DOI: 10.34031/2618-7183-2019-2-3-41-47

*Лесовик В.С. *, доктор технических наук, профессор,
Абсиметов М.В., аспирант,
Елистраткин М.Ю., кандидат технических наук, доцент,
Поспелова М.А.,
Шаталова С.В., аспирант,
Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова, Россия*
*Ответственный автор E-mail: naukavs@mail.ru

К ВОПРОСУ ИЗУЧЕНИЯ ОСОБЕННОСТЕЙ СТРУКТУРООБРАЗОВАНИЯ КОМПОЗИЦИОННЫХ ВЯЖУЩИХ ДЛЯ НЕАВТОКЛАВНЫХ ГАЗОБЕТОНОВ

Аннотация: основу современного рынка ячеистых бетонов составляет газосиликат автоклавного твердения. В тоже время неавтоклавный газобетон является во многом более технологичным материалом, допускающим варьирование своих свойств в широких пределах, имеющим потенциально более широкую область применения, менее затратным при организации производства, что имеет большое значение для малого и среднего бизнеса. Основной проблемой неавтоклавного газобетона является более высокая стоимость сырья по сравнению с газосиликатом, и на 20...30% более низкие прочностные показатели. Предлагаемым решением этой проблемы является разработка специальных композиционных вяжущих с ограниченным содержанием клинкерной части и минеральными добавками различных генетических типов, учитывающих особенности протекания двухэтапного структурообразования материала – газовой поризации и формирования микроструктуры камня. В статье рассмотрены некоторые аспекты взаимодействия в системе «минеральная добавка – гипс – побочные продукты реакции газовыделения» с точки зрения влияния на вязкость вспучиваемой массы и прочность камня в различные сроки твердения. Даны рекомендации по предпочтительным составам композиционных вяжущих и дозировкам гипса в формовочной смеси при получении материала со средней плотностью в диапазоне 500...700 кг/м³.

Ключевые слова: структурообразование материала, неавтоклавный газобетон, композиционные вяжущие, минеральные добавки различных генетических типов, этtringит

Введение

Снижение материалоемкости строительных конструкций является важным шагом к реальной экономии материальных и энергетических ресурсов, снижения экологической нагрузки, связанной с их непосредственным изготовлением, а также получением используемых для них вяжущих веществ. Практическая реализация данного тезиса может быть осуществлена за счёт двух различных подходов. Первый предполагает изготовление конструкций сложных переменных сечений с полыми слабонагруженными (нерабочими) участками. Второй – сохранение сплошного сечения конструкции, но изготовление её из поризованного материала.

Изготовление конструкций сложных эффективных полых сечений, с одной стороны, позволяет ориентироваться на обычные материалы (тяжёлые обычные и мелкозернистые бетоны), с другой стороны многократно повышает сложность их изготовления. Традиционные методы заводского и монолитного формирования становятся мало пригодны. Крайне перспективным с технологической точки зрения становится их аддитивное изготовление методом строительной печати [1-7]. Однако данная технология находится в зачаточном состоянии и имеет много нерешённых принципиальных вопросов, например – армирование.

Переход на пористые конструкционные материалы с технологической точки зрения является более реальным, позволяет производить проектирование, армирование и изготовление конструкций традиционными методами, пусть и с определёнными изменениями, позволяющими учесть особенности характера работы подобных композитов. Этим обуславливается актуальность неавтоклавных разновидностей ячеистых бетонов, в том числе и как конструкционных материалов [8, 9].

Общим при обоих подходах к снижению материалоемкости, является необходимость повышения прочности применяемого материала для компенсации уменьшающегося эффективного сечения конструкций. Процесс повышения прочности строительных композитов на основе неорганических вяжущих сочетает в себе экстенсивную (увеличение расхода вяжущего) и интенсивную составляющие. К последней можно отнести повышение активности вяжущего, применение химических и минеральных добавок, оптимизацию хода процесса структурообразования и условий его протекания, различные технологические приёмы.

Комплексное использование интенсивных приёмов нашло отражение в теории получения эффективных композиционных вяжущих на основе портландцемента и минеральных добавок различных генетических

типов. Одним из важных положений которой является необходимость максимальной оптимизации состава и свойств создаваемого вяжущего под особенности решаемой с его помощью задачи. Другое положение предписывает использовать максимально энергоэффективные сырьевые материалы с точки зрения размо- лоспособности, химической и электроповерхностной активности и т.п.

Имеется ряд работ, посвящённых неавтоклавным газобетонам на основе композиционных вяжущих различных видов, составов и способов получения, которые в целом подтверждают эффективность и перспек- тивность данного направления. Важным недостатком данных работ является то, что показатели применяе- мого вяжущего и показатели конечного ячеистого бетона рассматриваются в основном независимо. Авторы рассматривают характеристики газобетона как следствие действия рецептурно-технологических факторов в процессе его получения, одним из входных параметров которого является активность вяжущего [10].

На наш взгляд правильнее рассматривать как минимум два структурообразующих процесса протекаю- щих параллельно и последовательно на различных масштабных уровнях. Микро уровень – структурообра- зование камня на основе композиционного вяжущего, макро уровень – газовая поризация ячеистобетонного массива. Данные процессы оказывают большое взаимное влияние друг на друга, в связи с чем в данной ста- тье предпринята попытка проследить влияние продуктов реакции газовой выделения на твердение камня на основе композиционных вяжущих, а также состава композиционного вяжущего – на изменение вязкости формовочной массы, как важного условия образования качественной малодефектной поровой структуры ячеистого бетона.

Методы и материалы

В качестве основы композиционного вяжущего применялся портландцемент ЦЕМ I 42,5, дополнительно измельчённый до 500 м²/кг. Вяжущее получалось смешиванием 60% (масс) портландцемента с 40% (масс) минеральной добавки имеющей сопоставимую удельную поверхность 500...550 м²/кг. В качестве мине- ральных добавок были применены отсе́вы дробления кварцито-песчаника (КВП), отсе́в дробления тяжёлого бетона (ОДТБ), бой керамического кирпича (БКК). Для сравнения применялся молотый кварцевый песок (МП).

Изучение влияния продуктов реакции газовой выделения на структурообразование камня на основе компо- зиционного вяжущего производилось путём его затворением раствором, полученным в результате обработ- ки алюминиевой пудры раствором NaOH. Образующийся водород заранее удалялся, что позволило полу- чить плотный камень, состав и условия формирования которого были максимально приближены к имею- щим место при изготовлении газобетона. Этим же определялось количество воды затворения (В/Т=0,45), а также количество и порядок ввода химических добавок регуляторов вязкости формовочной массы: супер- пластификатора СП-1 и строительного гипса.

Для моделирования поведения изучаемой системы для каждого состава композиционного вяжущего был осуществлён двухфакторный трёхуровневый эксперимент. Условия планирования представлены в табл. 1.

Таблица 1

Условия планирования эксперимента

Table 1

Conditions of experiment planning

Фактор		Уровень варьирования			Интервал варьирования
Натуральный вид	Кодированный вид	–1	0	1	
Добавка гипса, % от массы вяжущего	x1	1%	3%	5%	2%
Кол-во Al, % от массы вяжущего	x2	0,08%	0,14%	0,20%	0,06%

В качестве выходных параметров были приняты подвижность полученного теста, прочность камня (без добавления песка) в возрасте 7, 14 и 28 суток.

Методом титрования была определена пуццолановая активность рассматриваемых минеральных доба- вок по связыванию гидроксида кальция из водного раствора.

Результаты и обсуждения

На рис. 1 представлены зависимости вязкости формовочной массы (до и после введения продуктов реакции газовыделения – условное обозначение “АІ”) от вида минеральной добавки в композиционном вяжущем и количества вводимого гипса. Вязкость представлена в условных единицах.

Рис. 1. Влияние вида минеральной добавки и количества гипса на вязкость смеси

Fig. 1. Effect of mineral additive type and gypsum amount on mixture viscosity

На основании уравнений регрессии были получены графические зависимости динамики набора прочности камнем на основе композиционных вяжущих с минеральными добавками различных генетических модификаций (рис. 2). При этом количество газообразователя (фактор x_2) был зафиксирован на нулевом уровне, что соответствует получению газобетона со средней плотностью 500...600 кг/м³. Фактор x_1 (добавка гипса) варьировался во всём рассматриваемом диапазоне.

Рис. 2. Динамика твердения камня на основе композиционных вяжущих с минеральными добавками различных генетических типов: а) БКК; б) ОДТБ; в) КВП; г) МП

Fig. 2. Dynamics of stone hardening based on composite binders with mineral additives of various genetic types: а) fight of a ceramic brick; б) heavy concrete crushing screening; в) quartzite sandstone; д) ground quartz sand

Рис. 3. Активность минеральных добавок по связыванию гидроксида

Fig. 3. Activity of mineral additives for binding hydroxide

Поризующаяся система содержит достаточно больше количество алюминатов, как содержащихся в портландцементе, так и привносимых за счёт протекания реакции газовой выделения. Кроме того, в ней присутствует достаточно большое количество сульфатов в виде гипса и гидроксид кальция, выделяющийся при гидратации цемента. Всё это создаёт предпосылки к возникновению этtringита. На его фактическое образование большое влияние может оказывать способность минеральной добавки связывать гидроксид кальция (рис. 3) и посредством этого влиять на данный процесс.

В качестве рабочей гипотезы был принят тезис, согласно которому на структуру, плотность и прочность получаемого газобетона, кроме стандартных рецептурно-технологических факторов, большое влияние оказывает взаимодействие в системе: *минеральная добавка – побочные продукты реакции газовой выделения – гипс*. Оптимизация данной системы с учётом требуемой конечной средней плотности материала, позволит обеспечить его максимальные прочностные показатели и экономичность.

Серьёзной проблемой первого этапа структурообразования, препятствующей формированию качественной пористой структуры неавтоклавных газобетонов, является быстрое повышение вязкости смеси, вызываемое возникновением в системе дополнительного количества гидроалюминатов кальция как продуктов реакции газовой выделения. Возрастание вязкости выше некоторого предела до окончания процесса газовой выделения, приводит к получению материала избыточной плотности с дефектной поровой структурой. Стандартным средством противодействия данному явлению является введение в систему гипса для связывания гидроалюминатов в первичный этtringит.

Вид применяемой минеральной добавки оказывает ощутимое влияние на начальную пластичность смеси (до введения продуктов реакции газовой выделения). Наибольшую вязкость имеет вяжущее с добавкой дроблёного керамического кирпича (рис. 1), что вероятно связано с развитой микропористостью частиц добавки, о чём говорится в ряде работ. Введение продуктов реакции газовой выделения приводит к резкому повышению вязкости смеси ввиду быстрого образования гидроалюминатов кальция, которое частично блокируется увеличением добавки гипса. Так, увеличение вязкости не происходит при содержании 5% гипса в вяжущих с добавками боя керамического кирпича и молотого песка. Для других рассмотренных вяжущих количество гипса для достижения аналогичного эффекта может быть ниже – 3% и более.

Второй этап структурообразования – твердение камня на основе композиционного вяжущего происходит в состоянии взаимодействия с избыточным количеством сульфатов и алюминатов, что оказывает влияние на конечный результат. Анализируя представленные графики (рис. 2) можно отметить, что вид применённой минеральной добавки и количество вводимого в систему гипса оказывают существенное влияние как на конечную прочность, так и на скорость твердения в разные временные интервалы. Все рассмотренные составы вяжущих имеют быстрый набор 70...100% марочной прочности за первые 8...9 суток твердения в воде, характерный для тонкомолотых цементов. Лучший на 10...20% результат демонстрирует вяжущее с минеральной добавкой на основе дроблёного керамического кирпича. Остальные составы в данном возрасте показывают сопоставимую прочность.

Влияние минеральных добавок на прочность цементного камня по данным [11], в рассматриваемой ситуации, может быть обусловлено двумя основными факторами:

- уплотняющее воздействие на цементный камень, за счёт увеличения доли мелких частиц (1...5 мкм), характерное для полиминеральных материалов с хорошей размолоспособностью;
- способность образовывать гидросиликаты кальция второй генерации вследствие пуццолановой реакции.

Как было установлено в ряде работ [12, 13] добавки БКК и ОДТБ имеют среди рассмотренных самую высокую размалываемость и активность по поглощению $\text{Ca}(\text{OH})_2$ (рис. 3), чем и объясняются их хорошие прочностные показатели. При дальнейшем твердении (10...28 суток) большинство рассмотренных составов равномерно набирают прочность с существенно меньшей скоростью. Исключением является вяжущее с КВП, которое демонстрирует сброс прочности. Данная добавка, наряду с песком, имеет низкую пуццолановую активность, что создаёт условия образования этtringита в количестве достаточном для возникновения внутренних напряжений, ослабляющих камень. Характерно, что вяжущее с добавлением молотого песка имеет нормальный характер твердения в рассматриваемый период. Объяснением этому может стать тот факт, что хотя КВП на 70...75% как и песок состоят из трудноразмалываемого кварца, в них всё же содержится некоторое количество железорудных минералов и других примесей разделение которых на мелкие отдельные частицы относительно легко происходит по местам их спайки. В итоге это вяжущее даёт более плотный камень, однако в условиях внутренней сульфатной агрессии материал не имеет достаточного внутреннего свободного объёма для размещения образующегося этtringита. Помол песка до принятой удельной поверхности не даёт достаточного количества уплотняющих цементный камень мелких частиц, сохраняя некоторый резервный объём. Камень на основе вяжущих с добавками БКК и ОДТБ, вероятно, за-

щищён от подобных деструктивных процессов за счёт связывания ими свободной извести, что нарушает благоприятные условия для образования этtringита в опасной форме и количестве.

Увеличение количества вводимого гипса в большинстве случаев способствует повышению прочности. Вероятно, это связано как с образованием первичного этtringита имеющего волокнистое строение [14] в некоторой степени армирующего камень, так и возникновению вследствие обменных реакций Na_2SO_4 являющегося ускорителем твердения. Следует отметить, что для вяжущих с добавками БКК и отсева КВП увеличение количества гипса свыше 3% не приводит повышению прочности.

Выводы

Генетический тип применяемой для получения композиционного вяжущего минеральной добавки оказывает большое влияние на эффективность его применения для получения неавтоклавных газобетонов.

Увеличение вязкости смеси, после введения продуктов реакции газовыделения, не происходит при содержании 5% гипса в вяжущих с добавками боя керамического кирпича и молотого песка. Для других рассмотренных вяжущих количество гипса для достижения аналогичного эффекта может быть не менее 3%. Учитывая, что в реальных условиях выделение продуктов реакции газовыделения растянуто во времени, указанные дозировки гипса надёжно обеспечат сохранность подвижности поризующегося массива до окончания вспучивания.

Прочность композиционных вяжущих содержащих 40% минеральных добавок различных генетических типов обеспечивающих эффект уплотнения структуры камня снижается практически пропорционально уменьшению их пуццолановой активности. Увеличение количества вводимого гипса в большинстве случаев способствует повышению прочности.

Вяжущие, имеющие демонстрирующие минимальное повышение вязкости при взаимодействии с продуктами реакции газовыделения (с добавками отсева КВП и ОДТБ), являются предпочтительными для получения неавтоклавных газобетонов пониженной плотности при повышенном расходе газообразователя. Композиционное вяжущее с добавкой боя керамического кирпича, целесообразно применять для газобетонов повышенной плотности и прочности, в т.ч. конструкционных. Применение композиционного вяжущего с добавкой молотого кварцевого для решения указанных задач нецелесообразно, ввиду его плохой размо- лоспособности и низкой технологичности газобетонных смесей на его основе.

Благодарность

Исследование выполнено при финансовой поддержке РФФИ в рамках научного проекта №18-29-24113

Литература

1. Elistratkin M.Y., Lesovik V.S., Alfimova N.I., Shurakov I.M. On the question of mix composition selection for construction 3D printing // Materials Science Forum. 2019. №945. P. 218 – 225.
2. Дребезгова М.Ю. Современные аддитивные технологии в малоэтажном строительстве // Вестник БГТУ им. В.Г. Шухова. 2017. №6. С. 66 – 69.
3. О развитии технологий строительной печати / М.Ю. Елистраткин, В.С. Лесовик, Н.И. Алфимова, Е.С. Глаголев // Вестник БГТУ им. В.Г. Шухова. 2018. №5. С. 11 – 19.
4. Шорстова Е.С., Ключев С.В., Ключев А.В. Фибробетон для 3D-печати // Вестник БГТУ им. В.Г. Шухова. 2019. №3. С. 22 – 27.
5. Slavcheva G.S., Artamonova O.V. Rheological behavior of 3D printable cement paste: criterial evaluation // Magazine of Civil Engineering. 2018. №84 (8). P. 97 – 108. doi: 10.18720/MCE.84.10
6. Tay Y., Panda B., Paul S., Noor M. at al. 3D printing trends in building and construction industry: a re-view // Virtual and Physical Prototyping. 2017. №12 (3). P. 261 – 276. doi.org/10.1080/17452759.2017.1326724
7. Bos F., Wolfs R., Ahmed Z., Salet T. Additive manufacturing of concrete in construction: potentials and challenges of 3D concrete printing // Virtual and Physical Prototyping. 2016. №11 (3). P. 209 – 225. dx.doi.org/10.1080/17452759.2016.1209867
8. Шорстов Р.А., Сулейманова Л.А., Кара К.А. Технологии получения многослойных конструкций вариативной структуры // Вестник БГТУ им. В.Г. Шухова. 2019. №4. С. 32 – 39.
9. Кожухова Н.И., Данакин Д.Н., Кожухова М.И., Алфимова Н.И. и др. Рн-показатель среды как фактор формирования поровой структуры пен // Вестник БГТУ им. В.Г. Шухова. 2018. №8. С. 101 – 108.
10. Сулейманова Л.А., Лесовик В.С., Хархардин А.Н. Топологические свойства полидисперсных композиционных вяжущих для неавтоклавных ячеистых бетонов // Вестник БГТУ им. В.Г. Шухова. 2013. №2. С. 46 – 50.

11. Nguyen D.V.Q., Bazhenov Yu.M., Aleksandrova O.V. Effect of quartz powder and mineral admixtures on the properties of high-performance concrete // Вестник МГСУ. 2019. Т. 14. №1 (124). С. 102 – 117.
12. Лесовик В.С., Загороднюк Л.Х., Куприна А.А., Елистраткин М.Ю. и др. Эффективные кладочные растворы для автоклавных стеновых материалов // Строительные материалы. 2016. №12. С. 22 – 25.
13. Murtazaev S.A.Yu., Mintshev M.Sh., Alaskhanov A.Kh., Saidumov M.S. et al. Recycled technogenic raw materials as an effective filler for modern construction composites // Advances in Engineering Research International Symposium on Engineering and Earth Sciences. 2018. P. 271 – 274.
14. Rakhimbayev Sh.M., Tolypina N.M., Khakhaleva E.N. Influence of reactive fillers on concrete corrosion resistance // IOP Conference Series: Materials Science and Engineering 11. "International Conference on Mechanical Engineering, Automation and Control Systems 2017 // Material Science in Mechanical Engineering". 2018. 032046.

References

1. Elistratkin M.Y., Lesovik V.S., Alfimova N.I., Shurakov I.M. On the question of mix composition selection for construction 3D printing. Materials Science Forum. 2019. 945. P. 218 – 225.
2. Drebezgova M.YU. Sovremennyye additivnyye tekhnologii v maloetazhnom stroitel'stve. Vestnik BGTU im. V.G. SHuhova. 2017. 6. P. 66 – 69. (rus.)
3. Elistratkin M.YU., Lesovik V.S., Alfimova N.I., Glagolev E.S. O razvitiy tekhnologiy stroitel'noj pechati. Vestnik BGTU im. V.G. SHuhova. 2018. 5. P. 11 – 19. (rus.)
4. SHorstova E.S., Klyuev S.V., Klyuev A.V. Fibrobeton dlya 3D-pechati. Vestnik BGTU im. V.G. SHuhova. 2019. 3. P. 22 – 27. (rus.)
5. Slavcheva G.S., Artamonova O.V. Rheological behavior of 3D printable cement paste: criterial evaluation. Magazine of Civil Engineering. 2018. 84 (8). P. 97 – 108. doi: 10.18720/MCE.84.10
6. Tay Y., Panda B., Paul S., Noor M. et al. 3D printing trends in building and construction industry: a re-view. Virtual and Physical Prototyping. 2017. 12 (3). P. 261 – 276. doi.org/10.1080/17452759.2017.1326724
7. Bos F., Wolfs R., Ahmed Z., Salet T. Additive manufacturing of concrete in construction: potentials and challenges of 3D concrete printing. Virtual and Physical Prototyping. 2016. 11 (3). P. 209 – 225. dx.doi.org/10.1080/17452759.2016.1209867
8. SHorstov R.A., Sulejmanova L.A., Kara K.A. Tekhnologii polucheniya mnogoslojnykh konstrukcij variatropnoj struktury. Vestnik BGTU im. V.G. SHuhova. 2019. 4. P. 32 – 39. (rus.)
9. Kozhuhova N.I., Danakin D.N., Kozhuhova M.I., Alfimova N.I. i dr. Rh-pokazatel' sredy kak faktor formirovaniya porovoj struktury pen. Vestnik BGTU im. V.G. SHuhova. 2018. 8. P. 101 – 108. (rus.)
10. Sulejmanova L.A., Lesovik V.S., Harhardin A.N. Topologicheskie svoystva polidispersnykh kompozicionnykh vyazhushchih dlya neavtoklavnykh yacheistyh betonov. Vestnik BGTU im. V.G. SHuhova. 2013. 2. P. 46 – 50. (rus.)
11. Nguyen D.V.Q., Bazhenov Yu.M., Aleksandrova O.V. Effect of quartz powder and mineral admixtures on the properties of high-performance concrete. Vestnik MGSU. 2019. 14 (1-124). P. 102 – 117.
12. Lesovik V.S., Zagorodnyuk L.H., Kuprina A.A., Elistratkin M.YU. i dr. Effektivnyye kladochnye rastvory dlya avtoklavnykh stenovykh materialov. Stroitel'nye materialy. 2016. 12. P. 22 – 25. (rus.)
13. Murtazaev S.A.Yu., Mintshev M.Sh., Alaskhanov A.Kh., Saidumov M.S. et al. Recycled technogenic raw materials as an effective filler for modern construction composites. Advances in Engineering Research International Symposium on Engineering and Earth Sciences. 2018. P. 271 – 274.
14. Rakhimbayev Sh.M., Tolypina N.M., Khakhaleva E.N. Influence of reactive fillers on concrete corrosion resistance. IOP Conference Series: Materials Science and Engineering 11. "International Conference on Mechanical Engineering, Automation and Control Systems 2017. Material Science in Mechanical Engineering". 2018. 032046.

*Lesovik V.S. *, Doctor of Engineering Sciences (Advanced Doctor), Professor,
Absimetov M.V., Postgraduate,
Elistratkin M.Yu., Candidate of Engineering Sciences (Ph.D.), Associate Professor,
Pospelova M.A.,
Shatalova S.V., Postgraduate,
Belgorod State Technological University named after V.G.Shukhov, Russia*
*Corresponding author E-mail: naukavs@mail.ru

FOR THE STUDY OF PECULIARITIES OF STRUCTURE FORMATION OF COMPOSITE BINDERS FOR NON-AUTOCCLAVED AERATED CONCRETE

Abstract: the basis of the modern market of cellular concrete is autoclaved gas silicate. At the same time, non-autoclaved aerated concrete is largely a more technological material, allowing the variation of its properties within a wide range, having a potentially wider field of application, less costly in the organization of production, which is of great importance for small and medium-sized businesses. The main problem of non-autoclaved aerated concrete is a higher cost of raw materials compared to silicate, and 20...30% lower strength performance. The proposed solution to this problem is the development of special composite binders with a limited content of clinker and mineral additives of various genetic types, taking into account the peculiarities of the two-stage structure formation of the material – gas porization and the formation of the microstructure of the stone. The article deals with some aspects of the interaction in the system “mineral additive – gypsum – by-products of the gas release reaction” in terms of the effect on the viscosity of the swelling mass and the strength of the stone at different times of hardening. Recommendations are given on the preferred compositions of composite binders and dosages of gypsum in the molding mixture when producing a material with an average density in the range of 500...700 kg/m³.

Keywords: structure formation of material, non-autoclaved aerated concrete, composite binders, mineral additives of various genetic types, ettringite

Для цитирования: Лесовик В.С., Абсиметов М.В., Елистраткин М.Ю., Поспелова М.А., Шаталова С.В. К вопросу изучения особенностей структурообразования композиционных вяжущих для неавтоклавных газобетонов // Строительные материалы и изделия. 2019. Том 2. №3. С. 41 – 47. DOI: 10.34031/2618-7183-2019-2-3-41-47

For citation: Lesovik V.S., Absimetov M.V., Elistratkin M.Yu., Pospelova M.A., Shatalova S.V. For the study of peculiarities of structure formation of composite binders for non-autoclaved aerated concrete. Construction Materials and Products. 2019. 2 (3). P. 41 – 47. DOI: 10.34031/2618-7183-2019-2-3-41-47

Поступила в редакцию 5 марта 2019 г.

Принята в доработанном виде 7 апреля 2019 г.

Одобрена для публикации 28 мая 2019 г.

Received: March 5, 2019.

Revised: April 7, 2019.

Accepted: May 28, 2019.