

УДК 614.8

## Разработка рекомендаций по оптимизации получения быстротвердеющей пены с целью повышения устойчивости зданий

## Development of recommendations to optimize the production of fast-hardening foam in order to improve sustainability of building

*Е.А. Сушко<sup>1</sup>,  
канд.тех.наук, доцент;*

*И.А. Иванова<sup>1</sup>,  
канд.тех.наук;*

*В.Н. Дурукин<sup>1</sup>,*

*А.С. Крутолапов<sup>2</sup>*

*<sup>1</sup>Воронежский государственный технический университет;*

*<sup>2</sup>ФГБОУ ВО Санкт-*

*Петербургский университет*

*ГПС МЧС России*

*E.A. Sushko<sup>1</sup>,  
Ph. D. of Engineering Sciences,  
associate Professor;*

*I.A. Ivanova<sup>1</sup>,  
Ph. D. of Engineering Sciences;*

*V.N. Dudukin<sup>1</sup>,*

*A.S. Krutolapov<sup>2</sup>*

*<sup>1</sup>Voronezh state technical  
University;*

*<sup>2</sup>St. Petersburg University of the  
State Ministry of Emergencies of  
Russia*

### **Аннотация:**

Выполнено обоснование и оптимизация рецептуры твердеющей пены с целью повышения устойчивости зданий. Проведено исследование различных составов и способов получения быстротвердеющей пены. Разработан способ и устройства его реализации для получения механическо-химической вспененной быстротвердеющей пены низкой и средней кратности, обоснована рецептура для получения быстротвердеющей пены для заполнения пустотных конструкций зданий и сооружений. Для снижения горючести пеноматериала предложено снижение степени диспергирования горючего компонента или наполнение пеноматериала устойчивым негорючим компонентом.

**Ключевые слова:** пожарная безопасность, горение, быстротвердеющая пена, негорючий компонент, пожаротушение, пустотные конструкции.

### **Abstract:**

Justification and optimization of the formulation of hardening foam to improve the stability of buildings. The study of different compositions and methods for producing fast-hardening foam. The method and devices of its implementation for the production of mechanical-chemical foam fast-hardening foam of low and medium multiplicity are developed, the formulation for the production of fast-hardening foam for filling hollow structures of buildings and structures is justified. To reduce the combustibility of the foam, it is proposed to reduce the degree of dispersion of the combustible component or filling the foam with a stable non-combustible component.

**Key words:** fire fire safety, burning, fast-hardening foam, refractory component, fire fighting, hollow structures.

### **Введение**

В настоящее время одним из актуальных направлений обеспечения пожарной безопасности в зданиях и сооружениях, построенных в 30-40-ых годах, является разработка и совершенствование новых видов заполнителей пустот в стенах, перегородках и перекрытиях. При строительстве таких зданий и сооружений в качестве заполнителя применяли шлаки, древесные опилки, другие минеральные и органические материалы.

При реконструкции и ремонте построек 30-40-ых годов пустоты в конструкциях ничем не заполнялись, что негативно отразилось на пожарной опасности зданий и сооружений. Так же пожарная опасность

старых построек характеризуется наличием электропроводки, проложенной по деревянным конструкциям или по пустотам. При взаимодействии древесной пыли с влагой происходит микробиологический процесс с выделением теплоты, что может явиться источником зажигания. Следующей характеристикой пожарной опасности является скорость распространения пламени по поверхностям строительных конструкций.

Снизить пожарную опасность этих зданий и сооружений можно, если в качестве заполнителя использовать для заполнения пустот негорючие материалы, такие как песок, керамзит, стекловата. Но их использование не всегда представляется возможным, в связи с необходимостью разборки перегородок, перекрытий, усиление несущей конструкции из-за большой тяжести этих материалов, что требует больших затрат на ремонт или реконструкцию.

Однако в альтернативу этим заполнителям можно предложить быстротвердеющую пену, к достоинствам которой следует отнести:

- негорючесть;
- простота получения;
- экономическая эффективность;
- широкий спектр ее применения;
- легкость;
- текучесть при заполнении пустот;
- время затвердевания составляет от 5 секунд до 3-х суток в зависимости от количества подачи отвердителя;
- высокая теплоемкость;
- низкая теплопроводность;
- придание быстротвердеющей пене любой формы;
- сохранение своих свойств со временем;
- использование в качестве утеплителя.

Наряду с достоинствами быстротвердеющая пена имеет следующие недостатки:

- неустойчивость при механическом воздействии;
- плавление при длительном воздействии высокой температуры;
- применение веществ и составов на основе карбамидоформальдегидной смолы только в нежилых помещениях.

Пена является дисперсной системой, у которой дисперсной фазой является газ (как правило, воздух), а дисперсной средой раствор полимера. На рациональность использования того или иного пеноматериала существенное влияние будет оказывать целый ряд факторов. К таким факторам относятся: эффективность использования комплекса оборудо-

вания для технической реализации способа; вид, объём и состояние пустот в конструкциях; требования экологии.

Качество пеноматериала в основном зависит от рецептуры исходного состава, механизма и кратности вспенивания, устройства для генерации быстротвердеющей пены. При этом первый из этих факторов является доминирующим. В связи с многообразием возможных вариантов рецептуры твердеющего пеноматериала возникла необходимость их анализа, разработки и оптимизации выбранной рецептуры.

Анализ литературы, научных разработок, авторских свидетельств на изобретения, а также отечественных и зарубежных патентов по быстротвердеющим пеноматериалам на основе карбамидоформальдегидной смолы показал, что разработки пеноматериалов определённого качества велись для конкретных узконаправленных целей, рецептуры исходного состава включают в себя от 4 до 7 и более компонентов в различных агрегатных состояниях, основная масса работ была направлена на улучшение следующих характеристик пеноматериала: повышение прочности при сжатии и растяжении, повышение эластичности, повышение водо- и влагостойкости, снижение водопоглощения, увеличение термостойкости, уменьшение усадки, увеличение стабильности, снижение хрупкости, повышение трещиностойкости.

Отдельные из перечисленных характеристик, интересующие нас, имеют достаточно высокий уровень, но они не присущи комплексно для одного вида пеноматериала. Исследования в основном проводились по низкократным быстротвердеющим пенам, без оценки степени влияния механизма вспенивания, кратности пены, технологии получения и характеристики пеногенерирующего устройства на качество пеноматериала. Технология получения пеноматериалов по предложенным исходным составам сложная, особенно при введении в качестве модифицирующих добавок твердых и нерастворимых компонентов.

В результате проведённых исследований модифицирующих добавок были установлены оптимальные пределы варьирования факторов, входящих в рассматриваемые составы:

- для состава с бикарбонатом натрия:

$x_1$  – полимерная смола, % \_\_\_\_\_ 40 –  $x_1$  – 50

$x_2$  – бикарбонат натрия, % \_\_\_\_\_ 35 –  $x_2$  – 45

$x_3$  – раствор пенообразователя, % \_\_\_\_\_ 5 –  $x_3$  – 25

- для состава с поливинилацетатом:  
 $x_1$  – полимерная смола, % \_\_\_\_\_ 60 –  $x_1$  – 70  
 $x_2$  – поливинилацетат, % \_\_\_\_\_ 15 –  $x_2$  – 20  
 $x_3$  – раствор пенообразователя, % \_\_\_\_\_ 10 –  $x_3$  – 25

- для состава с жидким стеклом:  
 $x_1$  – полимерная смола, % \_\_\_\_\_ 70 –  $x_1$  – 75  
 $x_2$  – жидкое стекло, % \_\_\_\_\_ 5 –  $x_2$  – 10  
 $x_3$  – раствор пенообразователя, % \_\_\_\_\_ 15 –  $x_3$  – 25

Пеноматериал, полученный на основе оптимального состава, состоящего из карбаминоформальдегидной смолы, бикарбоната натрия и пенообразователя, характеризуется следующими физико-механическими свойствами:

- объёмная масса, кг/м<sup>3</sup> \_\_\_\_\_ 105
- группа горючести материала \_\_\_\_\_ горючий

Пеноматериал, полученный на основе оптимального состава, состоящего из карбаминоформальдегидной смолы, дисперсии поливинилацетатной гомополимерной и пенообразователя, имеет следующие физико-механические показатели:

- объёмная масса, кг/м<sup>3</sup> \_\_\_\_\_ 120
- группа горючести материала \_\_\_\_\_ горючий

Пеноматериал, полученный на основе оптимального состава, состоящего из карбаминоформальдегидной смол, стекла натриевого жидкого и пенообразователя, имеет следующие показатели:

- объёмная масса, кг/м<sup>3</sup> \_\_\_\_\_ 130
- группа горючести материала \_\_\_\_\_ негорючий

Пенопласты на основе карбаминоформальдегидной смолы так же могут использоваться в строительстве. Для повышения прочности пенопласта при сжатии его получают следующим способом. Приготавливают смесь карбаминоформальдегидной смолы, барханного песка и фосфогипса при их тщательном перемешивании. Затем вводят в полученную смесь сульфанилформальдегидный полиэлектролит и перемешивают механической мешалкой со скоростью 11,66 оборотов в секунду в течении 5-6 минут. Заливка полученной композиции осуществляется в формы, где происходит вспенивание и отверждение пенопласта. В качестве карбаминоформальдегидной смолы используют смолу КФ-МТ (малотоксичная).

Сульфанилформальдегидный полиэлектролит получают совместной конденсацией сульфаниловой кислоты с формальдегидом при их соотношении 1:0,02 – 1:0,08 моль соответственно при температуре 60-700С без катализатора в течении 2-3 часов.

Введённый в композицию в качестве отвердителя сульфанилформальдегидный полиэлектролит взаимодействует с карбонатосодержащим барханым песком с образованием углекислого газа (СО<sub>2</sub>), способствующего вспениванию композиции и получению пенопласта с равномерной структурой, что приводит к повышению его прочности до 6,1 МПа.

С целью повышения устойчивости неотверждённой пены, в композицию добавляют в качестве стабилизатора пены порошок бентонитовый модифицированный.

Получение материала осуществляют путём механического вспенивания водного раствора карбаминоформальдегидной смолы, содержащего ПАВ и модифицированный бентонитовый порошок в виде заранее приготовленной и выдержанной не менее 6 часов 10%-ой водной суспензии, с последующим распылением в образовавшуюся пену кислотного отвердителя.

В качестве рекомендаций для получения негорючего пеноматериала можно предложить снижение степени диспергирования негорючего компонента или наполнение пеноматериала устойчивым негорючим компонентом. Следует также обратить внимание, что на группу горючести пеноматериала будет оказывать влияние механизм и кратность вспенивания.

В связи с тем, что требований к быстротвердеющей пене, как к заполнителю пустот в конструкциях зданий и сооружений достаточно много, а получить высокий уровень необходимых качеств в одном виде пеноматериала трудно, была поставлена задача добиться необходимых параметров по следующим важнейшим качествам пеноматериала: объёмная масса, группа горючести, индекс распространения пламени и т.д.

При разработке и обосновании рецептуры быстротвердеющей пены в качестве исходных смол использовали широко освоенные отечественной промышленностью карбаминоформальдегидные смолы марок: КФ-Б, КФ-МТ (ГОСТ 14231-78), КФ-СОМТ (ТУ 6-05-1904-81), а также смолы марок М-2 (ТУ6205-1596-77), М-3 (ТУ 6-0203398-388-90).

Как видно из таблицы, смолы КФ-МТ, КФ-СОМТ, М-2, М-3 имеют меньшую вязкость, что делает их более технологичными, а низкое содержание формальдегида улучшает санитарно-гигиенические характеристики процесса получения пеноматериала.

Анализируя способы улучшения физико-механических свойств пеноматериалов на основе карбаминоформальдегидной смолы за счёт рецепту-

ры, можно выделить два основных направления: улучшение свойств путём модифицирования карбамидоформальдегидных олигомеров; повышение физико-механических показателей путём введения наполнителей, которые способствуют снижению полимерности, одновременно повышая необходимые качества пеноматериала.

**Таблица 1. Свойства применяемых смол**

Наименование показателей	Марка смолы				
	КФ-Б	КФ-МТ	КФ-СОМТ	М-2	М-3
Внешний вид	Однородная суспензия от белого до светло-жёлтого цвета без посторонних включений				
Плотность при 20°C, г/см <sup>3</sup>				1,20	1,20
Вязкость условная при 20°C, с	63,00	38,00	28,30	5,40	4,60
Концентрация водородных ионов (рН)	7,60	7,30	7,00	8,00	8,20
Массовая доля свободного формальдегида, %	0,83	0,30	0,15	0,34	0,28
Массовая доля сухого остатка, %	66,00	67,00	64,00	47,00	45,00
Смешиваемость с водой	1:2		полная	допускается наличие лёгкого осадка	

В результате проведённых исследований пеноматериала для заполнения пустот конструкций зданий и сооружений была выбрана наиболее оптимальная рецептура быстротвердеющей пены, на основе карбамидоформальдегидной смолы включающая в себя: водный раствор карбамидоформальдегидной смолы, бикарбонат натрия, жидкое стекло и отвердитель.

Данные модифицирующие добавки, включённые в рецептуру быстротвердеющей пены ставят на высокий уровень необходимые качества пеноматериала. Так же выбранные модифицирующие компоненты удовлетворяют второму ограничительному фактору.

Предварительные исследования принятой рецептуры быстротвердеющей пены, как заполнителя пустот в зданиях и сооружениях построек 30-40-ых годов, показали, что выбор компонентов сделан правильно, но необходимо исследовать оптимальные значения всех составляющих.

После экспериментальных испытаний за оптимальное были приняты следующие значения исследуемых факторов:

Карбамидоформальдегидная смола, % \_\_\_\_ 50-60  
 Жидкое стекло, % \_\_\_\_\_ 5-8  
 Бикарбонат натрия, % \_\_\_\_\_ 1,5  
 Пенообразователь, % \_\_\_\_\_ 6-7  
 Отвердитель, % \_\_\_\_\_ 6  
 Вода, % \_\_\_\_\_ 35-40

При таком соотношении компонентов, полученный пеноматериал имеет следующие характеристики:

- группа горючести – негорючий;
- объёмная масса - 80-120 кг/м<sup>3</sup>.

В работе использованы материалы исследований [7, 8,9].

**Вывод.** Снизить пожарную опасность этих зданий и сооружений можно, если в качестве заполнителя использовать для заполнения пустот негорючие материалы, такие как песок, керамзит, стекловата. Но их использование не всегда представляется возможным, в связи с необходимостью разборки перегородок, перекрытий, усиление несущей конструкции из-за большой тяжести этих материалов, что требует больших затрат на ремонт или реконструкцию.

В качестве альтернативы этим заполнителям можно предложить быстротвердеющую пену. Пенообразующие растворы для получения твердеющей пены являются сложными многокомпонентными системами. Их рецептуры требуют оптимизации для достижения рационального сочетания таких свойств, как заполнять и принимать форму объема пустоты между ограждениями, изолирующая и другие способности.

#### Литература:

1. Пожаровзрывоопасность веществ и материалов, и средства их тушения: Справочное издание: в 2-х книгах / А. Н. Баратов, А. Я. Корольченко, Г. Н. Кравчук и др. - М.: Химия, 1990. - Книга 1 - 496 с.
2. Корольченко А.Я., Трушкин Д.В. Пожарная опасность строительных материалов. Учебное пособие. – М.: Пожнаука, 2005 – 232 с.
3. Облиенко, А.В. Экспериментальные исследования закономерностей распространения пожаровзрывоопасных веществ в промышленных помещениях / Облиенко А.В., Потапова С.О., Сушко Е.А. // Научный вестник Воронежского государственного архитектурно-строительного университета. Строительство и архитектура. 2010. № 3 (19). С. 154-163.

4. Скляр, К.А. Влияние перегородок на пожарную и промышленную безопасность объекта / Скляр К.А., Петрова О.Н., Сушко Е.А., Колодяжный С.А. // Научный журнал. Инженерные системы и сооружения. 2010. № 1 (2). С. 192-197.
5. Суконникова, И.А. Анализ математических моделей, описывающих динамику опасных факторов пожара, и программных продуктов, реализующих расчет и визуализацию моделируемого процесса / Суконникова И.А., Сушко Е.А., Баранкевич Р.В., Пожидаева А.Е. // Научный журнал. Инженерные системы и сооружения. 2012. № 4 (9). С. 83-93.
6. Сушко, Е.А. Особенности пожарной безопасности строений из сип-панелей / Сушко Е.А., Скляр К.А., Дурукин В.Н. // Вестник Воронежского института ГПС МЧС России. 2017. № 1 (22). С. 39-41.
7. Щербакова, К.С. Имитационное моделирование динамики опасных факторов пожара на основе интегральной и полевой математических моделей пожара /Щербакова К.С., Атапин Н.И., Сушко Е.А. // Научный журнал. Инженерные системы и сооружения. 2013. № 1 (10). С. 93-101.
8. Здания, сооружения и их устойчивость при пожаре. Учебно-методическое пособие / Воронеж, 2016.
9. Нормативная база для оценки вибрационных характеристик конструкций. Мурзинов В.Л., Манохин В.Я., Иванова И.А., Буянов В.И. Учебное пособие для студентов, обучающихся по направлению 20.03.01 «Техносферная безопасность», профиль «Пожарная безопасность в строительстве» / Воронеж, 2017.