

СУХАЯ СМЕСЬ ДЛЯ ПОЛУЧЕНИЯ ПЕНОБЕТОНА

Докт. техн. наук, проф. ЛЕОНОВИЧ С. Н.¹⁾, докт. хим. наук, проф. СВИРИДОВ Д. В.²⁾,
канд. хим. наук ЩУКИН Г. Л.²⁾, РАДЮКЕВИЧ П. И.³⁾,
канд. хим. наук БЕЛАНОВИЧ А. Л.²⁾, САВЕНКО В. П.²⁾, канд. хим. наук КАРПУШЕНКОВ С. А.²⁾

¹⁾Белорусский национальный технический университет (Минск, Республика Беларусь),

²⁾Белорусский государственный университет (Минск, Республика Беларусь),

³⁾Закрытое акционерное общество «Парад» (Минск, Республика Беларусь)

E-mail: sleonovich@mail.ru

Разработан состав сухой смеси для изготовления неавтоклавного пенобетона естественного твердения на основе портландцемента, пенообразователя Ufapore, минеральных добавок (сульфоалюминатная добавка РСАМ, микрокремнезем МК-85, базальтовое волокно), пластифицирующей и ускоряющей добавки «Цитрат-Т» и редуцируемого порошка Vinnapas-8034H. Установлено, что при затворении сухой смеси водой (В/Т = 0,4–0,6), последующем механическом вспучивании и отверждении пеномассы формируется пенобетон плотностью 400–800 кг/м³, прочностью 1,1–3,4 МПа, с низким водопоглощением (40–50 %), без усадочных трещин. Введение в состав сухой смеси ускоряющей и пластифицирующей добавки «Цитрат-Т» приводит к повышению реологических свойств вспененной пеномассы и сокращению времени ее схватывания и твердения. Проведенное с помощью растрового электронного микроскопа исследование микроструктуры поверхности сколов пенобетона показало, что введение в состав сухой смеси базальтового волокна и редуцируемого порошка Vinnapas-8034H способствует формированию более мелкодисперсных кристаллогидратов. Это позволяет целенаправленно изменять морфологию кристаллогидратов и управлять процессом структурообразования пенобетона.

Ключевые слова: сухая смесь, пенобетон, минеральные добавки, ускоряющая и пластифицирующая добавка.

Ил. 1. Библиогр.: 10 назв.

DRY MIX FOR OBTAINING FOAM CONCRETE

LEONOVICH S. N.¹⁾, SVIRIDOV D. V.²⁾, SHCHUKIN G. L.²⁾, RADYUKEVICH P. I.³⁾,
BELANOVICH A. L.²⁾, SAVENKO V. P.²⁾, KARPUSHENKOV S. A.²⁾

¹⁾Belarusian National Technical University (Minsk, Republic of Belarus),

²⁾Belarusian State University (Minsk, Republic of Belarus),

³⁾Closely-Held Stock Company "Parade" (Minsk, Republic of Belarus)

Composition of a dry mix has been developed for production of non-autoclaved foam concrete with natural curing. The mix has been created on the basis of portland cement, Ufapore foaming agent, mineral additives (RSAM sulfoaluminate additive, МК-85 micro-silica and basalt fiber), plasticizing and accelerating "Citrate-T" additive and redispersible Vinnapas-8034H powder. It has been established that foam concrete with density of 400–800 kg/m³, durability of 1,1–3,4 MPa, low water absorption (40–50 %), without shrinkable cracks has been formed while adding water of Water/Solid = 0,4–0,6 in the dry mix, subsequent mechanical swelling and curing of foam mass. Introduction of the accelerating and plasticizing "Citrate-T" additive into composition of the dry mix leads to an increase of rheological properties in expanded foam mass and time reduction of its drying and curing. An investigation on microstructure of foam-concrete chipping surface carried out with the help of a scanning electron microscope has shown that the introduction of basalt fiber and redispersible Vinnapas-8034H powder into the composition of the dry mix promotes formation of more finely-divided crystalline hydrates. Such approach makes it possible to change purposefully morphology of crystalline hydrates and gives the possibility to operate foam concrete structurization process.

Keywords: dry mix, foam concrete, mineral additives, accelerating and plasticizing additive.

Fig. 1. Ref.: 10 titles.

Среди теплоизоляционных строительных материалов ячеистые бетоны – пенобетон и газобетон (автоклавный) – по комплексу технических, экономических, экологических показате-

телей и долговечности превосходят все другие теплоизоляционные материалы. Неавтоклавный пенобетон является многофункциональным строительным материалом, изготавливаемым

из недорогого и доступного сырья, представляет собой обычный цементный раствор, в состав которого входят пенообразующие и минеральные добавки. Используются они для того, чтобы бетонную массу наполнить воздушными пузырьками. Причем распределяются пузырьки равномерно по всему объему материала, тем самым делая бетон более легким, с высокими тепло- и звукоизоляционными свойствами. Изготовление пенобетона не представляет сложностей, достаточно иметь специальный пеногенератор и смеситель, в котором происходит смешивание цемента с пеной. Что касается газобетона, то в состав материала входят кварцевый песок, цемент, известь, алюминиевая пудра и вода. Приготовление материала можно сравнить с приготовлением дрожжевого теста, так как раствор поднимается и увеличивается в объеме из-за выделения водорода. Отличие пенобетона от газобетона начинается с процесса изготовления, так как твердение газобетона осуществляется в определенных технологических условиях, а именно – в автоклаве. То есть такой материал можно изготовить в специально оборудованном цехе.

Пенобетон имеет пористую структуру с преобладанием замкнутых пор сферической формы по всему объему в отличие от труднорегулируемой формы при получении анизотропной пористой структуры газобетонов. Но у пенобетона есть свои недостатки: его структурная прочность ниже, чем у автоклавного газобетона, влажностная усадка в 2–4 раза больше и устойчивость пенобетонной массы в ранние сроки твердения низкая.

Основным недостатком пенобетона неавтоклавного способа твердения является низкая степень гидратации вяжущего в отличие от автоклавного способа производства, при котором твердение газобетонной смеси происходит как в результате гидратации вяжущего при повышенных температуре и давлении, так и в результате гидротермальной реакции взаимодействия диоксида кремния (кварцевый песок) и оксида кальция (известь). Низкая степень гидратации цемента, которая является следствием плохой закристаллизованности продуктов гидратации, может быть причиной усадки неавтоклавных пенобетонов в процессе эксплуатации. Преодолеть данный недостаток можно

за счет использования ускорителей гидратации и твердения, активных минеральных добавок и снижения начального водотвердого отношения с помощью специальных добавок.

Идеологической основой новой технологии пенобетона может стать принцип производства строительных материалов из предварительно приготовленных сухих смесей. Неоспоримое достоинство изготовления и применения сухих смесей – технологическая стабильность, проявляющаяся в высокой точности дозирования, степени гомогенизации их компонентов. Отсюда и стабильность технологических и эксплуатационно-технических свойств конечного материала. Анализ современного состояния производства сухих смесей у нас и за рубежом показал, что при всем разнообразии сухие смеси для получения пенобетона среди них практически отсутствуют.

Целью исследований авторов является разработка состава сухой смеси для изготовления из нее неавтоклавного пенобетона естественного твердения. Для решения этой задачи исследовали влияние различных пенообразователей и минеральных добавок на плотность, структуру и прочностные характеристики пенобетона; устанавливали оптимальные концентрации пенообразователя и минеральных добавок; разрабатывали состав сухой смеси.

Благодаря применению сухих смесей можно добиться повышения производительности труда, стабильности составов и, как следствие, повышения качества строительных работ, длительности срока хранения смесей без изменения свойств и расходования по мере необходимости. В качестве основы для разработки сухой смеси при получении пенобетона брали портландцемент М500-Д0, не содержащий гипса.

При получении сухих смесей для производства пенобетона наиболее важным является выбор пенообразователя с максимальной кратностью пены и ее высокой устойчивостью в пеноцементной смеси, позволяющего получить пенобетон с качественной структурой (с равномерно распределенными сферическими порами одинакового диаметра). Свойства используемого пенообразователя оказывают непосредственное влияние и на технико-эксплуатационные показатели получаемого пенобетона.

В производстве ячеистых бетонов применяются в основном жидкие пенообразователи из различного сырья, а также пенообразователи в твердом и порошкообразном виде – натриевая соль алкилбензолсульфокислоты, лаурилсульфат натрия, оксиэтилованный лаурилсульфат, Ufapore (Норвегия), Berolan LP-50 и Berolan LP-W1 (Норвегия). Перечисленные сухие пенообразователи имеют как положительные, так и отрицательные свойства. Основным недостатком большинства из них, особенно синтетических, являются малая кратность пены и ее устойчивость во времени в пенобетонной смеси.

Эффективность пенообразователей, применяемых в технологии строительных материалов, определяется комплексом свойств, основным из которых является пенообразующая способность их в водном цементном растворе при его вспенивании. Кроме того, пенообразующие свойства зависят от его концентрации в цементной смеси, растворимости, продолжительности и интенсивности вспенивания цементного раствора, наличия различных добавок и др.

Пенобетон получали путем механического перемешивания (300 об/мин) сухой смеси с водой при водотвердом отношении В/Т = 0,4–0,6 в течение 5 мин, последующего вспучивания с помощью миксера (2000 об/мин) в течение 2 мин и отверждения вспученной пеномассы. Для установления оптимальных условий получения устойчивой вспененной цементной массы проведена оптимизация исследуемых пенообразователей по этому показателю. Установлено, что наибольшей стабильностью обладает вспененная цементная масса при использовании порошкообразного пенообразователя Ufapore при его концентрации 0,5 % от массы цемента. Однако оказалось, что устойчивость вспененной цементной массы сохраняется в течение 30–40 мин, а затем начинается ее осадка с уменьшением объема пеномассы на 40–50 % и последующее ее твердение в течение 24 ч.

В БГУ разработана добавка «Цитрат-Т» [1], которая позволяет повысить пластичность цементного раствора и ускорить время схватывания и твердения цементного камня и бетона. Использование этой добавки в сухой смеси в количестве 6 % от массы цемента позволило повысить реологические свойства вспененной

цементной массы (расплав миниконуса в присутствии 6 % добавки «Цитрат-Т» составлял 85–50 мм, в то время как без нее – 45–48 мм), устойчивость пеномассы (осадка пеномассы не наблюдалась вплоть до ее схватывания и твердения) и ускорить время схватывания (4 ч) и твердения (6 ч) пенобетона по сравнению с пеномассой без добавки «Цитрат-Т» (24 ч и более).

В процессе эксперимента установлено, что при вспучивании сухой смеси, содержащей 6,0 % добавки «Цитрат-Т» и 0,5 % пенообразователя Ufapore от массы цемента, при В/Т = 0,4–0,6 формируется пенобетон с плотностью 300–700 кг/м³, при сушке которого через 10–15 сут. появляются усадочные трещины за счет образования большого количества этtringита на единицу объема пенобетона [2]. Основным компонентом, необходимым для образования этtringита, является гидроксид кальция, выделяющийся при гидратации портландцемента. Снижение количества этtringита может быть достигнуто за счет связывания гидроксида кальция в процессе начального структурообразования пенобетона в труднорастворимые соединения. Классический прием связывания гидроксида кальция в цементном камне в труднорастворимые низкоосновные гидросиликаты – введение аморфного кремнезема. Упрочняющее действие микрокремнезема в пенобетонах было установлено в [3, 4]. Пенобетон, содержащий 5–7 % микрокремнезема, имеет класс прочности, равный автоклавному газобетону.

В процессе исследований использовали микрокремнезем МК-85 – побочный продукт взаимодействия ферросилиция, который вводили в сухую смесь в количестве 1–10 % от массы цемента, что увеличивало прочность пенобетона до 5 %. Дальнейшее повышение содержания микрокремнезема снижает прочность пенобетона. Это объясняется необходимостью увеличения водопотребности смеси из-за высокой удельной поверхности микрокремнезема.

Повышение прочности пенобетона при введении в его состав микрокремнезема в количестве 5 % от массы цемента связано с влиянием микрокремнезема на тиксотропные свойства системы путем изменения протяженности структурных элементов – цепочек – и их перехода при контактных взаимодействиях в пространственные каркасные ячейки. Это условие

соответствует минимальным значениям межфазного натяжения при максимальном развитии граничных поверхностей, что предполагает существование большого числа точечных коагуляционных контактов вплоть до создания предельного наполнения системы, в которой массовый переход к сцеплению в ближнем порядке вызывает упрочнение.

В [5, 6] имеются данные об использовании в составе ячеистобетонных смесей модифицирующих добавок, способных интенсифицировать процессы твердения пенобетона, изменять состав цементирующего вещества межпоровых перегородок, что приводит к улучшению физико-механических характеристик пенобетона. К таким добавкам следует отнести РСАМ, представляющую собой расширяющийся сульфоалюминатный модификатор, который позволяет придать цементу такие свойства, как обеспечение компенсации усадочных деформаций и повышение прочности. Установлено, что добавка РСАМ обладает расширяющим эффектом и в неавтоклавном бетоне, что дает возможность использовать ее для компенсации усадки пенобетона в присутствии ускоряющей и пластифицирующей добавки «Цитрат-Г». Определена граничная концентрация РСАМ в количестве 5–8 % от массы цемента, введение которой в сухую смесь обеспечивает проявление расширяющего эффекта при получении пенобетона.

Отечественный и зарубежный опыт показывает, что дисперсное армирование пенобетонов различными волокнами все более широко применяется во многих областях строительства. Безусловно, добавление в пенобетон фибр не может изменить ни плотность, ни теплопроводность данного материала. Это может сказаться на прочностных показателях. Одним из основных недостатков пенобетона является его высокая хрупкость, что приводит к трещинам и сколам в блоках при работе с ними. Кроме того, для неавтоклавных пенобетонов характерны высокие усадочные деформации, в связи с чем получают изделия с трещинами или они вообще разрушаются. Введение в состав пенобетона минеральных волокон позволяет устранить или, по крайней мере, свести к минимуму эти отрицательные качества.

Повысить прочностные характеристики, трещиностойкость и усадочные явления пенобетонов можно за счет введения оптимального количества базальтового волокна и его рав-

номерного распределения в пенобетонной смеси. Базальтовое волокно – побочный продукт получения базальтового ровинга. Установлено [7, 8], что по границе пеноцементной массы и базальтового волокна, находящегося в аморфном состоянии, проходит хемосорбционное взаимодействие с появлением дополнительных новообразований, относящихся к низкоосновным гидросиликатам кальция. На поверхности тонких базальтовых волокон в местах механических дефектов создаются центры кристаллизации с образованием сети тонких гексагональных пластин и игольчатых кристаллов, срастающихся со сферическими зёрнами цементной системы, дополнительно усиливая действия волокна как дисперсной арматуры.

Учитывая эффективность рассмотренных минеральных добавок, таких как микрокремнезем МК-85, РСАМ и базальтовое волокно, проведено экспериментальное исследование по оптимизации состава сухой смеси на основе портландцемента, пенообразователя Ufaroge (0,5 %), ускоряющей и пластифицирующей добавки «Цитрат-Г» (6 %) и установлении оптимальных концентраций минеральных добавок в составе сухой смеси на физико-механические свойства пеноцементной массы и пенобетона. Оптимальными концентрациями минеральных добавок в составе сухой смеси являются (% от массы цемента): микрокремнезем МК-85 – 5 %; РСАМ – 5 %; базальтовое волокно – 4 %. Изготовление пенобетона из такого состава сухой смеси и его отверждение позволяют получить неавтоклавный пенобетон плотностью 300–700 кг/м³ в зависимости от В/Т = 0,4–0,6 и прочностью на сжатие 0,5–1,8 МПа без содержания усадочных трещин. Однако получаемый пенобетон обладает недостаточной прочностью, мелением поверхности и высоким водопоглощением. С целью устранения этих недостатков в состав сухой смеси вводили редиспергируемый порошок (РПП) Vinnapas-8034Н (сополимер этилена, винилаурата и винилхлорида).

РПП представляют собой сухие полимеры, полученные методом распылительной сушки латексной дисперсии в воде [9, 10]. При затворении водой РПП вновь образуют водные полимерные дисперсии. РПП используют в основном в сухих строительных смесях, растворам которых они придают повышенную прочность контактного сцепления компонентов сухих

смесей и улучшают гидрофобные свойства. После затворения модифицированной РПП сухой смеси водой полимерный порошок полностью редуспергируется (переходит в дисперсную форму). В процессе образования водно-цементного геля пенобетона и его отверждения частицы дисперсии образуют пленки. Эти полимерные пленки находятся в полостях и пустотах затвердевшего пенобетона и повышают его прочность. Пленки полимера проявляют хорошую адгезию к затвердевшим частицам компонентов пенобетона, что обеспечивает их прочное прикрепление к цементной структуре. Таким образом, в материале возникают две структуры: цементный каркас пенобетона и армирующая сетка из полимерных пространственных пленок, которые работают совместно и обеспечивают требуемые эксплуатационные свойства пенобетона.

морфологии кристаллогидратов в сторону образования более мелких игольчатых кристаллов (рис. 1).

На рис. 1а представлена микроструктура поверхности скола пенобетона, изготовленной из сухой смеси, не содержащей базальтового волокна и полимерного порошка Vinnapas-8034H, на рис. 1б – содержащей дополнительно 4 % базальтового волокна, а на рис. 1в – содержащей дополнительно 4 % базальтового волокна и 3 % порошка Vinnapas-8034H. Как видно из приведенных на рис. 1 микрофотографий сколов пенобетона, введение полимерного порошка Vinnapas-8034H способствует формированию более мелкодисперсных кристаллогидратов, что позволяет целенаправленно изменять морфологию кристаллогидратов и управлять процессом структурообразования пенобетона.

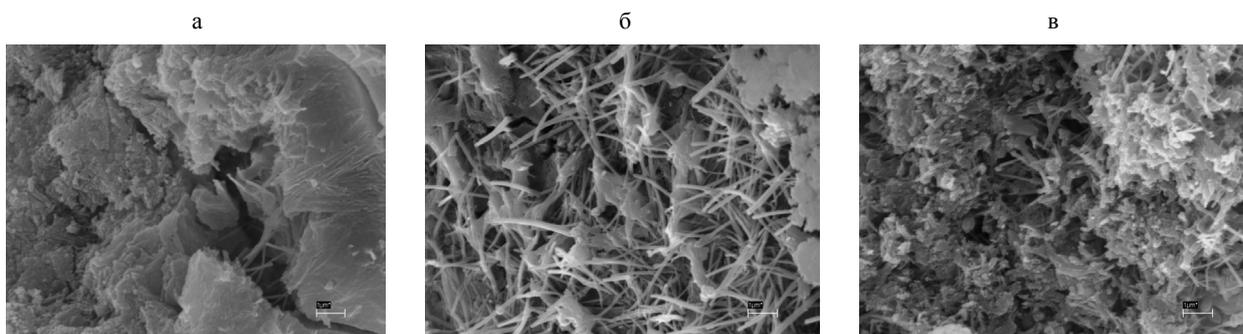


Рис. 1. Микроструктура поверхности скола пенобетона, полученного из сухой смеси:
 а – не содержащей базальтового волокна и полимерного порошка Vinnapas-8034H;
 б – содержащей дополнительно 4 % базальтового волокна;
 в – содержащей дополнительно 4 % базальтового волокна и 3 % порошка Vinnapas-8034H

Как показало исследование, введение в состав сухой смеси порошка Vinnapas-8034H в количестве 3 % от массы цемента приводит к снижению меления поверхности пенобетона, увеличению на 50–100 кг/м³ его плотности, в 1,5–2 раза прочности на сжатие и уменьшению на 40–50 % водопоглощения.

Проведенное с помощью микроскопа Leo-1420 исследование микроструктуры поверхности сколов пенобетона показало, что введение в состав сухой смеси на основе портландцемента пенообразователя Ufaroge и минеральных добавок (сульфоалюминатная добавка РСАМ, микрокремнезем МК-85, базальтовое волокно), а также добавки «Цитрат-Т» и порошка Vinnapas-8034H приводит к изменению

ВЫВОД

Разработан состав сухой смеси на основе портландцемента, пенообразователя Ufaroge, ускоряющей и пластифицирующей добавки «Цитрат-Т», микрокремнезема МК-85, сульфалюминатной добавки РСАМ, базальтового волокна и полимерного порошка Vinnapas-8034H, при затворении которой водой при В/Т = 0,4–0,6, последующем механическом вспучивании (2000 об/мин) и отверждении пеномассы формируется неавтоклавный пенобетон плотностью 400–800 кг/м³, прочностью 1,1–3,4 МПа, с низким водопоглощением 50–60 %, не содержащим усадочных трещин и близким по свойствам к автоклавному пенобетону.

ЛИТЕРАТУРА

1. Продление срока годности растворяемых смесей / С. Н. Леонович [и др.] // Строительные материалы. – 2012. – № 10. – С. 74–77.
2. Способ получения ускорителя твердения для бетонов и строительных растворов: пат. РБ 18077. С 04 В 24/04 / В. П. Савенко, Г. Л. Щукин, С. Н. Леонович, Д. В. Свиридов, А. Л. Беланович, П. И. Радюкевич, С. А. Карпушенков; дата публ. 30.10.2012.
3. Величко, Е. Г. Рецептурно-технологические проблемы пенобетона / Е. Г. Величко, А. Г. Комар // Строительные материалы. – 2004. – № 3. – С. 26–29.
4. Удачкин, И. Б. Ключевые проблемы развития производства пенобетона / И. Б. Удачкин // Строительные материалы. – 2002. – № 3. – С. 8–9.
5. Урханова, Л. А. Использование вторичного сырья для производства пенобетона / Л. А. Урханова // Строительные материалы. – 2008. – № 1. – С. 34–35.
6. Безрукова, Т. Ф. Добавки в ячеистый бетон / Т. Ф. Безрукова. – М.: ВНИИЭСМ, 1990. – 37 с.
7. Сердюк, В. Р. Интенсификация структурообразования и твердения ячеистых бетонов / В. Р. Сердюк, С. Г. Вахитов // Промышленность строительных материалов. Сер. 8: Промышленность автоклавных материалов и местных вяжущих. – 1983. – Вып. 11. – С. 13–15.
8. Василевская, Н. Г. Цементные композиции, дисперсно-армированные базальтовой фиброй / Н. Г. Василевская, И. Г. Енгджиевская, И. Г. Калугин // Вестник Томского государственного архитектурно-строительного университета. – 2011. – № 3. – С. 153–158.
9. Василевская, Н. Г. Управление структурой ячеистых фибробетонов / Н. Г. Василевская, И. Г. Енгджиевская, И. Г. Калугин // Известия вузов. Строительство. – 2010. – № 11–12. – С. 17–20.
10. Голуков, С. А. Модификация плиточных клеев редисперсными полимерными порошками VINNAPAS / С. А. Голуков // Строительные материалы. – 2004. – № 3. – С. 47–49.

Поступила 26.09.2014

REFERENCES

1. Leonovich, S. N., Sviridov, D. V., Belanovich, A. L., Shchukin, G. L., Savenkov, V. P., & Karpushenkov, S. A. (2012) Extension of Mortar Mix Validity. *Stroitelnye Materialy* [Construction Materials], 10, 74–77 (in Russian).
2. Savenko, V. P., Shchukin, G. L., Leonovich, S. N., Sviridov, D. V., Belanovich, A. L., Radiukevich, P. I., & Karpushenkov, S. A. (2012) *Method for Obtaining Curing Accelerator for Concrete and Construction Mortars*. Patent Republic of Belarus No 18077 (in Russian).
3. Velichko, E. G., & Komar, A. G. (2004) Prescribed and Technological Problems of Foam-Concrete. *Stroitelnye Materialy* [Construction Materials], 3, 26–29 (in Russian).
4. Udachkin, I. B. (2002) Critical Challenges for Development of Foam-Concrete Production. *Stroitelnye Materialy* [Construction Materials], 3, 8–9 (in Russian).
5. Urkhanova, L. A. (2008) Usage of Recyclable Materials for Foam-Concrete Production. *Stroitelnye Materialy* [Construction Materials], 1, 34–35 (in Russian).
6. Bezrukova, T. F. (1990) *Additives for Cellular Concrete*. Moscow, VNIIESM. 37 p. (in Russian).
7. Serdiuk, V. R., & Vakhitov, S. G. (1983) Intensification of Structure Formation and Curing of Cellular Concrete. *Promyshlennost Stroitelnykh Materialov. Seriya 8. Promyshlennost Avtoklavnykh Materialov i Mestnykh Viazhushchikh* [Industry of Construction Materials. Series 8. Industry of Autoclave Materials and Local Binders], 11, 13–15 (in Russian).
8. Vasilevskaya, N. G., Engdzhievskaya, I. G., & Kalugin, I. G. (2011) Cement Compositions Continuously Reinforced by Basalt Fiber. *Vestnik Tomskogo Gosudarstvennogo Arkhitekturno-Stroitel'nogo Universiteta* [Vestnik of Tomsk State University of Architecture and Building], 3, 153–158 (in Russian).
9. Vasilevskaya, N. G., Engdzhievskaya, I. G., & Kalugin, I. G. (2010) Control Over Structure of Cellular Fibre Concrete. *Izvestiia Vuzov. Stroitelstvo* [News of Higher Educational Institutions. Construction], 11–12, 17–20 (in Russian).
10. Golukov, S. A. (2004) Modification of Brick Glue by VINNAPAS-Redispersible Polymer Powder. *Stroitelnye Materialy* [Construction Materials], 3, 47–49 (in Russian).

Received 26.09.2014