

DOI.org/10.5281/zenodo.1196703  
УДК 691.335

С.Н. Леонович, Д.В. Свиридов, А.Л. Беланович, Л.С. Карпушенкова,  
С.А. Карпушенков, Л.В. Ким

ЛЕОНОВИЧ СЕРГЕЙ НИКОЛАЕВИЧ – д.т.н., профессор, декан

Строительного факультета, e-mail: sleonovich@mail.ru

*Белорусский национальный технический университет*

Независимости пр-т, 65, Минск, Республика Беларусь, 220013

СВИРИДОВ ДМИТРИЙ ВАДИМОВИЧ – д.х.н., профессор, декан химического факультета

e-mail: sviridov@bsu.by

БЕЛАНОВИЧ АНАТОЛИЙ ЛЕОНИДОВИЧ – к.х.н., ведущий научный сотрудник,

e-mail: lab508@mail.ru

КАРПУШЕНКОВА ЛАРИСА СТЕПАНОВНА – к.х.н., доцент кафедры физической химии,

e-mail: karpushenkava@bsu.by

КАРПУШЕНКОВ СЕРГЕЙ АЛЕКСАНДРОВИЧ – к.х.н., доцент кафедры

неорганической химии, e-mail: karpushenkov@bsu.by

*Белорусский государственный университет*

Ленинградская ул., 14, Минск, Республика Беларусь, 220030

КИМ ЛЕВ ВЛАДИМИРОВИЧ – к.т.н., доцент кафедры гидротехники, теории зданий

и сооружений Инженерной школы, e-mail: kim\_lm@dvfu.ru

*Дальневосточный федеральный университет*

Суханова ул., 8, Владивосток, 690091

## Особенности формирования жаростойкого пенобетона

**Аннотация:** Рассмотрен перспективный огнеупорный материал – жаростойкий пенобетон, отличающийся низкой себестоимостью, экологичностью и низкой плотностью. Использование глиноземистых цементов при изготовлении пенобетона по пенной технологии имеет ряд недостатков: низкая устойчивость пены в процессе получения пенобетонной смеси и недостаточная прочность пенобетона. Изучены особенности формирования жаростойкого пенобетона с использованием двухкомпонентного вяжущего из глиноземистого цемента и глины. Экспериментально определен оптимальный состав сухой смеси на основе двухкомпонентного вяжущего и добавок. Получены зависимости влияния концентрации цитрата натрия в воде затворения на пластичность растворной и пенобетонной цементной смеси и на время начала и конца схватывания растворной цементной смеси. Даны результаты исследования влияния состава вяжущего и минеральных добавок на формирование и свойства жаростойкого пенобетона, которые обеспечивают проектную прочность при прогреве за счет твердофазного спекания глины с другими компонентами смеси. Экспериментально определен оптимальный состав сухой смеси на основе двухкомпонентного вяжущего (глиноземистого цемента и глины месторождения «Кустиха», Беларусь), минеральных добавок (шамот, метакаолин, сульфоалюминатный модификатор, отходы базальтового волокна), пластифицирующей добавки цитрата натрия, пенообразователя Ufaroge. Установлено, что цитрат натрия приводит к повышению реологических свойств вспененной пеномассы и к сокращению времени ее схваты-

вания и затвердевания при водотвердом отношении 0,45–0,70. Даны рекомендации по применению рассмотренных составов жаростойкого пенобетона.

*Ключевые слова:* пенобетон, жаростойкость, сухая смесь, минеральная добавка, пенообразователь, ускоритель твердения, пластификатор.

### Введение

Разработка новых огнеупорных материалов, улучшающих технические и экономические характеристики печей и различных конструкций в условиях высокотемпературного нагрева, а также огнестойкость сооружений является актуальной задачей [14, 16]. Один из перспективных огнеупорных материалов – жаростойкий пенобетон, отличающийся низкой себестоимостью, экологичностью и низкой плотностью [10].

При производстве жаростойких пенобетонов используются различные композиции на основе глиноземистых и высокоглиноземистых цементов [12]. Однако использование глиноземистых цементов при изготовлении пенобетона по пенной технологии имеет ряд недостатков: низкая устойчивость пены в процессе получения пенобетонной смеси и недостаточная прочность пенобетона в диапазоне рабочих температур промышленных печей [3]. При этом пенообразователи, необходимые при изготовлении пенобетонных смесей, являются сильными замедлителями твердения цементов, особенно на стадии набора пластической твердости [4].

Для улучшения свойств пенобетонных композиций широко используются различные добавки и технологические приемы [12, 15], например комплексные сухие смеси, что позволяет повысить эффективность изготовления пенобетона [7, 10]. Помимо высокой эффективности по сравнению с традиционными методами изготовления пенобетона готовые сухие смеси могут использоваться практически без подготовки, удобно расфасованы.

Целью работы было выявление особенностей формирования жаростойкого пенобетона с использованием двухкомпонентного вяжущего из глиноземистого цемента и глины. В задачи исследований входили: 1) экспериментально определить оптимальный состав сухой смеси на основе двухкомпонентного вяжущего и добавок; 2) определить зависимости влияния концентрации цитрата натрия в воде затворения на пластичность растворной и пенобетонной цементной смеси и на время начала и конца схватывания растворной цементной смеси; 3) дать рекомендации по применению рассмотренных составов жаростойкого пенобетона.

### Методика эксперимента

Сухую смесь готовили по оптимально определенному предварительно составу на основе глиноземистого цемента ГЦ-40 и глины месторождения «Кустиха» (Гомельская область, Республика Беларусь) и шамота при соотношении 1:1:1 [10]. Глину (химический состав, мас. %:  $\text{SiO}_2$  – 65;  $\text{Al}_2\text{O}_3$  – 12,58;  $\text{Fe}_3\text{O}_4$  – 4,4;  $\text{TiO}_2$  – 0,78;  $\text{CaO}$  – 4,48;  $\text{MgO}$  – 1,0;  $\text{K}_2\text{O}$  – 1,85;  $\text{Na}_2\text{O}$  – 0,37;  $\text{SO}_3$  – 0,17 [1]) и шамот предварительно высушивали при 150 °С и измельчали в шаровой мельнице до остатка на сетке № 0,25.

Для получения пенобетона сначала в течение 5 мин сухую смесь механически перемешивали (300 об/мин) с водой затворения при водотвердом отношении (В/Т) 0,45–0,7, а затем диспергировали с помощью миксера (2000 об/мин) в течение 2 мин. После этого вспученную пенобетонную массу загружали в форму и отверждали при комнатной температуре в течение 24 ч, затем затвердевший образец извлекали из формы и выдерживали в течение 3 сут в закрытой емкости для обеспечения максимальной гидратации цемента и глины.

Сроки схватывания определяли с помощью прибора «Вика» по методике, описанной в ГОСТ 310.3-81, включая определение нормальной густоты пенобетонной массы. Предел прочности при сжатии, среднюю плотность и усадку пенобетона определяли по методикам, приведенным в ГОСТ 10180-2012, ГОСТ 12730.1-78 и ГОСТ 25485-89.

### Обсуждение результатов

Использование глиноземистого цемента при изготовлении бетонов и пенобетонов обусловлено его способностью быстро затвердевать при затворении водой: его трехдневная прочность,

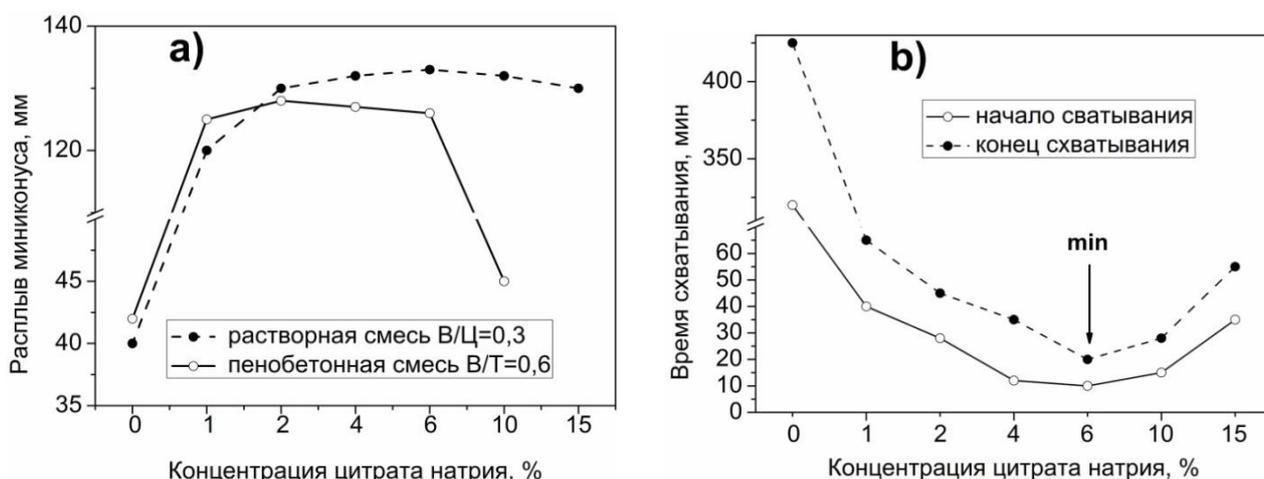
как правило, соответствует 28 сут прочности общестроительного портландцемента [8]. Однако при твердении глиноземистой массы выделяется в 2 раза больше тепла по сравнению с обычным бетоном на портландцементе, что чревато уменьшением прочности цементного камня. Поэтому введение в состав сухой смеси из глиноземистого цемента различных твердых вяжущих (глина, шамот, метакралин) позволяет изменить состав продуктов гидратации цемента и влиять на технические параметры процесса изготовления пенобетона: температура, усадка, твердение и т.п. [6].

Ранее нами установлено [10], что в отличие от традиционных пенобетонов (в частности, на основе портландцемента и глиноземистого цемента), теряющих прочность при прогреве уже при температуре 600–800 °С, пенобетоны на основе двухкомпонентного вяжущего (помимо глиноземистого цемента содержат еще и глину) не только не снижают свою прочность, а, наоборот, увеличивают. Данное явление – результат дополнительного фиксирования пористой структуры таких пенобетонов за счет спекания глины и шамота при их нагревании.

Второй момент, который необходимо учитывать при изготовлении пенобетонов на основе глиноземистого цемента, это перенасыщение гелеобразной жидкой фазы, которое наступает с увеличением степени гидратации цемента [5]. Оно эффективно влияет не только на скорость схватывания и твердения цементной массы, но и на процесс ее структурообразования с поддержанием постоянных условий формирования жидкой фазы на весь период схватывания смеси. Чтобы создать такие условия, в состав цементного теста вводят добавки, которые позволяют увеличить скорость вывода некоторых продуктов гидратации из зоны реакции цемента с водой или способствуют взаимодействию цементного клинкера с водой затворения.

Использование добавок-электролитов приводит к изменению растворимости продуктов гидратации и гидролиза в вяжущем. Такие добавки способствуют выводу продуктов гидратации из зоны реакции или увеличивают растворимость минералов клинкера. Одной из таких добавок является цитрат натрия. Ранее нами было показано [9], что цитрат натрия увеличивает гидратацию как портландцемента, так и глиноземистого цемента, а также обеспечивает образование в гелеобразной фазе наноразмерных частиц гидроалюминатов, которые и приводят к существенному упрочнению цементного камня.

Использование растворенного в воде затворения цитрата натрия при приготовлении цементной смеси на основе глиноземистого цемента оказывает существенное влияние на процесс разжижения раствора. Как иллюстрирует рис. 1, а, максимальное пластифицирующее действие добавки цитрата натрия в растворяющей смеси наблюдается уже при концентрации 2% по отношению к массе цемента и водоцементном отношении В/Ц = 0,3. Далее в интервале концентраций цитрата от 2 до 10% пластичность смеси практически не меняется, а при концентрации 15% наблюдается незначительное уменьшение пластичности.



**Рис. 1. Влияние концентрации цитрата натрия в воде затворения на: а – пластичность растворной и пенобетонной цементной смеси; б – время начала и конца схватывания растворной цементной смеси**

Можно ожидать, что пластифицирующее действие добавки цитрата будет иметь схожее действие и при ее использовании в пенобетонной смеси. Однако ввиду более сложного состава такой смеси, которая дополнительно содержит минеральные добавки и пенообразователь, влияние добавки цитрата на пластичность оказывается иным.

Из рис. 1, а видно, что максимальное пластифицирующее действие цитрата в пенобетонной смеси наблюдается в интервале концентраций от 1 до 6% от массы цемента. Следует отметить, что при концентрации цитрата натрия 2% пластичность растворной и пеноцементной смесей, согласно величинам растекания мини-конуса, практически одинаковы.

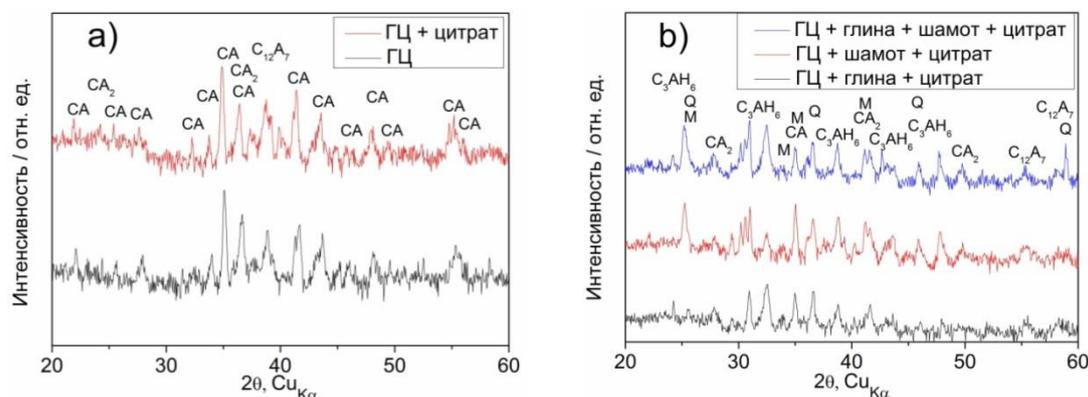
В случае пенобетонной смеси водотвердое отношение  $V/T=0,6$  (используется  $V/T$ , так как вяжущее действие оказывает не только цемент, но и глина), когда пластичность пенобетонной и растворной смесей без добавки цитрата натрия примерно одинаковы. При определении  $V/T$  для пенобетонной смеси учитывается тот факт, что одна часть воды необходима для гидратации вяжущих и растворения твердых добавок, а вторая – для образования пены. Таким образом, перерасход или нехватка воды могут в значительной степени ухудшить структуру конечного пенобетона.

Установлено, что диапазон оптимального  $V/T$  для пенобетонной смеси достаточно узок. При  $V/T < 0,45$  невозможно осуществить процесс формирования пенобетонной смеси из-за недостатка воды. При  $V/T > 0,7$  она увеличивает на 30–40% объем пеномассы после вспучивания, что приводит к увеличению неоднородности пор пенобетона. Это вызвано тем, что размер пузырьков в пене колеблется от 0,1 до 3 мм, и тогда плотность уменьшается до 250–300 кг/м<sup>3</sup>, а прочность – до 0,2–0,3 МПа.

Минимальное время начала схватывания и начала твердения в случае растворной смеси (10 и 20 мин соответственно) наблюдается в интервале концентраций цитрата натрия от 4 до 10%. Можно предположить, что ускоряющее действие цитрата натрия обусловлено выводом из жидкой фазы гидратированного цемента ионов  $Ca^{2+}$  путем их связывания в малорастворимые цитраты. Очевидно, что концентрация цитрата 6% от массы цемента является наиболее оптимальной для получения растворной смеси с максимальной пластичностью и минимальным временем схватывания и твердения.

Из анализа данных, полученных для пенобетонной смеси, следует, что цитрат натрия при концентрации до 2% от массы цемента пластифицирует пеноцементную массу, делает ее эластичной, но не вызывает ускорения схватывания и последующего твердения. При концентрациях цитрата натрия более 6% от массы цемента период схватывания пеноцементной массы сокращается до 120–150 мин, но это все равно больше, чем для растворной смеси (10–20 мин).

По истечении 120–150 мин пенобетонная смесь начинает терять пластичность, но при этом возрастает стабилизация пеноцементной массы с переходом ее в кристаллизационное состояние. В данный момент в пеноцементном тесте реализуется кристаллизационный процесс срастания гидратных соединений с образованием кристаллических структур (рис. 2).



**Рис. 2. Дифрактограммы образцов из глиноземистого цемента (ГЦ) без и с добавлением 6% цитрата натрия (а) и с дополнительными добавками глины, шамота и смеси шамота с глиной (б) при  $V/T=0,6$ . Здесь CA –  $CaO \cdot Al_2O_3$ ;  $CA_2$  –  $CaO \cdot 2Al_2O_3$ ;  $C_{12}A_7$  – майенит  $Ca_{12}Al_{14}O_{33}$ ;  $C_3AH_6$  –  $3CaO \cdot Al_2O_3 \cdot 6H_2O$ ; Q – кварцевый  $SiO_2$ ; M – муллит  $Al_6Si_2O_{13}$  [13]**

Рентгенофазовый анализ показал, что образцы цементного камня на основе глиноземистого цемента представлены по составу хорошо закристаллизованными алюминатами кальция  $CA$ ,  $CA_2$  и  $C_{12}A_7$ . При добавке цитрата натрия в глиноземистый цемент фазовый состав образцов пенобетона не изменяется (рис. 2, а). При добавлении глины «Кустиха» в глиноземистый цемент обнаружена фаза оксида кремния ( $SiO_2$ ) – кварца (Q); а при введении шамота усиливается интенсивность пиков, принадлежащих муллиту (M), что свидетельствует о повышении его концентрации в системе. Кроме того, еще обнаружена дополнительная фаза, соответствующая гидратированному алюминату кальция  $C_3AH_6$  (рис. 2, б).

Невозможно получить качественный пенобетон из смеси глиноземистого цемента, глины и шамота (рис. 3, а), но при добавлении цитрата натрия достигается приемлемое качество (рис. 3, б). Однако все равно местами видны неоднородности на поверхности образца пенобетона. Это свидетельствует о необходимости введения минеральных добавок в сухую смесь для предотвращения образования полостей и трещин при последующей гидратации и твердении.



**Рис. 3. Образцы пенобетона на основе глиноземистого цемента, шамота и глины в отсутствие (а) и с добавкой 6% цитрата натрия (б) от массы цемента  $V/T=0,6$**

Использование пенообразователя необходимо для формирования устойчивой пеномассы при изготовлении пенобетонной смеси с образованием пузырьков примерно одного размера, что позволяет получать пенобетоны более высокого качества. Следует учитывать, что при недостаточном содержании пенообразователя не будет обеспечиваться требуемая плотность пенобетона, а при его повышенном расходе может произойти замедление процессов схватывания и твердения пеноцементной системы. Ранее было показано [10], что наилучшие результаты по вспениванию пенобетонной массы показал пенообразователь Ufapore при концентрации 0,5–1,0 %.

Мелкодисперсную глину и отходы огнеупорных материалов (шамот) добавляли в состав сухой смеси с целью сокращения содержания глиноземистого цемента и увеличения термической стойкости пенобетонов при последующем их высокотемпературном нагреве. Введение метаксаолина в состав сухой смеси приводит к стабилизации гексагональных гидроалюминатов кальция при длительном твердении глиноземистого цемента, что и позволяет рекомендовать состав смеси с добавкой метаксаолина в количестве 15% от массы глиноземистого цемента [11].

Вспучивание сухой смеси, состоящей из глиноземистого цемента, глины, шамота и метаксаолина с добавлением цитрата натрия и пенообразователя Ufapore при  $V/T=0,45-0,70$  приводит к формированию пенобетонов с плотностью 300–600 кг/м<sup>3</sup>. Однако при последующей сушке в этих пенобетонах через 5–10 сут образуются усадочные трещины за счет образования большого количества эттрингита в единице объема пенобетона [11].

Установлено, что добавка сульфоалюминатного модификатора (PCAM) в количестве 15% от массы глиноземистого цемента позволяет компенсировать усадочные деформации при получе-

нии жаростойкого пенобетона за счет расширяющего эффекта добавки РСАМ в присутствии цитрата натрия.

Кроме того, для жаростойких пенобетонов при нагревании характерно появление деформаций, которые приводят к появлению трещин. Для предотвращения данного явления в пенобетонную смесь дополнительно вводят фибру, которая не может изменить ни плотность, ни теплопроводность материала, но оказывает положительное влияние на его прочностные характеристики.

Использование базальтовых волокон способствует формированию на их поверхности центров кристаллизации с образованием сети гексагональных пластин и игольчатых кристаллов, срастающихся со сферическими зёрнами цементной системы, что дополнительно усиливает действие волокон как дисперсной арматуры [2].

Таким образом, рассмотрев эффективность используемых компонентов сухой смеси для получения жаростойких пенобетонов, установлено, что оптимальными концентрациями минеральных добавок в составе сухой смеси являются: использование базового состава вяжущего из глиноземистого цемента, глины и шамота в соотношении 1:1:1, 5% метакаолина, 5% РСАМ, 3,2% базальтового волокна, 1,7% цитрата натрия и 0,5% пенообразователя Ufapore.

### Выводы

Представлены результаты изучения новых составов сухих смесей, содержащих добавки, позволяющих контролировать физико-химические параметры пенобетонной смеси как в процессе изготовления, так и во время твердения. Из предложенного состава сухой смеси пенобетона при  $V/T=0,45-0,70$  можно получить жаростойкий пенобетон без усадочных трещин плотностью 300–650 кг/м<sup>3</sup> и прочностью при сжатии 0,2–2,5 МПа при естественном отверждении и 0,3–3,2 МПа после прогрева при 1000 °С. В отличие от пенобетонов на основе портландцемента и глиноземистого цемента полученный пенобетон имеет увеличенную прочность при прогреве.

Выявлены особенности формирования жаростойкого пенобетона с использованием двухкомпонентного вяжущего из глиноземистого цемента и глины. Дальнейшие направления исследования – разработка рекомендаций для компаний и технологической документации по производству жаростойкого пенобетона.

### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. А.с. СССР, МПК С04В 1715750. Сырьевая смесь для производства керамзита / И.Е. Бетиков, Б.К. Демидович; Минск. НИИ строительных материалов. Заявл. № 4727367, 07.07.1989; опубл. 28.02.1992. Бюл. № 8. 2 с.
2. Василевская Н.Г., Енгджиевская И.Г., Калугин И.Г. Управление структурой ячеистых фибробетонов // Изв. вузов. Строительство. 2010. № 11–12. С. 17–20.
3. Горин В.М., Сухов В.Ю., Нехаев П.Ф. и др. Легкий жаростойкий бетон ячеистой структуры // Строительные материалы. 2003. № 8. С. 17–19.
4. Горлов Ю.П., Меркин А.П., Устенко А.А. Технология теплоизоляционных материалов. М.: Стройиздат, 1980. 316 с.
5. Кривенко П.В., Скурчинская Ж.В., Демьянова Л.Е. и др. Гидратационно-дегидратационный процесс получения искусственного камня на основе щелочных алюмосиликатных связок // Цемент. 1993. № 3. С. 39–40.
6. Кривобородов Ю.Р., Бойко А.А. Влияние минеральных добавок на гидратацию глиноземистого цемента // Техника и технология силикатов. 2011. № 4. С. 14–16.
7. Кройчук Л.А. Опыт изготовления и использования сухих растворных смесей за рубежом // Строительные материалы. 2000. № 9. С. 16–17.
8. Кунц Э. Производство и применение сборных строительных элементов из жаростойкого бетона в ГДР. Жаростойкий бетон и железобетон и области их эффективного применения в строительстве. М.: Стройиздат. 1969. С. 24–26.
9. Леонович С.Н., Свиридов Д.В., Беланович А.Л. и др. Продление срока годности растворных смесей // Строительные материалы. 2012. № 10. С. 74–77.

10. Леонович С.Н., Свиридов Д.В., Беланович А.Л. и др. Сухая смесь для получения жаростойкого пенобетона // Строительные материалы. 2017. № 7. С. 25–29.
11. Сердюк В.Р., Вахитов С.Г. Интенсификация структурообразования и твердения ячеистых бетонов // Промышленность строительных материалов. Сер. 8: Промышленность автоклавных материалов и местных вяжущих. 1983. Вып. 11. С. 13–15.
12. Юдин А.Н., Ткаченко Г.А., Измайлова Е.В. О методике проектирования состава неавтоклавных пенобетонов с одностадийным приготовлением ячеистой смеси // Изв. вузов. Строительство. 2001. № 7. С. 21–25.
13. Antonovic V., Keriene J., Boris R. et al. The Effect of Temperature on the Formation of the Hydrated Calcium Aluminate Cement Structure. *Procedia Engineering*. 2013;57:99–106.
14. Baradan-Nasiri A., Nematzadeh M. The effect of elevated temperatures on the mechanical properties of concrete with fine recycled refractory brick aggregate and aluminate cement. *Construction and Building Materials*. 2017;147:865–875.
15. Juetter T., Moertel H., Svinka V. et al. Structure of kaoline-alumina based foam ceramics for high temperature applications. *J. European Ceramic Society*. 2007;27;2–3:1435–1441.
16. Komtitsas K., Zaharaki D. Geopolelymerisation: A review and prospects for minerals industry. *Minerals Engineering*. 2007;14:1261–1277.

[THIS ARTICLE IN ENGLISH SEE NEXT PAGE](#)

**Building Materials and Technologies**

DOI.org/10.5281/zenodo.1196703

Leonovich S., Sviridov D., Belanovich A., Karpushenkova L.,  
Karpushenkov S., Kim L.

SERGEI LEONOVICH, Doctor of Engineering Sciences, Professor, Dean, Civil Engineering Faculty, e-mail: sleonovich@mail.ru.

*Belarusian National Technical University*

65 Nezavisimosti Av., Minsk, Republic of Belarus, 220013

DMITRY SVIRIDOV, Doctor of Chemical Sciences, Professor, Dean, Chemistry Faculty,

e-mail: sviridov@bsu.by

ANATOLY BELANOVICH, Candidate of Chemical Science, Senior Researcher,

e-mail: lab508@mail.ru

LARISA KARPUSHENKOVA, Candidate of Chemical Sciences, Associate Professor,

Department of Physical Chemistry, e-mail: karpushenkava@bsu.by

SERGEY KARPUSHENKOV, Candidate of Chemical Sciences, Associate Professor,

Department of Inorganic Chemistry, e-mail: karpushenkov@bsu.by

*Belarusian State University*

14 Leningradskaya St., Minsk, Republic of Belarus, 220030

LEV KIM, Candidate of Technical Sciences, Associate Professor, School of Engineering,

e-mail: kim\_lvl@dvfu.ru

*Far Eastern Federal University*

8 Sukhanova St., Vladivostok, Russia, 690091

## Features of the formation of the heat-resistant foam concrete

**Abstract:** The paper presents the prospective fire-resistant foam concrete, characterized by low cost, ecological compatibility, and low density. The use of aluminous cements in the manufacture of foam concrete has a number of disadvantages: low foam stability during the production of foam concrete mixture and insufficient strength of foam concrete. The application of a two-component astringent of aluminous cement and clay is proposed. The optimal composition of a dry mixture based on a bicomponent binder and additives was determined experimentally. The dependences of the influence of the concentration of sodium citrate in the mixing water on the plasticity of the solution and foam concrete slurry and on the time of the beginning and the end of the setting of the mortar cement mix have been obtained. The influence of the composition of binder and mineral additives on the formation and properties of the heat-resistant foam concrete that does not reduce its strength during heating due to solid-phase sintering of clay with other components of the mixture is presented. The optimum composition of the dry mixture based on the two-component binder (alumina cement and clay of the Kustikha deposit of Belarus), mineral additives (chamotte, metakaolin, sulfoaluminate modifier, basalt fiber waste), plasticising additive of sodium citrate, Ufapore foaming agent and water-hard ratio. It has been established that sodium citrate leads to an increase in the rheological properties of foamed foam and a reduction in its setting and solidification time at a water-hard ratio of 0.45–0.70. Recommendations are given for the introduction of the presented fire-resistant foam concrete compositions.

*Key words:* foam concrete, heat-resistance, dry mix, mineral additive, foamer, accelerating additive, plastifier.

## REFERENCES

1. Patent of USSR, MPK C04B No. 1715750. Raw mix for production of expanded clay. Betikov I.E., Demidovich B.K.; Minsk. Research institute of building materials. Appl. N 4727367, 7.07.1989. Publ. 2.02.1992. Bull. N 8. 2 p.
2. Vasilevskaya N.G., Engdzhievskaya I.G., Kalugin I.G. Management of structure of cellular fiber concrete. Herald of higher education institutions. Construction. 2010;11-12:17-20.
3. Gorin V.M., Sukhov V.Yu., Nekhayev P.F. et al. Light heat-resistant concrete of cellular structure. Construction materials. 2003;8:17-19.
4. Gorlov Yu.P., Merkin A.P., Ustenko A.A. Tekhnologiya of heat-insulating materials. Moscow, Stroyizdat Publ., 1980, 316 p.
5. Krivenko P.V., Skurchinskaya Zh.V., Demyanova L.E. et al. Hydrotation-dehydrotation process of receiving an artificial stone on the basis of alkaline silicates sheaves. Cement. 1993;3:39-40.
6. Krivoborodov Yu.R., Boyko A.A. Influence of mineral additives on hydration of aluminous cement. Equipment and technology of silicates. 2011;4:14-16.
7. Kroychuk L.A. Experience of production and use of dry mix abroad. Construction materials. 2000;9:16-17.
8. Kunch E. Production and application of prefabricated construction elements from heat-resistant concrete in the GDR. Heat-resistant concrete and reinforced concrete and the fields of their effective application in construction. M., Stroyizdat Publ., 1969, p. 24-26.
9. Leonovich S.N., Sviridov D.V., Belanovich A.L. et al. Extension of an expiration date of binder mixtures. Construction materials. 2012;10:74-77.
10. Leonovich S.N., Sviridov D.V., Belanovich A.L. et al. Dry mix for receiving heat-resistant foam concrete. Construction materials. 2017;7:25-29.
11. Serdyuk V.R., Vakhitov S.G. Intensification of structurization and curing of cellular concrete. Industry of construction materials. Seria 8: Industry of autoclave materials and local knitting. 1983;11:13-15.
12. Yudin A.N., Tkachenko G.A., Izmaylova E.V. About a technique of design of composition of not autoclave foam concretes with single-stage preparation of cellular mixture. Herald of higher education institutions. Construction. 2001;7:21-25.
13. Antonovic V., Keriene J., Boris R. et al. The effect of temperature on the formation of the hydrated calcium aluminate cement structure. Procedia Engineering. 2013;57:99-106.
14. Baradan-Nasiri A., Nematzadeh M. The effect of elevated temperatures on the mechanical properties of concrete with fine recycled refractory brick aggregate and aluminate cement. Construction and Building Materials. 2017;147:865-875.
15. Juetter T., Moertel H., Svinka V. et al. Structure of kaoline-alumina based foam ceramics for high temperature applications. J. European Ceramic Society. 2007;27;2-3:1435-1441.
16. Komtitsas K., Zaharaki D. Geopolepolymerisation: A review and prospects for minerals industry. Minerals Engineering. 2007;14:1261-1277.