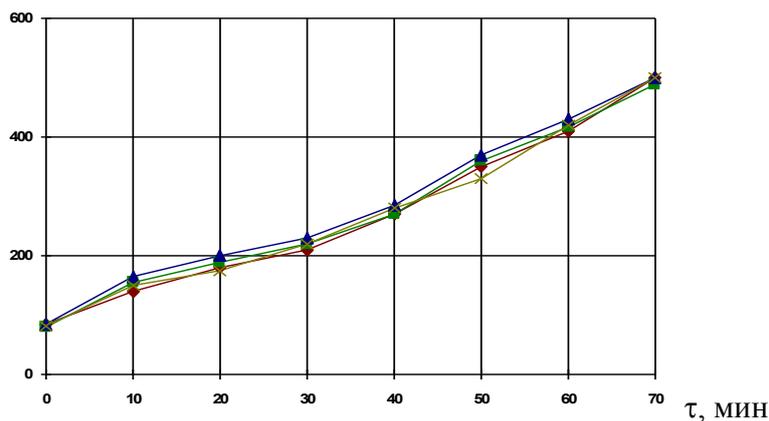


Рисунок 1 - Кривые прогрева стальных пластин с огнезащитным покрытием ($\delta_n=5$ мм)

Постоянный контроль за состоянием поверхности огнезащитного покрытия на деревянных и металлических конструкциях на предприятии «Днепркапремстрой» показал, что оно не претерпевает деструктивных внешних изменений, сохраняет высокие адгезионные и огнезащитные свойства.

Применение разработанного нами огнезащитного покрытия ВЗП-2А позволило повысить безопасную эксплуатацию объектов «Днепркапремстрой», выполнить предписание пожарного надзора и получить значительный экономический эффект.

Выводы. На основании проведенных исследований и опытно-промышленных испытаний разработана безопасная технология приготовления и нанесения огнезащитного покрытия применительно к условиям производства. Опытно-промышленные испытания разработанных огнезащитных композиций показали, что их применение позволяет повысить безопасность эксплуатации строительных объектов, повысить безопасность аварийно-спасательных работ при возникновении пожара на объекте.

Перспективы дальнейших исследований.

Экспериментальные и опытно-промышленные испытания разработанных огнезащитных композиций показали, что их применение позволяет повысить безопасность эксплуатации объектов в экстремальных условиях за счет повышения огнестойкости и снижения горючести строительных конструкций из металла и дерева.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Беликов А. С. Теоретическое и практическое обоснование снижения горючести и повышения огнестойкости строительных конструкций за счет применения огнезащитных покрытий / Беликов А. С. — Днепропетровск : Gaudeamus, 2000. - 196 с.
2. 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.
3. 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.
4. Зыбина О. А. Проблемы адгезии огнезащитных вспучивающихся тонкослойных покрытий по металлу / О. А. Зыбина // Химическая промышленность. — 2003. — № 9. — С. 38—39.
5. Мосалков И. Л. Огнестойкость строительных конструкций / И. Л. Мосалков, Г. Ф. Плюснина, А. Ю. Фролов. — М.: ЗАО «Спецтехника», 2011. — 496 с.