

## Повышение огнестойкости конструкций из газобетона

Ю.Д. Князева<sup>1</sup>, В.В. Кротова<sup>2</sup>, М.В. Гравит<sup>3</sup>

<sup>1-3</sup> Петербургский политехнический университет Петра Великого, 195251, Россия, г. Санкт-Петербург, Политехническая ул., 29

Информация о статье      УДК 69

### Аннотация

*В современном мире активно развивается строительство с использованием газобетона. Данная статья посвящена изучению огнестойкости конструкций из газобетона и методов ее повышения. Авторами рассмотрена научно-техническая литература в области повышения пределов огнестойкости газобетонных конструкций. Исследованы различные методы повышения пределов огнестойкости. Сделан вывод о широком спектре преимуществ газобетона. В ходе исследования выявлено, что наиболее распространенным методом повышения огнестойкости газобетона является внедрение добавок. Однако, наиболее перспективным курсом развития газобетона, по мнению авторов, является использование нанотехнологий.*

Ключевые слова:              Строительство, строительные конструкции, газобетон, огнестойкость, средства огнезащиты

### Содержание

1.	Введение	50
2.	Методы испытаний на огнестойкость и методы повышения огнестойкости газобетона	50
3.	Заключение	56

#### Контактный автор:

1. +7(921)4250592, julia060796@gambler.ru (Князева Юлия Дмитриевна, студент)
2. +7(962)7246076, ms.persona11@mail.ru (Кротова Валерия Владимировна, студент)
3. +7(912)9126407, marina.gravit@mail.ru (Гравит Марина Викторовна, к.т.н., доцент)

## 1. Введение

В современном мире все большее массовое распространение приобретает строительство с использованием газобетона, который легко поддается обработке, имеет небольшую массу, в связи с чем отлично подходит как для индивидуального, так и для капитального строительства.

При использовании газобетона экономятся материалы, снижается масса и толщина ограждающих конструкций в тепловых агрегатах, сокращается расход топлива и потери тепла в окружающую среду. Уменьшаются сроки строительства, а также продолжительность ремонтов [1-6].

Четкое определение в научно-технической литературе газобетона отсутствует [7-15]. В [9-10] приведена классификация бетонов: по назначению; по условиям твердения; по способу порообразования; по видам вяжущих и кремнеземистых компонентов. В свою очередь, по способу порообразования ячеистые бетоны подразделяют на газобетоны, пенобетоны и газопенобетоны, в зависимости от веществ, участвующих в реакции образования пор. В данной статье под газобетоном понимается искусственный каменный материал пористой структуры, поры которой образуются от выделения пузырьков водорода при химической реакции алюминиевого порошка с гидроксидом кальция и занимают до 90% от общего объема пористости.

Наиболее всего газобетон распространен как материал для конструкций перегородок; из армированного газобетона выполняют несущие конструкции: стены, межэтажные перекрытия в жилых зданиях. К несущим конструкциям, согласно федеральному законодательству [16] в зависимости от степени огнестойкости зданий, предъявляются требования по сохранению устойчивости от 45 до 120 минут, поэтому актуально исследовать способы улучшения огнестойкости газобетона и конструкций, из него выполненных. Таким образом были сформулированы следующие цели и задачи работы.

**Цель работы:** Сделать вывод о методах изучения и способах улучшения огнестойкости газобетона.

**Задачи работы:**

- провести анализ научно-технической литературы в области повышения огнестойкости газобетона;
- изучить методы повышения огнестойкости газобетона и конструкций из газобетона;
- оценить проблемы, связанные с производством и эксплуатацией огнестойкого газобетона;
- оценить перспективы дальнейших работ в данной области.

## 2. Методы испытаний на огнестойкость и методы повышения огнестойкости газобетона

### 2.1. Методы испытаний огнестойкости

Огнестойкость конструкции - способность конструкции сохранять несущие и (или) ограждающие функции в условиях пожара [15-16].

Предел огнестойкости конструкции - показатель огнестойкости конструкции, определяемый временем от начала огневого испытания при стандартном температурном режиме до наступления одного из нормируемых для данной конструкции предельных состояний по огнестойкости [14-16].

Параметры огнестойкости определены в [17]:

- R — потеря несущей способности вследствие обрушения конструкции или возникновения предельных деформаций;
- E — потеря целостности в результате образования в конструкциях сквозных трещин или отверстий, через которые на необогреваемую поверхность проникают продукты горения или пламя;
- I — потеря теплоизолирующей способности вследствие повышения температуры на необогреваемой поверхности конструкции до предельных для данной конструкции значений.

Кладка из газобетонных блоков – наиболее огнестойкая из однослойных конструкций, как показано в таблице 1 [13-15, 18].

**Таб. 1. Физико-технические свойства различных стеновых материалов**

№	Физико-технические свойства	Един. изм.	Наименование стеновых материалов							
			Дерево	Кирпич	Пенобетон неавтоклавный			Газобетон автоклавный		
1	Средняя плотность	кг/м <sup>3</sup>	500-600	1400-1850	500	600	700	500	600	700
2	Огнестойкость при толщине 175 мм	час	-	3-4	4	4-5	4-5	4-5	4-5	5-6

Пористая структура и высокие теплоизоляционные свойства защищают газобетонную кладку от повреждений, свойственных обычному бетону при интенсивном выделении и испарении воды. Поскольку высокая температура распространяется медленно и их резкое воздействие приводит к возникновению сеточки усадочных трещин на поверхности кладки, не влияющих на несущую способность конструкции. Многочасовой пожар ведет к снижению влажности всей толщи кладки и развитию усадки до максимальных 2 мм/м.

Рост температуры сначала повышает прочность кладки, затем понижает до начальных значений (при нагреве до 700 °С). Дальнейший нагрев довольно быстро снижает прочность (до нуля при 900 °С). В зависимости от толщины кладки из газобетонных блоков в таблице 2 приведена их огнестойкость [19].

**Таб. 2. Пределы огнестойкости кладки из газобетонных блоков на минеральном клее или растворе**

Толщина стены, мм	Пределы огнестойкости
100	EI180 [13-15]
150	R120 EI180 [13-15]
200 и более	REI 240 [13-15]

Анализ существующих методов определения огнестойкости, состоящих из газобетона марок D400 и D500, показал, что время достижения критической температуры составило: для кладки марки D400 толщиной 40 мм не менее 120 мин; для кладки марки D500 толщиной 40 мм не менее 110 мин [20, 21].

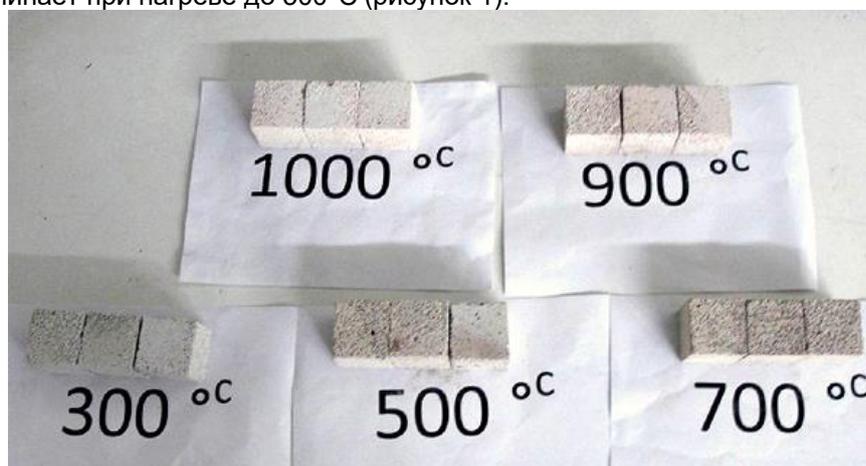
В [2] представлены результаты испытания на огнестойкость образцов сборно-монолитного перекрытия толщиной 250 мм, выполненных по балкам с металлическим гнутым профилем. По истечении 3-х часового испытания на огнестойкость признаки предельных состояний конструкции не зафиксированы.

Согласно многочисленным исследованиям [22-28], высокопрочный бетон более восприимчив к взрывному растрескиванию, чем бетон нормальной прочности. Это предположение основано на изучении свойств бетона и сбора экспериментальных данных из различных источников исследований, что доказано в [23]. Выявлено, что зависимости между прочностью и газопроницаемостью влияют на стойкость к взрывному растрескиванию. Например, [24], фирма Plihbisco Japan Co., Япония, провела испытания двухслойных огнеупорных панелей, состоящих из высокопрочных и теплоизоляционных бетонов, воспроизведя условия службы в промышленном агрегате, подвергли их нагреву и проверили на возникновение взрывного растрескивания. Опробовали различные меры предотвращения растрескивания таких, как выполнение отверстий в стальном кожухе, исключение резких колебаний температуры, а также длительная высокотемпературная выдержка. При применении этих методов появление трещин не выявлено.

Взрывное послойное растрескивание бетона может происходить вследствие растягивающих напряжений, возникающих из-за давления паров физической влаги в порах, а также, или в дополнение к этому, из-за разупрочнения бетона после потери им связанной воды. Разупрочнение бетона может способствовать его разрушению не только из-за давления паров в порах, но и под действием термических напряжений, а также из-за различия в коэффициентах температурного расширения различных наполнителей бетона [29].

В серии работ [30-32] изучалось явление взрывообразного разрушения бетона. Опасность этого явления заключается в уменьшении предела огнестойкости бетонных конструкций во время пожара. Опыты проводились в огневых печах при воздействии пламени «стандартного» пожара на бетонные плиты размером 1200×1200×250 мм. Температура в поперечном сечении измерялась на десяти различных расстояниях от поверхности. Увеличение собственных сжимающих напряжений достигалось сварной металлической рамой, устанавливаемой по периметру некоторых плит при их бетонировании. Экспериментально установлено: фазовый переход влаги в структуре бетона происходит в температурном интервале 100-350°С; лавинообразное образование микротрещин происходит при температуре 600°С; на разрушение бетона на глубину до 75 мм существенное влияние оказывают собственные сжимающие напряжения; на рост капиллярного давления влияние оказывает уменьшение сечения пор за счет уноса частиц связующего испаряющейся влагой.

В [19] при нагреве газобетона до температур 300°С не происходит усадки материала и снижения прочности на сжатие. Трещины на поверхности газобетона начинают появляться на отметках температуры 700-900°С. Темнеет газобетон начинает при нагреве до 500°С (рисунок 1).



**Рис.1. Изменение цвета газобетона при нагреве**

После отметки температуры нагрева газобетона 300°C нагрев газобетона на каждые 200°C снижает показатели прочности на сжатие на 13%. Проведенные эксперименты показали, что газобетон способен достаточно успешно противостоять температурам до 900°C (таблица 3). При нагреве газобетона до 1000°C его прочность на сжатие падает до 0 МПа.

**Таб.3. Динамика физических свойства автоклавного газобетона при нагревании**

Температура нагрева автоклавного газобетона в течение 30 мин, °С	Прочность на сжатие (МПа)	Масса образцов %	Объем образцов %	Цвет	Наличие трещин на поверхности
100	2,0	100	100	Исходный серовато-белый	нет
300	1,8	98	100	Легкое потемнение	нет
500	1,6-1,7	96	100	Потемнение до серого	нет
700	1,4	94	100	Потемнение до серого	да
900	1,2	93	100,14	Осветление серого	да
<b>1000</b>	<b>0</b>	<b>89</b>	<b>100,14</b>	<b>Ярко белый</b>	<b>да</b>

## 2.2. Моделирование повреждения газобетона в условиях пожара

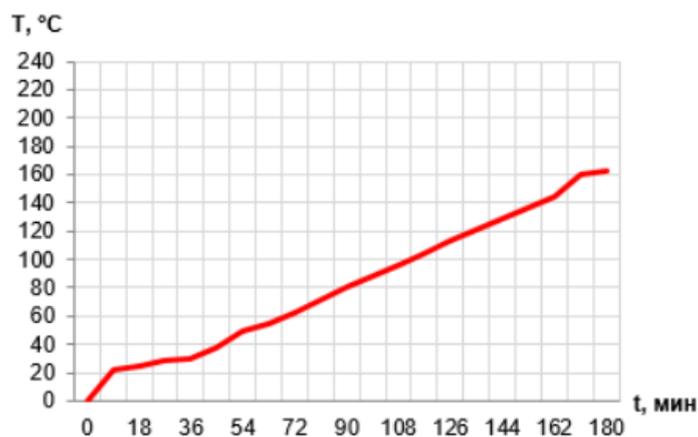
Одним из перспективных методов оценки огнестойкости является моделирование конструкций под воздействием высоких температур, что позволяет получить результаты без реальных огневых испытаний. В работе [33] предложена углеводородная модель, которую можно использовать для прогнозирования пределов огнестойкости конструкций. Моделирование характеристик реального пожара "огненный шар" в лабораторных условиях осуществлялись методом специального нагрева, а расчет граничных удельных тепловых потоков для всех возможных аварийных сценариев выброса углеводородного топлива проводились по математической модели. Сущность вычислительной модели сводится к решению дифференциального уравнения относительно предельной температуры, при которой происходит растрескивание бетона.

В [34-39] была создана реалистичная модель поведения легких бетонов, предназначенных для дорожных и тоннельных конструкций. В подтверждение данной модели были проведены испытания на огнестойкость, целью которых являлась проверка поведения бетонов «для дорог» в самых сложных условиях пожара, особенно в дорожных туннелях. В дополнение к стандартной кривой для испытаний на огнестойкость использовались кривые углеводородов и Eureka. Выявлено, что кривые нагрузки отличаются от обычно используемой стандартной кривой, особенно в скорости повышения температуры (температуры более 1000 °С достигаются в течение пары минут). Таким образом доказано, что реальная бетонная влажность и возможность удаления водяных паров из компонента существенно важны для пожарной безопасности (целостности).

## 2.3. Повышение огнестойкости

### 2.3.1. Повышение огнестойкости с помощью вспучивающегося покрытия

Для повышения пределов огнестойкости армированного газобетона используют различные технологии, например, вспучивающееся покрытие. В ходе огневых испытаний [6, 40-61] выявлен огнезащитный эффект тонкослойного огнезащитного вспучивающегося покрытия для железобетонных конструкций, количественно выражающийся в замедлении прогрева рабочей арматуры железобетонной конструкции до критической температуры, на 100–140 минут, по сравнению с образцами без огнезащитного покрытия. Также изучены особенности формирования вспучивающихся при нагреве тонкослойных покрытий железобетонных конструкций. Выявлено две основные стадии формирования вспучивающихся при нагреве тонкослойных огнезащитных покрытий железобетонных конструкций: стадия «развития» и стадия «деградации» (разрушения). Эти стадии развития вспученного слоя оказывают определяющее влияние на огнестойкость защищаемой конструкции. В результате испытаний получен график зависимости средние значения температур на необогреваемой поверхности образца приведенный на рисунке 2.



**Рис.2. Средние значения температур на необогреваемой поверхности образца**

Применение вспучивающихся покрытий для зданий не имеет широкого распространения. Предметом исследования [62-66] является поведение вспучивающегося покрытия при высоких температурах. Представлены огневые испытания по стандарту ISO в течении 30 минут с колоннами и балками, защищенными вспучивающимися красками. Вспучивающееся покрытие на поверхности колонны способствует ограничению теплопередачи между оболочкой и колонной. Как видно из рисунка 3, этот эффект имеет лишь второстепенное значение, поскольку градиент температуры во время пожара приводит к деформации этих элементов и сильно ограничивает контакт между оболочкой и колонной.



**Рис.3. Колонна со вспучивающимся покрытием после одного из испытаний на огнестойкость**

### 2.3.2. Повышение огнестойкости с помощью облицовки огнестойкими плитами

Наиболее универсальным способом повышения огнестойкости строительных конструкций является применение облицовочных противопожарных плит. В [67] для увеличения огнестойкости несущей конструкции предлагается использование композиционных плит Изовент-ПЖ. Огнезащитная эффективность таких плит – 180 мин., толщина плит – 50 мм. Достоинствами плит Изовент-ПЖ являются минимальная нагрузка на несущие конструкции, быстрота и простота монтажа путём приклеивания огнезащитного состава ПВК-2002.

Предметом исследования [68] стало проведение испытаний двух образцов несущих конструкций с облицовкой огнезащитными плитами PYRO-SAFE AESTUVER T толщиной 40 мм (рисунок 4). Испытания проводились под воздействием постоянной статической нагрузки, равной 687 кН. Предел огнестойкости по потере несущей способности составил 246 мин, что соответствует R240.



**Рис.4. Испытание огнезащитной плиты**

В качестве защиты несущих конструкций от разрушения при пожаре авторы [69] предлагают применение минераловатных плит EURO-ЛИТ. При этом предел огнестойкости REI 240 достигается при толщине плиты всего 30 мм, в то время, как у других производителей аналогичной продукции – 40мм. Для крепления плиты используются крепежные элементы (штифт+диск) MUNGO.

### 2.3.3. Особенности технологии изготовления огнестойкого газобетона

**Специальные методы получения газобетона.** Одним из способов улучшения свойств газобетона - является различные методики его получения. В патентах [70-73] представлены следующие методики: способ изготовления пористого строительного материала [71], ячеистый бетон на основе керамической безобжиговой композиции [72], силикатный ячеистый бетон автоклавного твердения [73] и т.д.

**Автоклавный газобетон.** Ячеистый бетон автоклавного твердения - искусственный каменный материал пористой структуры, изготовленный из вяжущего, тонкомолотого кремнеземистого компонента, порообразователя и воды, прошедший тепловлажностную обработку при повышенном давлении [13,15].

Автоклавный газобетон обладает многими достоинствами, которые и сделали его одним из самых популярных строительных материалов. Безопасность будущей конструкции гарантирована поистине уникальным его свойством – огнестойкостью, утверждает автор [3]. Основные свойства автоклавного газобетона:

- негорючий, невоспламеняемый и огнестойкий материал;
- термический изоляционный материал: согласно пожарному сертификату С-РУ.ПБ21.В.00403, выданному по результатам испытания автоклавного газобетона производства компании "Байкальский газобетон", блоки из этого газобетона соответствуют пределу огнестойкости REI – 150;
- изготовленный из натуральных компонентов (поэтому нет никакой опасности появления токсичных испарений, которые возникают при горении синтетических изоляционных материалов);
- не чувствительный к воздействию температур: при повышении температуры до +400°C прочность ячеистого бетона увеличивается на 85%, а при дальнейшем повышении температуры до +700°C прочность снижается до первоначального значения.

K.G. Wakili, E. Hugi, L. Karvonen, P. Schnewlin, F. Winnefeld исследовали реакцию на огонь образцов из автоклавного ячеистого бетона в нескольких размерных масштабах [74]. Изменения в химическом составе обнаружены и проанализированы с помощью методов термического анализа. Затем, теплопроводность после различной термической обработки измеряли при различных температурах в диапазоне от 120 °C до 720 °C. Стена из автоклавного газобетона толщиной 125 мм была подвергнута испытания по стандарту ISO 834 в течении 220 минут, вследствие чего на образце появились трещины (рисунок 5). Результаты были использованы как исходные данные для переходных процессов и нелинейной численной модели, которая была создана для прогнозирования температуры на разной глубине стены.



**Рис.5. Сторона стены из автоклавного газобетона (125 мм), подвергшаяся испытанию по стандарту ISO 834 в течение 220 минут**

**Неавтоклавный газобетон.** Неавтоклавные (гидратационного твердения) - твердеющие в естественных условиях, при электропрогреве или в среде насыщенного пара при атмосферном давлении. Неавтоклавные газобетоны преимущественно используются для изготовления мелких стеновых блоков и теплоизоляции [10].

Согласно исследованиям [75], было выяснено, что при повышении температуры до 400 °С прочность неавтоклавного газобетона увеличивается на 85%, а одностороннее воздействие огня газобетон выдерживает в течение 3-7 часов без образования трещин.

#### **2.3.4. Внедрение различных добавок в смеси**

**Использование отходов.** Использование добавок серы, а также местного сырья с добавками шлама для производства газобетона исследуется в [76]. Полученные результаты свидетельствуют о повышении механических и гидрофизических свойствах газобетона, при хороших экономических и экологических показателях.

В [77] исследуется использование отходов муллитито-кремнеземистого волокна - муллитито-кремнеземистых плит, которые образуются в процессе ремонта промышленных печей, для улучшения свойства газобетона.

В [78-80] изучается жаростойкий бетон на основе алюмомагнийфосфатного связующего и промышленных отходов. В работе представлены основные этапы дегидратации такого жаростойкого газобетона в процессе воздействия температуры. В результате проведенных исследований на основе алюмомагнийфосфатного связующего, шамота и корунда с добавкой отходов нефтехимии разработаны составы и технологии изготовления жаростойкого газобетона со средней плотностью 400-1000 кг/м<sup>3</sup> и температурой применения 1400-1600 °С.

J.R. Correia, J.S. Lima, J.D. Brito представили результаты экспериментального исследования о влиянии повышенных температур на остаточные механические свойства бетона [81]. Образцы подвергались воздействию температуры 600 °С и 800 °С в течение 1 ч, в соответствии с ISO 834 "время-температура". После охлаждения до температуры окружающей среды их свойства были оценены и сравнены с эталонными значениями, полученными до воздействия огня. В результате обнаружено, что: величина деградации остаточных механических свойств бетона зависит от типа добавок бетонной смеси (в данном исследовании рассмотрены образцы с добавками - отходов пластикового производства из полиэтилентерефталата, а также обычные натуральные заполнители) и коэффициента замещения. Выявлено, что остаточная прочность на сжатие образцов с добавками из пластинчатых отходов из полиэтилентерефталата взаимосвязана со скоростью ультразвуковых импульсов, а также с водопоглощением при погружении, однако его корреляция с поверхностной твердостью является менее значительной.

Применение пропиточных растворов для изменения свойства конструкций в зависимости от их условий эксплуатации и строительных материалов исследовалось в [82]. Сделаны выводы о применении различных режимов ультразвуковой пропитки в зависимости от внешних факторов. При ультразвуковой пропитке проникновение пропиточного состава, происходящее за счет капиллярных сил и давления оказываемого весом жидкости, интенсифицируется кавитационными явлениями и акустическими потоками, что позволяет получить лучшую пропитку за меньшее время или с меньшими затратами по отношению к традиционным способам (окувание, вакуумная пропитка).

Алюмосиликатная микросфера – это минеральная добавка, образующаяся в составе летучей золы при высокотемпературном факельном сжигании угля. Ее использование позволяет получать повышенные

прочностные характеристики для низких плотностей газобетона, а кроме того, делает материал теплее. Также микросферы оказывают влияние на снижение усадки при высыхании, улучшение морозостойкости и огнестойкости, обеспечение высокой устойчивости к кислотам и щелочам [83]. Ячеистый бетон с алюмосиликатной микросферой имеет сертификат пожарной безопасности REI 360. Шесть часов – это самый высокий показатель негорючести газобетона на рынке России.

**Использование нано-добавок.** В последние 10 лет большое внимание уделяется нанотехнологиям, а в частности разработке нанобетона [4]. Использование наномодификаторов при создании бетона улучшает на 10-15 %: плотность -  $1,2 \div 1,6 \text{ т/м}^3$ ; прочность на сжатие -  $30 \div 60 \text{ МПа}$ ; прочность на изгиб -  $4 \div 8 \text{ МПа}$ ; теплопроводность - менее  $0,2 \div 0,4 \text{ Вт/(м} \cdot \text{К)}$ ; водопоглощение - не более 0,4%; водопроницаемость - W20; максимальную температуру - более  $780^\circ\text{C}$ ; морозостойкость - F300 – F500.

Авторами [84] сделан вывод о том, что с применением нанотехнологий изготовления и применения связующего нового поколения [63] можно производить строительные материалы с улучшенными физико-механическими свойствами. Технология производства основана на производстве сендвич-панелей, скрепляемых силикатным клеем, способным выдерживать температуры  $1500\text{-}1600^\circ\text{C}$ .

В [85] были проведены испытания жаростойкого бетона с внедрением нано-добавок, а именно нанотехногенного сырья в виде шлама, при их нагреве от  $200^\circ\text{C}$ . Доказано, что внедрение нано-добавок положительно влияет на характеристики газобетона при нагреве: прочность сжатия стала в 1,5-2 раза выше, а удельный вес массы увеличился на 1-1,5%.

В [86] предложен способ повышения эффективности производства газобетона автоклавного твердения за счет использования наноструктурированного модификатора силикатного состава. В ходе работы разработаны составы газобетона автоклавного твердения конструкционно-теплоизоляционного и теплоизоляционного назначения с марками по плотности D350-500 и классами по прочности B0,75, B2,5-B5.

**Другие добавки.** Актуальность исследований и разработки легких, в особенности ячеистых, бетонов для высокотемпературной теплоизоляции представлена в [87-92]. При использовании таких бетонов экономятся материалы, снижается масса и толщина ограждающих конструкций в тепловых агрегатах, сокращается расход топлива и потери тепла в окружающую среду. Уменьшаются сроки строительства, а также продолжительность ремонтов.

В [93] исследовано влияние комплексной добавки (КД), состоящий из непрерывного базальтового волокна (НБВ) и  $\text{SiO}_2$  микропылевой (СМП), на изменение прочностных свойств автоклавного ячеистого бетона (газобетона). Результаты исследования показали, что температурные деформации образцов газобетона, содержащих КД, изотермически нагревают в течение 12 ч при  $650^\circ\text{C}$ , что на 28% ниже по сравнению с образцами газобетона без КД.

В ходе исследований были найдены патенты, связанные с улучшением свойств газобетона путем использования добавок, таких как [94 - 113]: добавка газообразующая для производства ячеистых бетонов «вулкан» [101], комплексная добавка в бетонную смесь в виде стабилизированной суспензии микрокремнезема [102], добавка для модификации гипсовых вяжущих, строительных растворов и бетонов на их основе [107] и т.д.

### 3. Заключение

Строительство с применением газобетона – перспективное направление строительства жилых зданий. Однако данный материал имеет ряд недостатков: хрупкость, высокая гигроскопичность, наличие свободной извести и недостаточная несущая способность для современного высотного строительства.

Также газобетон обладает рядом ограничений в применении:

- низкая теплотехническая однородность стеновых конструкций, обусловленная наличием большого количества теплопроводных включений в наружных стенах, выполненных кладкой из газобетонных блоков без дополнительного утепления;

- кладка стен из газобетонных блоков, особенно при эксплуатации зданий без наружной отделки, а также при незаполнении раствором вертикальных пазогребневых швов, характеризуется высокой воздухопроницаемостью, что повышает расход тепловой энергии при эксплуатации в отопительные периоды;

- при учете стоимости полезной площади, которая остается при заполнении блоками на толщину 375-400 мм наружных ограждений каркасно-монолитных зданий, относительно низкая стоимость изделий далеко не всегда оказывается экономически обоснованной в многоэтажном строительстве.

С другой стороны, газобетон как материал даже без добавок имеет повышенную морозостойкость, хорошую несущую способность, низкую теплопроводность, высокую экологичность и предел огнестойкости. Но для строительства жилых зданий требуются средства повышения огнестойкости газобетона.

В результате исследования выявлены различные способы улучшения огнестойкости газобетона такие как: применение вспучивающихся покрытий, использование облицовочных огнезащитных плит, особенные методики изготовления газобетона, внедрение различных добавок в смеси.

Наиболее перспективным курсом развития в области повышения огнестойкости газобетона является использование нанотехнологий. Данная область в настоящее время мало изучена, однако применение нанотехнологий позволит придать газобетону именно те свойства, которые нужны ему в большей мере при конкретных условиях эксплуатации.

В результате исследования на данный момент наиболее высокий предел огнестойкости газобетона был получен путем использования добавки из алюмосиликатной микросферы и составил REI360.

Газобетон как строительный материал, благодаря своим отличительным свойствам, применяется в данной отрасли уже достаточно давно. Для расширения области использования газобетона в дальнейшем актуальным и перспективным направлением является исследование методов повышения его огнестойкости.

### Литература

- [1]. Местников А. Е., Егорова А. Д., Анцупова С. Г. Энергоснабжение и эффективность использования местных материалов в строительстве // Вестник Северо-Восточного федерального университета им. М.К. Аммосова. 2006. №2. С. 37-40.
- [2]. Гравит М.В., Недвига Е.С., Виноградова Н.А., Теплова Ж.С. Огнестойкость сборно-монолитных часторебристых плит по балкам со стальным профилем // Строительство уникальных зданий и сооружений. 2016. №12(51). С. 73-83.
- [3]. Шипицин А. Огнестойкость автоклавного газобетона // Правила строительства. 2014. №47/1. С. 1-7.
- [4]. Кишиневская Е.В., Ватин Н.И., Кузнецов В.Д. Перспективы применения нанобетона в монолитных большепролетных ребристых перекрытиях с постнапряжением // Инженерно-строительный журнал. 2009. №2. С. 55-58.
- [5]. Сахаров Г.П. Ячеистые бетоны в посткризисный период // Строительные материалы и изделия. 2011. №1. С. 1-6.
- [6]. Ламкин О.Б. Современные средства огнезащиты железобетона в высотных и подземных сооружениях. Бетон и железобетон – пути развития. Том 6. М.: Дипак, 2005. С. 58-63.
- [7]. ГОСТ 4.212-80 Система показателей качества продукции. Строительство. Бетоны. Номенклатура показателей.
- [8]. ГОСТ 7076-99 Материалы и изделия строительные. Метод определения теплопроводности и термического сопротивления при стационарном тепловом режиме.
- [9]. ГОСТ 13015-2003 Изделия железобетонные и бетонные для строительства. Общие технические требования. Правила приемки, маркировки, транспортирования и хранения.
- [10]. ГОСТ 25485-86 Бетоны ячеистые. Технические условия.
- [11]. ГОСТ 27005-86 Бетоны легкие и ячеистые. Правила контроля средней плотности
- [12]. ГОСТ 21520-89 Блоки из ячеистых бетонов стеновые мелкие. Технические условия.
- [13]. ГОСТ 31359-2007 «Бетоны ячеистые автоклавного твердения»
- [14]. СНиП II-22-81\* «Каменные и армокаменные конструкции»
- [15]. СТО 501-52-01-2007 «Проектирование и возведение ограждающих конструкций жилых и общественных зданий с применением ячеистых бетонов в Российской Федерации»
- [16]. Федеральный закон "Технический регламент о требованиях пожарной безопасности" от 22.07.2008 N 123-ФЗ.
- [17]. ГОСТ 30247.0-94 «Конструкции строительные. Методы испытаний на огнестойкость. Общие требования»
- [18]. Стрельников А.Н. Долговечность ячеистых пенобетонных изделий при эксплуатации в условиях Тувы // Вестник Тувинского государственного университета. №3 технические и физико-математические науки. 2014. №3 (22). С. 29-37.
- [19]. Гринфельд Г.И. Руководство пользователя AEROC. СПб.: Изд-во AEROC, 2009. 52 с.
- [20]. Борыс А.П., Веселивский Р.Б., Половко А.П. Экспериментальное определение огнезащитной

### References

- [1]. Mestnikov A. Ye., Yegorova A. D., Antsupova S. G. Energosnabzheniye i effektivnost ispolzovaniya mestnykh materialov v stroitelstve // Vestnik Severo-Vostochnogo federalnogo universiteta im. M.K. Ammosova. 2006. №2. S. 37-40.
- [2]. Gravit M.V., Nedviga Ye.S., Vinogradova N.A., Teplova Zh.S. Ognestoykost sborno-monolitnykh chastorebristykh plit po balkam so stalnym profilom // Stroitelstvo unikalnykh zdaniy i sooruzheniy. 2016. №12(51). S. 73-83.
- [3]. Shipitsin A. Ognestoykost avtoklavnogo gazobetona // Pravila stroitelstva. 2014. №47/1. S. 1-7.
- [4]. Kishinevskaya Ye.V., Vatin N.I., Kuznetsov V.D. Perspektivy primeneniya nanobetona v monolitnykh bolsheproletnykh rebristykh perekrytiyakh s postnapryazheniyem // Inzhenerno-stroitelnyy zhurnal. 2009. №2. S. 55-58.
- [5]. Sakharov G.P. Yacheistyye betony v postkrisisnyy period // Stroitelnyye materialy i izdeliya. 2011. №1. S. 1-6.
- [6]. Lamkin O.B. Sovremennyye sredstva ognезashchity zhelezobetona v vysotnykh i podzemnykh sooruzheniyakh. Beton i zhelezobeton – puti razvitiya. Tom 6. M.: Dipak, 2005. S. 58-63.
- [7]. GOST 4.212-80 Sistema pokazateley kachestva produktsii. Stroitelstvo. Betony. Nomenklatura pokazateley.
- [8]. GOST 7076-99 Materialy i izdeliya stroitelnyye. Metod opredeleniya teploprovodnosti i termicheskogo soprotivleniya pri statsionarnom teplovom rezhime.
- [9]. GOST 13015-2003 Izdeliya zhelezobetonnyye i betonnyye dlya stroitelstva. Obshchiye tekhnicheskiye trebovaniya. Pravila priyemki, markirovki, transportirovaniya i khraneniya.
- [10]. GOST 25485-86 Betony yacheistyye. Tekhnicheskiye usloviya.
- [11]. GOST 27005-86 Betony legkiye i yacheistyye. Pravila kontrolya sredney plotnosti
- [12]. GOST 21520-89 Bloki iz yacheistykh betonov stenovyye melkiye. Tekhnicheskiye usloviya.
- [13]. GOST 31359-2007 «Betony yacheistyye avtoklavnogo tverdeniya»
- [14]. SNiP II-22-81\* «Kamennyye i armokamennyye konstruksii»
- [15]. STO 501-52-01-2007 «Proyektirovaniye i vozvedeniye ograzhdayushchikh konstruksiy zhilykh i obshchestvennykh zdaniy s primeneniym yacheistykh betonov v Rossiyskoy Federatsii»
- [16]. Federalnyy zakon "Tekhnicheskiy reglament o trebovaniyakh pozharnoy bezopasnosti" ot 22.07.2008 N 123-FZ.
- [17]. GOST 30247.0-94 «Konstruksii stroitelnyye. Metody ispytaniy na ognestoykost. Obshchiye trebovaniya»
- [18]. Strelnikov A.N. Dolgovechnost yacheistykh penobetonnykh izdeliy pri ekspluatatsii v usloviyakh Tuvy // Vestnik Tuvinskogo gosudarstvennogo universiteta. №3 tekhnicheskiye i fiziko-matematicheskiye nauki. 2014. №3 (22). S. 29-37.
- [19]. Grinfeld G.I. Rukovodstvo polzovatelya AEROC. SPb.: Izd-vo AEROC, 2009. 52 s.
- [20]. Borys A.P., Veselivskiy R.B., Polovko A.P. Eksperimentalnoye opredeleniye ognезashchitnoy sposobnosti gazobetona // Chrezvychaynyye situatsii: obrazovaniye i nauka. 2014. №2 (9). S. 57-60.

- способности газобетона // *Чрезвычайные ситуации: образование и наука*. 2014. №2 (9). С. 57-60.
- [21]. Борыс А.П., Половко А.П., Веселивский Р.Б. Экспериментальное исследование огнезащитных покрытий для металлических конструкций // *BADANIA I ROZWOJ*. 2014. №35. С. 123-128.
- [22]. Буценко В.О. Огнестойкость конструкций тоннеля // *Подземные горизонты*. 2016. №8. С. 62-66.
- [23]. Kodur V. K. R. Is high strength concrete more susceptible to explosive spalling than normal strength concrete in fire?. *Fire and materials*. 2002. No.26. Pp.127-130.
- [24]. Takazawa K., Noda Y., Fukami N. Test methods and preventive measures for explosive spalling of castable refractories. *Taikabutsu overseas*. 2005. No. 4 (25). Pp. 295-299.
- [25]. Ватин Н.И., Горшков А.С., Глумов А.В. Влияние физико-технических и геометрических характеристик штукатурных покрытий на влажностный режим однородных стен из газобетонных блоков // *Инженерно-строительный журнал*. 2011. №1. 2011. С. 28-33.
- [26]. Ватин Н.И., Гринфельд Г.И. Теплопередача и паропроницаемость ограждающих конструкций из газобетона с облицовкой из силикатного кирпича // *Стройпрофиль*. 2007. №6. С. 46-48.
- [27]. Корниенко С.В., Ватин Н.И., Горшков А.С. Оценка теплозащиты эксплуатируемых жилых зданий из газобетонных блоков // *Энергосбережение*. 2016. С. 56-72.
- [28]. Корниенко С.В., Ватин Н.И., Горшков А.С. Анализ теплоэнергетических характеристик жилого здания их газобетонных блоков // *Строительство уникальных зданий и сооружений*. 2016. №12 (51). С. 45-60.
- [29]. Еналеев Р.Ш., Анаников С.В., Теляков Э.Ш., Гасилов В.С. Огнестойкость бетона: европейское нормирование в строительстве // *Фундаментальные исследования*. 2012. №9 (4). С. 904-908.
- [30]. Еналеев Р.Ш., Теляков Э.Ш., Тучкова О.А., Харитоновна О.Ю. Огнестойкость элементов строительных конструкций при высокоинтенсивном нагреве // *Пожаровзрывобезопасность*. 2010. №5 (19). С. 48-53.
- [31]. Еналеев Р.Ш., Барбин Н.М., Теляков Э.Ш. Критерии огнестойкости элементов строительных конструкций на пожаровзрывоопасных объектах // *Пожаровзрывобезопасность*. 2011. №1 (20). С. 33-41.
- [32]. Ройтман В.М. Нормирование защиты высотных зданий от прогрессирующего разрушения при комбинированных особых воздействиях // *Пожаровзрывобезопасность*. 2007. №7 (16). С. 6-11.
- [33]. Еналеев Р. Ш., Димухаметов Р. Р., Тучкова О. А., Харитоновна О. Ю. Моделирование огнестойкости бетона при высокоинтенсивном нагреве // *Вестник Казанского технологического университета*. 2012. Т.15. №10. С. 88-95.
- [34]. Lemmerer J., Kusterle W., Lindlbauer W., Horhan R. Fire Loading of Highly Fire-Resistant Concrete Tunnel Linings. *Structures and extreme Events*. 2005. No. 1. Pp. 31-38.
- [35]. Khoury G.A. Passive protection against fire. *Tunnels & Tunnelling International*. 2003. No. 11. Pp. 40-43.
- [36]. Schutz D. Fire protection in tunnels: Focus on road & train tunnels. *Scor Global P&C*. 2014. No. 7. Pp. 1-12.
- [37]. Junek V., Micka T., Kolisko J., Kroc M., Bradacova I. Fire-Resistant Structures for Tunnels Using Light Concrete II. *Solid State Phenomena*. 2016. No. 249. Pp. 33-40.
- [38]. Gravit M., Antonov S., Nedryshkin O. Research features of tunnel linings with innovations fireproof panels. *Procedia Engineering*. 2016. No. 165. Pp. 1651-1657.
- [21]. Borys A.P., Polovko A.P., Veselivskiy R.B. Eksperimentalnoye issledovaniye ognезashchitnykh pokrytiy dlya metallicheskiykh konstruksiy // *BADANIA I ROZWOJ*. 2014. №35. С. 123-128.
- [22]. Butsenko V.O. Ognestoykost konstruksiy tonnelya // *Podzemnyye gorizonty*. 2016. №8. С. 62-66.
- [23]. Kodur V. K. R. Is high strength concrete more susceptible to explosive spalling than normal strength concrete in fire?. *Fire and materials*. 2002. No.26. Pp.127-130.
- [24]. Takazawa K., Noda Y., Fukami N. Test methods and preventive measures for explosive spalling of castable refractories. *Taikabutsu overseas*. 2005. No. 4 (25). Pp. 295-299.
- [25]. Vatin N.I., Gorshkov A.S., Glumov A.V. Vliyaniye fiziko-tekhnicheskikh i geometricheskikh kharakteristik shtukaturnykh pokrytiy na vlazhnostnyy rezhim odnorodnykh sten iz gazobetonnykh blokov // *Inzhenerno-stroitelnyy zhurnal*. 2011. №1. 2011. С. 28-33.
- [26]. Vatin N.I., Grinfeld G.I. Teploperedacha i paropronitsayemost ograzhdayushchikh konstruksiy iz gazobetona s oblitsovkoй iz silikatnogo kirpicha // *Stroyprofil*. 2007. №6. С. 46-48.
- [27]. Korniyenko S.V., Vatin N.I., Gorshkov A.S. Otsenka teplozashchity ekspluatiruyemykh zhilykh zdaniy iz gazobetonnykh blokov // *Energoberezheniye*. 2016. С. 56-72.
- [28]. Korniyenko S.V., Vatin N.I., Gorshkov A.S. Analiz teploenergeticheskikh kharakteristik zhilogo zdaniya ikh gazobetonnykh blokov // *Stroitelstvo unikalnykh zdaniy i sooruzheniy*. 2016. №12 (51). С. 45-60.
- [29]. Yenaleyev R.Sh., Ananikov S.V., Telyakov E.Sh., Gasilov V.S. Ognestoykost betona: yevropeyskoye normirovaniye v stroitelstve // *Fundamentalnyye issledovaniya*. 2012. №9 (4). С. 904-908.
- [30]. Yenaleyev R.Sh., Telyakov E.Sh., Tuchkova O.A., Kharitonova O.Yu. Ognestoykost elementov stroitelnykh konstruksiy pri vysokointensivnom nagreve // *Pozharovzryvobezopasnost*. 2010. №5 (19). С. 48-53.
- [31]. Yenaleyev R.Sh., Barbin N.M., Telyakov E.Sh. Kriterii ognestoykosti elementov stroitelnykh konstruksiy na pozharovzryvobezopasnykh obyektakh // *Pozharovzryvobezopasnost*. 2011. №1 (20). С. 33-41.
- [32]. Roytman V.M. Normirovaniye zashchity vysotnykh zdaniy ot progressiruyushchego razrusheniya pri kombinirovannykh osobykh vozdeystviyakh // *Pozharovzryvobezopasnost*. 2007. №7 (16). С. 6-11.
- [33]. Yenaleyev R. Sh., Dimukhametov R. R., Tuchkova O. A., Kharitonova O. Yu. Modelirovaniye ognestoykosti betona pri vysokointensivnom nagreve // *Vestnik Kazanskogo tekhnologicheskogo universiteta*. 2012. Т.15. №10. С. 88-95.
- [34]. Lemmerer J., Kusterle W., Lindlbauer W., Horhan R. Fire Loading of Highly Fire-Resistant Concrete Tunnel Linings. *Structures and extreme Events*. 2005. No. 1. Pp. 31-38.
- [35]. Khoury G.A. Passive protection against fire. *Tunnels & Tunnelling International*. 2003. No. 11. Pp. 40-43.
- [36]. Schutz D. Fire protection in tunnels: Focus on road & train tunnels. *Scor Global P&C*. 2014. No. 7. Pp. 1-12.
- [37]. Junek V., Micka T., Kolisko J., Kroc M., Bradacova I. Fire-Resistant Structures for Tunnels Using Light Concrete II. *Solid State Phenomena*. 2016. No. 249. Pp. 33-40.
- [38]. Gravit M., Antonov S., Nedryshkin O. Research features of tunnel linings with innovations fireproof panels. *Procedia Engineering*. 2016. No. 165. Pp. 1651-1657.
- [39]. Isago N. Behavior of lining concrete under high temperature condition. *SEE Tunnel^ Promoting Tunneling in SEE Region*. 2015. No. 5. Pp. 22-28.

- [39]. Isago N. Behavior of lining concrete under high temperature condition. SEE Tunnel<sup>^</sup> Promoting Tunneling in SEE Region. 2015. No. 5. Pp. 22-28.
- [40]. Гравит М.В. Нормативные документы европейского содружества, устанавливающие требования к оценке соответствия огнезащитных вспучивающихся покрытий для строительных конструкций // Лакокрасочные материалы и их применение. 2013. №3. С. 38-43.
- [41]. Гравит М.В. Исследование влияния различных факторов на коэффициент вспучивания органорастворимых огнезащитных покрытий // Лакокрасочные материалы и их применение. 2013. №6. С.12-17.
- [42]. Кошмаров Ю.А. Огнезащита строительных конструкций. М.: Информационно-издательский центр «ТИМР», 2000. 433 с.
- [43]. Страхов В.Л. Математическое моделирование работы водосодержащих вспучивающихся огнезащитных покрытий // Пожаровзрывобезопасность. 2003. №1. С.39-46.
- [44]. Копейкин В.А. Огнеупорные растворы на фосфатных связующих. М.: Изд. Metallurgiya, 1986. 104 с.
- [45]. Ненахов С.А. Динамика вспенивания огнезащитных покрытий на основе органо-неорганических составов // Пожаровзрывобезопасность. 2011. Т.20. № 8. С. 17-24.
- [46]. Ройтман В.М. Механизм формирования огнезащитного эффекта вспучивающихся покрытий железобетонных конструкций при их нагреве // Наука и безопасность. 2012. №4. С. 40-49.
- [47]. Мосалков И.Л. Здания сооружения и их устойчивость при пожаре. М.: Академия ГПС МЧС России, 2003. 656 с.
- [48]. Протокол сертификационных испытаний № С-16/01-2006 от 23 января 2006. ИЦ АНО «ЦИС НИИЖБ-ПОЛИГОН». 9 с.
- [49]. Санжаровская О.Р. Восстановление несущей способности сжатых железобетонных сечений // Metro и тоннели. 2008. №1. С. 30-31.
- [50]. Копейкин В.А. Огнеупорные растворы на фосфатных связующих. М.: Изд. Metallurgiya, 1986. 104 с.
- [51]. Ройтман В.М. Физический смысл и оценка коэффициента условий работы и критической температуры прогрева материалов конструкций в условиях пожара // Пожаровзрывобезопасность. 2011. №5. С.14-21.
- [52]. Ненахов С.А. Экспериментальное изучение влияния толщины вспенивающихся покрытий на огнезащитную эффективность // Пожаровзрывобезопасность. 2011. Т.20. № 5. С. 2-9.
- [53]. Fey K. G., Riehl I., Wulf R., Gross U. Experimental and numerical investigation of the first heat-up of refractory concrete. International Journal of Thermal Sciences. 2016. No. 100. Pp. 108-125.
- [54]. Chang W. T., Wang C. T., Huang C. W. Concrete at temperatures above 1000°C. Fire Safety Journal. 2004. No. 23. Pp.223-243.
- [55]. Габдулин Р. Ш. Повышение огнестойкости железобетонных строительных конструкций с помощью тонкослойных огнезащитных покрытий. М.: Диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук, 2014. 19 с.
- [56]. Фёдоров В.С., Левитский В.Е., Молчадский И.С., Александров А.В. Огнестойкость и пожарная опасность строительных конструкций. М.: Изд. АСВ, 2009. 408 с.
- [57]. Мешалкин Е.А. Исследование процесса разрушения бетонных изделий при пожаре с учётом их взрывообразной потери целостности. М.: Диссертация
- [40]. Gravit M.V. Normativnyye dokumenty yevropeyskogo sodruzhestva, ustanavlivayushchiye trebovaniya k otsenke sootvetstviya ognezashchitnykh vspuchivayushchikhsya pokrytiy dlya stroitelnykh konstruksiy // Lakokrasochnyye materialy i ikh primeneniye. 2013. №3. S. 38-43.
- [41]. Gravit M.V. Issledovaniye vliyaniya razlichnykh faktorov na koeffitsiyent vspuchivaniya organorastvorimyykh ognezashchitnykh pokrytiy // Lakokrasochnyye materialy i ikh primeneniye. 2013. №6. S.12-17.
- [42]. Koshmarov Yu.A. Ognezashchita stroitelnykh konstruksiy. M.: Informatsionno-izdatelskiy tsentr «TIMR», 2000. 433 s.
- [43]. Strakhov V.L. Matematicheskoye modelirovaniye raboty vodosoderzhashchikh vspuchivayushchikhsya ognezashchitnykh pokrytiy // Pozharovzryvobezopasnost. 2003. №1. S.39-46.
- [44]. Kopeykin V.A. Ogneupornyye rastvory na fosfatnykh svyazuyushchikh. M.: Izd. Metallurgiya, 1986. 104 s.
- [45]. Nenakhov S.A. Dinamika vspenivaniya ognezashchitnykh pokrytiy na osnove organo-neorganicheskikh sostavov // Pozharovzryvobezopasnost. 2011. T.20. № 8. S. 17-24.
- [46]. Roytman V.M. Mekhanizm formirovaniya ognezashchitnogo effekta vspuchivayushchikhsya pokrytiy zhelezobetonnykh konstruksiy pri ikh nagreve // Nauka i bezopasnost. 2012. №4. S. 40-49.
- [47]. Mosalkov I.L. Zdaniya sooruzheniya i ikh ustoychivost pri pozhare. M.: Akademiya GPS MChS Rossii, 2003. 656 s.
- [48]. Protokol sertifikatsionnykh ispytaniy № S-16/01-2006 ot 23 yanvarya 2006. ITS ANO «TsIS NIIZhB-POLIGON». 9 s.
- [49]. Sanzharovskaya O.R. Vosstanovleniye nesushchey sposobnosti szhatykh zhelezobetonnykh secheniy // Metro i tonneli. 2008. №1. S. 30-31.
- [50]. Kopeykin V.A. Ogneupornyye rastvory na fosfatnykh svyazuyushchikh. M.: Izd. Metallurgiya, 1986. 104 s.
- [51]. Roytman V.M. Fizicheskiy smysl i otsenka koeffitsiyenta usloviy raboty i kriticheskoy temperatury progrena materialov konstruksiy v usloviyakh pozhara // Pozharovzryvobezopasnost. 2011. №5. S.14-21.
- [52]. Nenakhov S.A. Eksperimentalnoye izucheniye vliyaniya tolshchiny vspenivayushchikhsya pokrytiy na ognezashchitnyuyu effektivnost // Pozharovzryvobezopasnost. 2011. T.20. № 5. S. 2-9.
- [53]. Fey K. G., Riehl I., Wulf R., Gross U. Experimental and numerical investigation of the first heat-up of refractory concrete. International Journal of Thermal Sciences. 2016. No. 100. Pp. 108-125.
- [54]. Chang W. T., Wang C. T., Huang C. W. Concrete at temperatures above 1000°C. Fire Safety Journal. 2004. No. 23. Pp.223-243.
- [55]. Gabdulin R. Sh. Povysheniye ognestoykosti zhelezobetonnykh stroitelnykh konstruksiy s pomoshchyu tonkosloynnykh ognezashchitnykh pokrytiy. M.: Dissertatsiya na soiskaniye uchenoy stepeni kandidata tekhnicheskikh nauk, 2014. 19 s.
- [56]. Fedorov V.S., Levitskiy V.Ye., Molchadskiy I.S., Aleksandrov A.V. Ognestoykost i pozharnaya opasnost stroitelnykh konstruksiy. M.: Izd. ASV, 2009. 408 s.
- [57]. Meshalkin Ye.A. Issledovaniye protsessa razrusheniya betonnykh izdeliy pri pozhare s uchetom ikh vzryvoobraznoy poteri tselostnosti. M.: Dissertatsiya na soiskaniye uchenoy stepeni kandidata tekhnicheskikh nauk, 1979. 210 s.
- [58]. Piradov, K.A. Mekhanika razrusheniya betona i zhelezobetona. Tbilisi.: Izdatelskiy tsentr VAK RK Min. obr. i nauki RK, 2000. 306 s.
- [59]. Krivtsov Yu.V. Tonkosloynnaya ognezashchita zhelezobetona // Protivopozharnyye i aviariyno-spatelnyye sredstva. 2006. №1. S. 22-24.

- на соискание ученой степени кандидата технических наук, 1979. 210 с.
- [58]. Пирадов, К.А. Механика разрушения бетона и железобетона. Тбилиси.: Издательский центр ВАК РК Мин. обр. и науки РК, 2000. 306 с.
- [59]. Кривцов Ю.В. Тонкослойная огнезащита железобетона // Противопожарные и аварийно-спасательные средства. 2006. №1. С. 22-24.
- [60]. Кривцов Ю.В. Тонкослойные покрытия для огнезащиты железобетона // Вестник Академии Государственной противопожарной службы. 2006. №5. С. 70-76.
- [61]. Кривцов Ю.В. Тонкослойная огнезащита бетона // Промышленное и гражданское строительство. 2006. №6. С. 23-24.
- [62]. Mensinger M., Fontana M., Frengi A. Development of a composite slab system with integrated installation floor and increased material-efficiency. Stahlbau. 2010. No. 4. Pp. 282-297.
- [63]. Mensinger M., Stadler M., Schaumann P., Sothmann J. Membrane action of composite slabs in fire - state of the art. Stahlbau. 2010. No. 4. Pp. 298-305.
- [64]. Zinke T., Ummenhofer T., Diel R., Mensinger M. Sustainability assessment of bridge constructions. Stahlbau. 2010. No. 6. Pp. 448-455.
- [65]. Mensinger M., Kraus P. Influence of industrial façades and trapezoidal sheeting on steel members with intumescent coating. International Fire Safety Symposium. 2015. No.1. Pp. 175-184.
- [66]. Kraus P., Mensinger M., Tabeling F., Schaumann P. Investigations of steel elements with intumescent coating connected to space-enclosing elements in fire. Applications of Structural Fire Engineering. 2013. No. 1 Pp. 447-453.
- [67]. Зиновьева М.С., Качалова А.М., Реснянская А.С. Оценка возможности переоборудования жилых помещений в многоквартирных домах по пределу огнестойкости изолирующих несущих конструкций // Ежегодная международная научно-техническая конференция системы безопасности. 2013. №22. С. 171-174.
- [68]. Шкутова Т.В. Экспериментальное подтверждение огнезащитной эффективности плитных материалов // Технологии техносферной безопасности. 2016. №4 (68). С. 134-139.
- [69]. Шишацкая Н.Г. Огнезащитные системы ОАО «ТИЗОЛ» - надежность и безопасность // Сиббезопасность-Спассиб. 2010. №1. С. 200-202.
- [70]. Патент № 2144552 (РФ). Способ получения силикатного клея-связки / К.А. Черепанов, В.А. Полубояров, Е.П. Ушакова, А.И. Черепанов, В.К. Черепанов // Заявл. 08.04.1998; опубл. 20.01.2000
- [71]. Патент № 2081084 (РФ). Способ изготовления пористого строительного материала // Волгоградский государственный технический университет. 95109477. Заявл. 06.06.1995. Опубл. 07.07.1995, Бюл. № 3.
- [72]. Патент № 2440941 (РФ). Ячеистый бетон на основе керамической безобжиговой композиции // ООО «Технофорест» (RU). 2009146862. Заявл. 17.12.2009. Опубл. 11.12.2011, Бюл. № 1.
- [73]. Патент № 2080310 (РФ). Силикатный ячеистый бетон автоклавного твердения // Верещагин А.В., Гаврилов В.Г. 5033719. Заявл. 03.01.1992. Опубл. 05.02.1995, Бюл. № 3.
- [74]. Wakili K. G., Hugi E., Karvonen L., Schnewlin P., Winnefeld F. Thermal behaviour of autoclaved aerated concrete exposed to fire. Cement and Concrete Composites. 2015. No. 62. Pp. 52-58.
- [75]. Щукина Е.Г., Архинчеева Н.В. Исследование возможности получения неавтоклавного газобетона с
- [60]. Krivtsov Yu.V. Tonkosloynnye pokrytiya dlya ognезashchity zhelezobetona // Vestnik Akademii Gosudarstvennoy protivopozharnoy sluzhby. 2006. №5. S. 70-76.
- [61]. Krivtsov Yu.V. Tonkosloynnaya ognезashchita betona // Promyshlennoye i grazhdanskoye stroitelstvo. 2006. №6. S. 23-24.
- [62]. Mensinger M., Fontana M., Frengi A. Development of a composite slab system with integrated installation floor and increased material-efficiency. Stahlbau. 2010. No. 4. Pp. 282-297.
- [63]. Mensinger M., Stadler M., Schaumann P., Sothmann J. Membrane action of composite slabs in fire - state of the art. Stahlbau. 2010. No. 4. Pp. 298-305.
- [64]. Zinke T., Ummenhofer T., Diel R., Mensinger M. Sustainability assessment of bridge constructions. Stahlbau. 2010. No. 6. Pp. 448-455.
- [65]. Mensinger M., Kraus P. Influence of industrial façades and trapezoidal sheeting on steel members with intumescent coating. International Fire Safety Symposium. 2015. No.1. Pp. 175-184.
- [66]. Kraus P., Mensinger M., Tabeling F., Schaumann P. Investigations of steel elements with intumescent coating connected to space-enclosing elements in fire. Applications of Structural Fire Engineering. 2013. No. 1 Pp. 447-453.
- [67]. Zinovyeva M.S., Kachalova A.M., Resnyanskaya A.S. Otsenka vozmozhnosti pereoborudovaniya zhilykh pomeshcheniy v mnogokvartirnykh domakh po predelu ognestoykosti izoliruyushchikh nesushchikh konstruksiy // Yezhegodnaya mezhdunarodnaya naychno-tekhnicheskaya konferentsiya sistemy bezopasnosti. 2013. №22. S. 171-174.
- [68]. Shkutova T.V. Eksperimentalnoye podtverzheniye ognезashchitnoy effektivnosti plitnykh materialov // Tekhnologii tekhnosfernoy bezopasnosti. 2016. №4 (68). S. 134-139.
- [69]. Shishatskaya N.G. Ognезashchitnyye sistemy OAO «TIZOL» - nadezhnost i bezopasnost // Sibbezopasnost-Spassib. 2010. №1. S. 200-202.
- [70]. Patent № 2144552 (RF). Sposob polucheniya silikatnogo kleya-svyazki / K.A. Cherepanov, V.A. Poluboyarov, Ye.P. Ushakova, A.I. Cherepanov, V.K. Cherepanov // Zyavl. 08.04.1998; opubl. 20.01.2000
- [71]. Patent № 2081084 (RF). Sposob izgotovleniya poristogo stroitel'nogo materiala // Volgogradskiy gosudarstvennyy tekhnicheskiy universitet. 95109477. Zayavl. 06.06.1995. Opubl. 07.07.1995, Byul. № 3.
- [72]. Patent № 2440941 (RF). Yacheisty beton na osnove keramicheskoy bezobzhigovoy kompozitsii // OOO «Tekhnoforest» (RU). 2009146862. Zayavl. 17.12.2009. Opubl. 11.12.2011, Byul. № 1.
- [73]. Patent № 2080310 (RF). Silikatnyy yacheisty beton avtoklavnogo tverdeniya // Vereshchagin A.V., Gavrilov V.G. 5033719. Zayavl. 03.01.1992. Opubl. 05.02.1995, Byul. № 3.
- [74]. Wakili K. G., Hugi E., Karvonen L., Schnewlin P., Winnefeld F. Thermal behaviour of autoclaved aerated concrete exposed to fire. Cement and Concrete Composites. 2015. No. 62. Pp. 52-58.
- [75]. Shchukina Ye.G., Arkhincheyeva N.V. Issledovaniye vozmozhnosti polucheniya neavtoklavnogo gazobetona s ispolzovaniyem khimicheskikh dobavok // Vestnik VSGTU. 2011. №4 (35). S. 17.
- [76]. Shagitov I.N. Konstruksionno-teploizolyatsionnyy gazobeton na osnove mestnogo syrya s dobavkoy sery i shlama proizvodstva khloristogo bariya. Kazan.: Dissertatsiya na soiskaniye uchenoy stepeni kandidata tekhnicheskikh nauk, 2004. 190 s.

- использованием химических добавок // Вестник ВСГТУ. 2011. №4 (35). С. 17.
- [76]. Шагитов И.Н. Конструкционно-теплоизоляционный газобетон на основе местного сырья с добавкой серы и шлама производства хлористого бария. Казань.: Диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук, 2004. 190 с.
- [77]. Абызов В.А., Клинов О.А. Жаростойкий фосфатный газобетон с добавками отходов огнеупорного волокна // Вестник ЮУрГУ. 2011. №35 (252). С. 38-39.
- [78]. Абызов А.Н. Жаростойкий газобетон на основе алюмомагнийфосфатного связующего и промышленных отходов // Огнеупоры и техническая керамика. 2009. №1-2. С. 51-54.
- [79]. Клинов О.А. Жаростойкий газобетон на основе алюмосиликофосфатного связующего с добавкой огнеупорного волокна. Челябинск.: Диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук, 2000. 162 с.
- [80]. Гравит М.В., Тарабанов В.Н. Огнестойкие слюдопластовые композиции на основе полиорганосилоксанов и фосфатных связующих // Пожарная безопасность: проблемы и перспективы. 2014. №1(5). С. 198-202.
- [81]. Correia J. R., Lima J. S., Brito J. D. Post-fire mechanical performance of concrete made with selected plastic waste aggregates. *Cement and Concrete Composites*. 2014. No. 54. Pp. 187-199.
- [82]. Бадмаев Б.Б., Дамдинов Б.Б., Лайбдабон Ч.С. Вязкоупругие свойства пропиточных растворов для пропитки строительных материалов // ВЕСТНИК ВСГУТУ. 2012. №1 (36). С. 5.
- [83]. PORITEP: пожаробезопасный лидер // Строительные материалы, оборудование, технологии XXI века. 2014. №6 (185). С. 14-15.
- [84]. Черепанов К. А., Коротков С. Г. Термозащита и энергосбережение на основе использования нанодispersного связующего // Вестник Сибирского государственного индустриального университета. 2015. №2 (12). С. 88-91.
- [85]. Hlystov A.I., Shirokov V. A., Vlasov A. S. Efficiency Improvement of Heat-resistant Concrete through the Use of Sludge Technogenic Raw Material. *Procedia Engineering*. 2015. No. 111. Pp. 290-296.
- [86]. Алтынник Н.И. Газобетон автоклавного твердения с использованием наноструктурированного модификатора. Белгород.: Диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук, 2013. 188 с.
- [87]. Клинов О.А. Жаростойкий газобетон на основе алюмосиликофосфатного связующего с добавкой огнеупорного волокна. Челябинск.: Диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук, 2008. 144 с.
- [88]. Мигунова К. В. Долговечность ограждающих стеновых панелей жилых зданий с учетом конструктивного решения // Academia. Архитектура и строительство. 2009. №5. С. 510-512.
- [89]. Конопляник А.Ю., Романовский Р.И. Подбор составов легких жаростойких бетонов для конструкций и тепловых устройств индивидуальных жилых домов // Вісник Придніпровської державної академії будівництва та архітектури. 2013. №8 (185). С. 52-59.
- [90]. Местников А. Е., Егорова А. Д., Анцупова С. Г. Энергоснабжение и эффективность использования местных материалов в строительстве // Вестник Северо-Восточного федерального университета им. М.К. Аммосова. 2006. №2. С. 37-40.
- [77]. Abyzov V.A., Klinov O.A. Zharostoykiy fosfatnyy gazobeton s dobavkami otkhodov ogneupornogo volokna // Vestnik YuUrGU. 2011. №35 (252). S. 38-39.
- [78]. Abyzov A.N. Zharostoykiy gazobeton na osnove alyumomagniyfosfatnogo svyazuyushchego i promyshlennykh otkhodov // Ogneupory i tekhnicheskaya keramika. 2009. №1-2. S. 51-54.
- [79]. Klinov O.A. Zharostoykiy gazobeton na osnove alyumosilikofosfatnogo svyazuyushchego s dobavkoy ogneupornogo volokna. Chelyabinsk.: Dissertatsiya na soiskaniye uchenoy stepeni kandidata tekhnicheskikh nauk, 2000. 162 s.
- [80]. Gravit M.V., Tarabanov V.N. Ognestoykiye slyudoplastovyye kompozitsii na osnove poliorganosiloksanov i fosfatnykh svyazuyushchikh // Pozharnaya bezopasnost: problemy i perspektivy. 2014. №1(5). S. 198-202.
- [81]. Correia J. R., Lima J. S., Brito J. D. Post-fire mechanical performance of concrete made with selected plastic waste aggregates. *Cement and Concrete Composites*. 2014. No. 54. Pp. 187-199.
- [82]. Badmayev B.B., Damdinov B.B., Laybdabon Ch.S. Vyazkouprugiyе svoystva propitochnykh rastvorov dlya propitki stroitelnykh materialov // VESTNIK VSGUTU. 2012. №1 (36). S. 5.
- [83]. PORITEP: pozharobezopasnyy lider // Stroitelnyye materialy, oborudovaniye, tekhnologii XXI veka. 2014. №6 (185). S. 14-15.
- [84]. Cherepanov K. A., Korotkov S. G. Termozashchita i energosberezheniye na osnove ispolzovaniya nanodispersnogo svyazuyushchego // Vestnik Sibirskogo gosudarstvennogo industrialnogo universiteta. 2015. №2 (12). S. 88-91.
- [85]. Hlystov A.I., Shirokov V. A., Vlasov A. S. Efficiency Improvement of Heat-resistant Concrete through the Use of Sludge Technogenic Raw Material. *Procedia Engineering*. 2015. No. 111. Pp. 290-296.
- [86]. Altynnik N.I. Gazobeton avtoklavnogo tverdeniya s ispolzovaniyem nanostrukturirovannogo modifikatora. Belgorod.: Dissertatsiya na soiskaniye uchenoy stepeni kandidata tekhnicheskikh nauk, 2013. 188 s.
- [87]. Klinov O.A. Zharostoykiy gazobeton na osnove alyumosilikofosfatnogo svyazuyushchego s dobavkoy ogneupornogo volokna. Chelyabinsk.: Dissertatsiya na soiskaniye uchenoy stepeni kandidata tekhnicheskikh nauk, 2008. 144 s.
- [88]. Migunova K. V. Dolgovechnost ograzhdayushchikh stenovykh paneley zhilykh zdaniy s uchetom konstruktivnogo resheniya // Academia. Arkhitektura i stroitelstvo. 2009. №5. S. 510-512.
- [89]. Konoplyanik A.Yu., Romanovskiy R.I. Podbor sostavov legkikh zharostoykikh betonov dlya konstruktsiy i teplovykh ustroystv individualnykh zhilykh domov // Visnik Pridniprovs'koi derzhavnoi akademii budivnitstva ta arkhitekturi. 2013. №8 (185). S. 52-59.
- [90]. Mestnikov A. Ye., Yegorova A. D., Antsupova S. G. Energosnabzheniye i effektivnost ispolzovaniya mestnykh materialov v stroitelstve // Vestnik Severo-Vostochnogo federalnogo universiteta im. M.K. Ammosova. 2006. №2. S. 37-40.
- [91]. Belozеров Ye.I. Polucheniyе teploizolyatsionnogo betona na legkikh zapolnitelyakh. Gazobeton. // Sbornik materialov mezhdunarodnoy nauchnoy konferentsii. (Sovremennyye tekhnologii v stroitelstve, dizayne, arkhitekture). Kirov.: Izd-vo Mezhdunarodnyy tsentr nauchno-issledovatel'skikh proyektov. 2013. S. 49-55.

- [91]. Белозеров Е.И. Получение теплоизоляционного бетона на легких заполнителях. Газобетон. // Сборник материалов международной научной конференции. (Современные технологии в строительстве, дизайне, архитектуре). Киров.: Изд-во Международный центр научно-исследовательских проектов. 2013. С. 49-55.
- [92]. Нгуен Т.Т., Орешкин Д.В. Технические свойства автоклавного и неавтоклавного газобетона // Вестник ИрГТУ. 2014. №8(91). С. 100-103.
- [93]. Sinica M., Sezeman G. A., Mikulskis D., Kligys M., Cesnauskas V. Impact of complex additive consisting of continuous basalt fibres and SiO<sub>2</sub> microdust on strength and heat resistance properties of autoclaved aerated concrete. Construction and Building Materials. 2014. No. 54. Pp. 718-726.
- [94]. Патент № 2323906 (РФ). Комплексная добавка // ЗАО «СЭНЭМИ». - 2006122737. Заявл. 26.06.2006. Оpubл. 20.02.2008., Бюл. № 3.
- [95]. Патент № 2441853 (РФ). Добавка к цементу, смеси на его основе и способ ее получения (варианты) // Юдович Б.Э., Зубехин С.А. 2010115836. Заявл. 21.04.2010. Оpubл. 24.05.2012, Бюл. № 2.167
- [96]. Патент № 2351556 (РФ). Модифицированный компонент магнезиального цемента / Мамулат С.Л., Захаров С.А. 2005101943. Заявл. 27.01.2005. Оpubл. 20.02.2007, Бюл. № 3.
- [97]. Патент № 2407714 (РФ). Вспененные способные к схватыванию композиции, включающие цементную печную пыль, и способы их использования // ХЭЛЛИБЕРТОН ЭНЕРДЖИ СЕРВИСИЗ, Инк. (US). 2008113765. Заявл. 24.08.2006. Оpubл. 21.08.2008, Бюл. № 2.
- [98]. Патент № 2150439 (РФ). Вяжущее // Чумаченко Н.Г., Тюрников В.В., Кириллов Д.В. 99103544. Заявл. 22.02.1999. Оpubл. 12.03.2001, Бюл. № 3.
- [99]. Патент № 2138456 (РФ). Огнеупорное вяжущее // Самарская государственная архитектурно-строительная академия. 98100467. Заявл. 06.01.1998. Оpubл. 08.02.2000, Бюл. № 1.
- [100]. Патент № 2473477 (РФ). Вяжущее // ФГБОУ ВПО «Тулский государственный университет». 2011127426. Заявл. 05.07.2011. Оpubл. 15.07.2013, Бюл. № 3.
- [101]. Патент № 2422394 (РФ). Добавка газообразующая для производства ячеистых бетонов «вулкан» // ООО «ГАЗОБЕТОН ДВ» Заявл. 02.02.2010. Оpubл. 27.06.2011., Бюл. № 3.
- [102]. Патент № 2422393 (РФ). Комплексная добавка в бетонную смесь в виде стабилизированной суспензии микрокремнезема // Долгополов А.Н. 2010100990. Заявл. 14.01.2010. Оpubл. 11.02.2012, Бюл. № 3.
- [103]. Патент № 2488558 (РФ). Способ получения аморфного микрокремнезема высокой чистоты из рисовой шелухи // ООО «Рисилика». 2011136382. Заявл. 01.09.2011. Оpubл. 02.09.2013, Бюл. № 1.
- [104]. Патент № 2440294 (РФ). Способ переработки рисовой шелухи и получение порошка нанокристаллического β-кristобалита // Виноградов В.В. 2010111461. Заявл. 25.03.2010. Оpubл. 27.04.2012, Бюл. № 2.
- [105]. Патент № 2359907 (РФ). Способ переработки рисовой шелухи / Боряев А.А., Круглов А.С. 2007130745. Заявл. 07.08.2007. Оpub. 08.08.2009, Бюл. №3.
- [106]. Патент № 2260572 (РФ). Добавка для модификации гипсовых вяжущих, строительных растворов и бетонов на их основе // Ефимов П.А. Пустовгар А.П. 2004115715. Заявл. 25.05.2004. Оpubл. 20.06.2006, Бюл. № 1.
- [107]. Патент № 2380343 (РФ). Сырьевая смесь для получения газобетона неавтоклавного твердения //
- [92]. Nguyen T.T., Oreshkin D.V. Tekhnicheskiye svoystva avtoklavnogo i neavtoklavnogo gazobetona // Vestnik IrGTU. 2014. №8(91). S. 100-103.
- [93]. Sinica M., Sezeman G. A., Mikulskis D., Kligys M., Cesnauskas V. Impact of complex additive consisting of continuous basalt fibres and SiO<sub>2</sub> microdust on strength and heat resistance properties of autoclaved aerated concrete. Construction and Building Materials. 2014. No. 54. Pp. 718-726.
- [94]. Patent № 2323906 (RF). Kompleksnaya dobavka // ZAO «SENEMI». - 2006122737. Zayavl. 26.06.2006. Opubl. 20.02.2008., Byul. № 3.
- [95]. Patent № 2441853 (RF). Dobavka k tsementu, smesi na yego osnove i sposob ee polucheniya (varianty) // Yudovich B.E., Zubekhin S.A. 2010115836. Zayavl. 21.04.2010. Opubl. 24.05.2012, Byul. № 2.167
- [96]. Patent № 2351556 (RF). Modifitsirovannyi komponent magnezialnogo tsementa / Mamulat S.L., Zakharov S.A. 2005101943. Zayavl. 27.01.2005. Opubl. 20.02.2007, Byul. № 3.
- [97]. Patent № 2407714 (RF). Vspenennyye sposobnyye k skhvatyvaniyu kompozitsii, vkluchayushchiye tsementnuyu pechnuyu pyl, i sposoby ikh ispolzovaniya // KhELLIBERTON ENERDZhi SERVISIZ, Ink. (US). 2008113765. Zayavl. 24.08.2006. Opubl. 21.08.2008, Byul. № 2.
- [98]. Patent № 2150439 (RF). Vyazhushcheye // Chumachenko N.G., Tyurnikov V.V., Kirillov D.V. 99103544. Zayavl. 22.02.1999. Opubl. 12.03.2001, Byul. № 3.
- [99]. Patent № 2138456 (RF). Ogneupornoye vyazhushcheye // Samarskaya gosudarstvennaya arkhitekturno-stroitel'naya akademiya. 98100467. Zayavl. 06.01.1998. Opubl. 08.02.2000, Byul. № 1.
- [100]. Patent № 2473477 (RF). Vyazhushcheye // FGBOU VPO «Tul'skiy gosudarstvennyy universitet». 2011127426. Zayavl. 05.07.2011. Opubl. 15.07.2013, Byul. № 3.
- [101]. Patent № 2422394 (RF). Dobavka gazoobrazuyushchaya dlya proizvodstva yacheistykh betonov «vulkan» // OOO «GAZOBETON DV» Zayavl. 02.02.2010. Opubl. 27.06.2011., Byul. № 3.
- [102]. Patent № 2422393 (RF). Kompleksnaya dobavka v betonnyuyu smes v vide stabilizirovannoy suspenzii mikrokremlnezema // Dolgopolov A.N. 2010100990. Zayavl. 14.01.2010. Opubl. 11.02.2012, Byul. № 3.
- [103]. Patent № 2488558 (RF). Sposob polucheniya amorfnoy mikrokremlnezema vysokoy chistoty iz risovoy shelukhi // OOO «Risilika». 2011136382. Zayavl. 01.09.2011. Opubl. 02.09.2013, Byul. № 1.
- [104]. Patent № 2440294 (RF). Sposob pererabotki risovoy shelukhi i polucheniye poroshka nanokristallicheskogo β-kristobalita // Vinogradov V.V. 2010111461. Zayavl. 25.03.2010. Opubl. 27.04.2012, Byul. № 2.
- [105]. Patent № 2359907 (RF). Sposob pererabotki risovoy shelukhi / Boryayev A.A., Kruglov A.S. 2007130745. Zayavl. 07.08.2007. Opub. 08.08.2009, Byul. №3.
- [106]. Patent № 2260572 (RF). Dobavka dlya modifikatsii gipsovykh vyazhushchikh, stroitelnykh rastvorov i betonov na ikh osnove // Yefimov P.A. Pustovgar A.P. 2004115715. Zayavl. 25.05.2004. Opubl. 20.06.2006, Byul. № 1.
- [107]. Patent № 2380343 (RF). Syryevaya smes dlya polucheniya gazobetona neavtoklavnogo tverdeniya // Polukhina N.A., Chalaya Ye.V. 2008141535, Zayavl. 20.10.2008 Opubl. 12.04.2010, Byul. № 2.
- [108]. Patent № 2339599 (RF). Syryevaya smes dlya legkogo betona / GOU VPO «Tverskoy gosudarstvennyy tekhnicheskiy universitet». 2007113439. Zayavl. 10.04.2007. Opubl. 13.05.2009, Byul. № 1.

- Полухина Н.А., Чалая Е.В. 2008141535, Заявл. 20.10.2008. Оpubл. 12.04.2010, Бюл. № 2.
- [108]. Патент № 2339599 (РФ). Сырьевая смесь для легкого бетона / ГОУ ВПО «Тверской государственный технический университет». 2007113439. Заявл. 10.04.2007. Оpubл. 13.05.2009, Бюл. № 1.
- [109]. Патент № 2191166 (РФ). Сухая смесь для приготовления штукатурки по газобетону / Меркурьев М.В. 2000133084. Заявл. 20.12.2000. Оpubл. 21.12.2002, Бюл. № 3.
- [110]. Патент № 2107675 (РФ). Газобетон /Воронин В.Н., Мязишев А.Н., Сизиков А.М., Хлестунов В.В. 97111151. Заявл. 11.07.1997. Оpubл. 13.10.1999, Бюл. № 2.
- [111]. Патент № 2415093 (РФ). Способ получения водостойкого гипсового вяжущего // Михеенков М.А. 2009138170. Заявл. 15.10.2009. Оpubл. 25.10.2011, Бюл. № 1.168
- [112]. Патент № 2326097 (РФ). Сырьевая смесь для изготовления газобетона с повышенными прочностными характеристиками // ГОУ ВПО «Братский государственный университет». 2006135169. Заявл. 04.10.2006. Оpubл. 09.10.2008, Бюл. № 2.
- [113]. Патент № 2380343 (РФ). Сырьевая смесь для получения газобетона неавтоклавного твердения // Полухина Н.А. Чалая Е.В. 2008141535. Заявл. 20.10.2008. Оpubл. 22.11.2010, Бюл. № 3.
- Князева Ю.Д., Кротова В.В., Гравит М.В., Повышение огнестойкости конструкций из газобетона// Alfabuild. 2018. №4(6). С. 49-64*
- [109]. Patent № 2191166 (RF). Sukhaya smes dlya prigotovleniya shtukaturki po gazobetonu / Merkuryev M.V. 2000133084. Zayavl. 20.12.2000. Opubl. 21.12.2002, Byul. № 3.
- [110]. Patent № 2107675 (RF). Gazobeton /Voronin V.N., Myakishhev A.N., Sizikov A.M., Khlestunov V.V. 97111151. Zayavl. 11.07.1997. Opubl. 13.10.1999, Byul. № 2.
- [111]. Patent № 2415093 (RF). Sposob polucheniya vodostoykogo gipsovogo vyazhushchego // Mikheyenkov M.A. 2009138170. Zayavl. 15.10.2009. Opubl. 25.10.2011, Byul. № 1.168
- [112]. Patent № 2326097 (RF). Syryevaya smes dlya izgotovleniya gazobetona s povyshennymi prochnostnymi kharakteristikami // GOU VPO «Bratskiy gosudarstvennyy universitet». 2006135169. Zayavl. 04.10.2006. Opubl. 09.10.2008, Byul. № 2.
- [113]. Patent № 2380343 (RF). Syryevaya smes dlya polucheniya
- Knyazeva Yu., Krotova V., Gravit M. Increase of fire resistance of aerated concrete structures. Alfabuild, 2018, 4(6), Pp. 49-64(rus)*

---

## Increase of fire resistance of aerated concrete structures

Yu. Knyazeva<sup>1</sup>, V. Krotova<sup>2</sup>, M. Gravit<sup>3</sup>

<sup>1-3</sup> Peter the Great St. Petersburg Polytechnic University, 29 Politechnicheskaya St., St. Petersburg, 195251, Russia

---

Article info

review article

### Abstract

*The object of this study is the fire resistance of aerated concrete structures and methods for its enhancement. The study and improvement of the properties of aerated concrete is an urgent task in the field of construction. The purpose of the study was to find out what methods of improving aerated concrete exist. The authors reviewed the scientific and technical literature in the field of increasing the fire resistance limits for building structures made of aerated concrete. It is shown that there is no definition of aerated concrete in regulatory documents. Various methods for improving the fire resistance of aerated concrete have been investigated. Various characteristics of aerated concrete are considered. The conclusion is drawn about a wide range of advantages of aerated concrete. It is proved that the research of aerated concrete is promising in the modern world, there are many patents aimed at studying and improving the properties of aerated concrete*

Keywords:

Construction, building structures, aerated concrete, fire resistance, fire protection means

---

---

#### Corresponding author

1. +7(921)4250592, julia060796@rambler.ru (Knyazeva Yulia, Student)
2. +7(962)7246076, ms.persona11@mail.ru (Krotova Valeria, Student)
3. +7(912)9126407, marina.gravit@mail.ru (Gravit Marina, Ph.D., Associate Professor)