

СТРОИТЕЛЬСТВО И АРХИТЕКТУРА



УДК 691.327.332

КОНСТРУКЦИОННЫЙ ГАЗОБЕТОН НЕАВТОКЛАВНОГО ТВЕРДЕНИЯ ДЛЯ МОНОЛИТНОГО МАЛОЭТАЖНОГО СТРОИТЕЛЬСТВА

В.В. Белов, Х.А. Микаелян*Тверской государственный технический университет (г. Тверь)*

© Белов В.В., Микаелян Х.А., 2025

Аннотация. В статье разработаны технологические основы получения конструкционного газобетона неавтоклавного твердения для монолитного малоэтажного строительства с применением полимерцементного вяжущего и отходов производства стеклянных микросфер. Отмечено, что одним из ключевых аспектов исследования является использование полимерных добавок, которые улучшают физико-механические свойства материала и повышают его долговечность; при этом отходы производства стеклянных микросфер, в свою очередь, являются эффективным микронаполнителем газобетона, усиливающим его физико-механические свойства. Сделан вывод, что разработанный газобетон неавтоклавного твердения может быть конкурентоспособным малоэнергоёмким конструкционным материалом для монолитного малоэтажного строительства, обладающим также и теплоизоляционными функциями.

Ключевые слова: конструкционный газобетон, неавтоклавный, полимерцементное вяжущее, прочность, плотность, модификация газобетона, отходы производства стеклянных микросфер.

DOI: 10.46573/2658-7459-2025-1-5-11

ВВЕДЕНИЕ

Газобетон – это популярный стеновой материал, который идеально подходит для малоэтажного строительства [1, 2]. Его разновидность, а именно неавтоклавный газобетон, представляет собой одну из перспективных альтернатив традиционным стеновым материалам, таким как керамический и силикатный кирпич, и при этом обладает уникальными свойствами и преимуществами перед традиционными строительными материалами, прежде всего лучшими показателями тепло- и звукоизоляции. Неавтоклавные газобетонные изделия, если сравнивать с газобетонами автоклавного твердения, менее трудоемки в производстве, не требуют использования дорогостоящего оборудования. Основным недостатком материала является более медленный набор прочности в производственном цикле в отличие от автоклавных газобетонов, но благодаря гидравлическому вяжущему (цементу) данный материал устойчив к воздействию влажной среды, которая обеспечивает процесс гидратации цементного вяжущего [3–5].

Существует множество исследований, посвященных неавтоклавным газобетонам, которые производятся с использованием композиционных вяжущих различных типов, составов и методов получения. Эти работы в целом демонстрируют эффективность и

перспективность данного направления. Однако одним из их ключевых недостатков является то, что свойства используемых вяжущих и характеристики готовых ячеистых бетонов зачастую рассматриваются отдельно друг от друга [6].

Для получения изделий с высокой прочностью необходимо создать материал с минимальным количеством дефектов. Формирование оптимальной структуры неавтоклавного газобетона зависит от параметров, определяющих кинетику газообразования (добавки газообразователя, щелочи, их соотношения и др.), и параметров, регулирующих скорость увеличения пластической прочности ячеистого бетона в процессе его твердения [7].

В этом отношении ключевую роль могут сыграть полимерные добавки. Например, при добавлении поливинилацетата (ПВА) прочность полимерцемента при растяжении и изгибе увеличивается в 2–2,5 раза по сравнению с обычным цементом. Однако если полимер не обладает достаточной водостойкостью, то при увлажнении прочность полимерцемента может снизиться. При содержании полимера в количестве 20–25 % клеящая способность полимерцемента приближается к свойствам чистого полимера [8].

В работах [9, 10] исследованы различные аспекты влияния полимеров и условий отверждения на прочность цементных связующих материалов. Прочностные характеристики материалов на основе портландцемента в значительной степени зависят от условий их затвердевания. Если процесс происходит во влажной среде, то полимерная пленка замедляет испарение воды, что способствует лучшей гидратации частиц. Однако это тормозит скорость процесса. При водном твердении или во влажных условиях формирование полимерной структуры происходит медленнее, что приводит к снижению прочностных показателей, особенно при изгибающих нагрузках. Рекомендуется использовать комбинированный режим, который включает 7–10 дней твердения образцов во влажной среде с последующей воздушно-сухой гидратацией при относительной влажности 40–60 % [9, 10].

Актуальную задачу улучшения физико-механических и эксплуатационных характеристик неавтоклавного газобетона можно решать также за счет использования микронаполнителей, которые обеспечивают высокие прочностные характеристики на границах раздела фаз [11]. Мировой опыт показывает, что в качестве таких наполнителей целесообразно применять материалы из отходов промышленности, обеспечивающие экономический и экологический эффекты, а также материалы из отходов, имеющих шарообразную форму частиц. Например, использование золы-уноса со сферическими частицами размером 5–15 мкм придает сырьевым смесям свойство, которое получило название «шарикоподшипниковый эффект». Благодаря данной особенности улучшается скольжение цемента и песка по стекловидной поверхности частичек золы. Такой пластифицирующий эффект позволяет уменьшить содержание воды в бетонной смеси, что способствует повышению прочности бетона [12].

Исходя из вышеуказанного, можно предположить, что отходы производства стеклянных микросфер, применяемых в качестве эффективного мелкодисперсного пустотелого наполнителя при изготовлении бетонов [13–15], за счет высокой дисперсности и шарообразной формы [16] могут стать ценным сырьевым компонентом неавтоклавного газобетона, снижающим его стоимость и улучшающим, наряду с использованием полимерцементного вяжущего, физико-механические свойства.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

В данной работе изучались возможности получения оптимального состава газобетонной смеси с использованием полимера в качестве добавки и отхода производства стеклянных микросфер. Для этого были изготовлены и испытаны на прочность газобетонные образцы с различным полимерцементным отношением и разным содержанием алюминиевой пудры при фиксированном содержании отхода производства стеклянных микросфер в качестве микронаполнителя.

Использовались следующие компоненты: цемент ЦЕМ I 42,5Н; отходы производства стеклянных микросфер; керамзитовый песок с фракцией 0–5 мм; каустическая сода, алюминиевая пудра, сульфолон, суперпластификатор, полимер ПВА.

Удобоукладываемость смесей была подобрана предварительно путем варьирования расхода воды таким образом, чтобы диаметр расплыва лепешки из цилиндра Суттарда невспученной смеси (без газообразователя) составлял около 16 см.

Из газобетонной смеси изготавливались образцы в виде кубов размерами 100 × 100 × 100 мм. После формования образцы твердели 1 сут в формах. Затем образцы распалубливали и отправляли в камеру нормального твердения на 14 сут при 20 ± 2 °С и влажности 85–90 %.

Испытания образцов на сжатие в высушенном состоянии проводили в соответствии с ГОСТ 10180–2012 «Бетоны. Методы определения прочности по контрольным образцам». Перед испытанием образцы измеряли, взвешивали и проверяли на различные дефекты.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

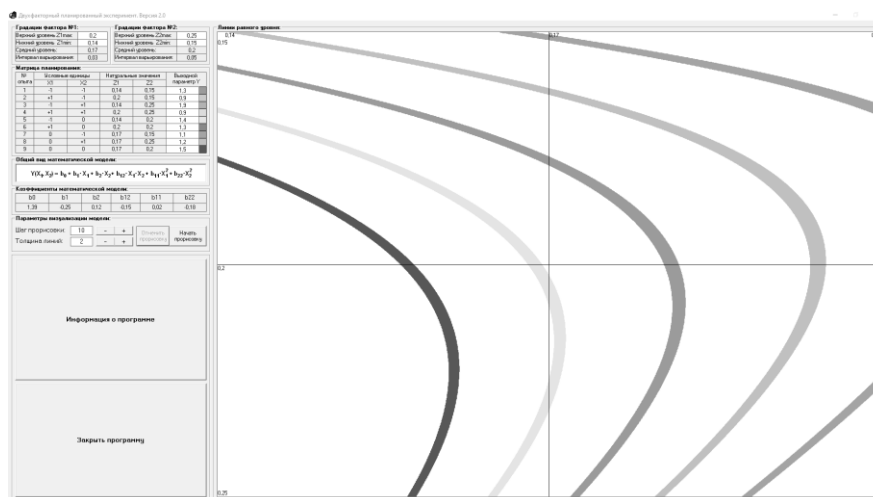
Спланирован и выполнен полный двухфакторный эксперимент для проверки составов газобетонной смеси. Каждый фактор рассматривался лишь на трех фиксированных уровнях (верхнем, среднем и нижнем). В качестве первого фактора было принято содержание алюминиевой пудры, равное 0,14–0,20 %, в качестве второго – полимерцементное отношение (П/Ц), равное 0,15–0,25.

В таблице приведены результаты определения плотности и прочности образцов неавтоклавного газобетона в возрасте 14 сут.

Экспериментальные данные

Номера составов	Содержание алюминиевой пудры, %	П/Ц	Средняя плотность образцов в возрасте 14 сут (в сухом состоянии), кг/м ³	Прочность на сжатие в возрасте 14 сут, МПа	Коэффициент конструктивного качества
1	0,14	0,15	600	1,43	2,39
2		0,2	715	1,73	2,42
3		0,25	730	2,51	3,44
4	0,17	0,15	535	1,11	2,08
5		0,2	710	1,69	2,38
6		0,25	625	1,21	1,93
7	0,20	0,15	840	1,05	1,26
8		0,2	715	1,41	1,97
9		0,25	655	0,98	1,49

Ниже приведены результаты проведенного эксперимента в виде визуализации полученной модели (рисунок), а также сама математическая модель второго порядка, описывающая зависимость прочности (y) от содержания алюминиевой пудры (x_1) и П/Ц (x_2): $y = 1,39 - 0,25x_1 + 0,12x_2 - 0,15x_1x_2 + 0,02x_1^2 - 0,18x_2^2$, где x_1 и x_2 – рецептурные факторы в кодированном виде.



Визуализация модели ПФЭ

Наилучшими результатами характеризуется состав № 3 (содержание алюминиевой пудры 0,14 %, П/Ц = 0,25), при этом коэффициент конструкционного качества равен 3,4, т.е. материал имеет высокую прочность, равную 2,5 МПа, при оптимальной плотности, равной 730 кг/м³.

Полученные результаты можно объяснить тем, что добавление полимерных добавок в состав бетона способствует улучшению его прочностных характеристик. Полимерное связующее вещество образует упругие прослойки между кристаллическими новообразованиями минерального вяжущего, а также адсорбируется на поверхности частиц заполнителя. За счет своих высоких адгезионных свойств оно повышает прочность бетона.

При П/Ц до 0,2–0,25 гидратные фазы образуют кристаллизационно-коагуляционную структуру. Эта структура укрепляется в местах с дефектами (порами и трещинами) полимерной составляющей, что приводит к формированию более прочной и эластичной структуры. Увеличение П/Ц с 0,15 до 0,25 способствует повышению прочности образцов с 1,4 до 2,5 МПа соответственно.

Плотность образцов определяется количеством алюминиевой пудры. При увеличении ее содержания плотность материала уменьшается. Таким образом, плотность варьируется в диапазоне от 530 до 840 кг/м³.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Использование полимерцементного связующего способствует улучшению сцепления между частицами газобетона, что, в свою очередь, повышает прочность последнего. Отходы производства стеклянных микросфер, выступая в качестве микроармирующего компонента, уменьшают усадку материала и продлевают срок его службы.

Применение полимера ПВА и отходов производства стеклянных микросфер в производстве конструкционного газобетона неавтоклавного твердения позволило улучшить его характеристики. Прочность материала достигала 2,5 МПа, а плотность варьировалась в диапазоне от 530 до 840 кг/м³. Это открывает новые возможности для использования такого газобетона в строительстве различных объектов, в том числе в малоэтажном строительстве.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Рыжих В.Д., Тарасенко В.Н. Ячеистые бетоны как основной стеновой материал в малоэтажном жилищном строительстве. *Инновации в науке и практике: Сборник статей по материалам IV Международной научно-практической конференции. Часть I*. Барнаул: ООО «Дендра», 2017. С. 184–188.
2. Лхасаранов С.А., Урханова Л.А., Смирнягина Н.Н., Назарова К.Х. Применение композиционных вяжущих и углеродного наноматериала для получения газобетона // *Строительные материалы*. 2021. № 1-2. С. 30–35.
3. Сидоренко А.Г. Преимущества использования неавтоклавных газобетонов в строительстве. *Теоретические и практические аспекты развития современной науки: теория, методология, практика: Сборник научных статей по материалам XIII Международной научно-практической конференции*. Уфа: ООО «Научно-издательский центр "Вестник науки"», 2024. С. 100–103.
4. Дюсембинов Д.С., Сабитов Е.Е. Модифицированные газобетонные изделия неавтоклавного твердения. *Повышение качества образования, современные инновации в науке и производстве: Сборник трудов Международной научно-практической конференции*. Экибастуз: Издательство филиала КузГТУ в г. Прокопьевске, 2017. С. 347–350.
5. Сидоренко А.Г. Экологические аспекты производства неавтоклавного газобетона. *Молодой ученый: Сборник статей VIII Международной научно-практической конференции*. Пенза: Наука и Просвещение, 2024. С. 66–68.
6. 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. Т. 2. № 3. С. 41–47.
7. Леонтьев С.В., Галкина М.Д. Исследование влияния технологических факторов на процессы формирования структуры неавтоклавного газобетона // *Современные технологии в строительстве. Теория и практика*. 2021. Т. 1. С. 314–318.
8. Темный В.Д., Мишин Д.А. Получение полимерцементного вяжущего. *Международная научно-техническая конференция молодых ученых БГТУ им. В.Г. Шухова*. Белгород: БГТУ им. В.Г. Шухова, 2019. С. 2632–2635.
9. Ахметвалиев Н.Н. Прочностные характеристики полимерцементного вяжущего // *Студенческий форум*. 2019. № 2 (53). С. 28–31.
10. Темный В.Д., Богат А.Р., Колчева А.А., Нищук О.П. Влияние условий твердения портландцемента с добавкой ПВА на его прочностные показатели. *Международная научно-техническая конференция молодых ученых молодых ученых БГТУ им. В.Г. Шухова*. Белгород: БГТУ им. В.Г. Шухова, 2020. С. 3464–3468.

11. Иноземцев А.С., Королев Е.В. Полые микросферы – эффективный наполнитель для высокопрочных легких бетонов // *Промышленное и гражданское строительство*. 2013. № 10. С. 80–83.
12. Молчанов А.О., Нелюбова В.В., Кузьмина Н.О. Некоторые свойства зол-уноса как компонента бетонных смесей // *Труды Кольского научного центра РАН*. 2017. Т. 8. № 5–1. С. 102–106.
13. Бочарников А.Л., Загороднюк Л.Х. Перспективы применения. Полых стеклянных микросфер. *Наука и инновации в строительстве: Сборник докладов VII Международной научно-практической конференции, посвященной 170-летию В.Г. Шухова*. Белгород: БГТУ им. В.Г. Шухова, 2023. Т. 2. С. 139–142.
14. Трофимов А.Н., Плешков Л.В., Байков А.В., Стогова И.В. Морфология и свойства полых стеклянных микросфер. Часть 1. О размерах промышленных полых стеклянных микросфер // *Пластические массы*. 2020. № 11–12. С. 15–19.
15. Перфилов В.А., Котляревская А.В., Канавец У.В. Влияние полых стеклянных микросфер на свойства легких мелкозернистых бетонов // *Вестник Волгоградского государственного архитектурно-строительного университета. Серия: Строительство и архитектура*. 2016. № 43 (62). С. 93–103.
16. Трофимов А.Н., Белов В.В., Вологин Н.А., Косолапов А.Ф., Шишаев Д.С. Отходы стеклянных микросфер как потенциальное сырье для получения строительных материалов // *Техника и технология силикатов*. 2024. Т. 31. № 3. С. 237–246.

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ

БЕЛОВ Владимир Владимирович – советник РААСН, доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой производства строительных изделий и конструкций, ФГБОУ ВО «Тверской государственный технический университет», 170026, Россия, г. Тверь, наб. А. Никитина, д. 22. E-mail: vladim-bel@yandex.ru

МИКАЕЛЯН Хачатур Арсенович – магистрант, ФГБОУ ВО «Тверской государственный технический университет», 170026, Россия, г. Тверь, наб. А. Никитина, д. 22. E-mail: xach200@mail.ru

БИБЛИОГРАФИЧЕСКАЯ ССЫЛКА

Белов В.В., Микаелян Х.А. Конструкционный газобетон неавтоклавного твердения для монолитного малоэтажного строительства // *Вестник Тверского государственного технического университета. Серия «Строительство. Электротехника и химические технологии»*. 2025. № 1 (25). С. 5–11.

STRUCTURAL AERATED CONCRETE OF NON-AUTOCCLAVE HARDENING FOR MONOLITHIC LOW-RISE CONSTRUCTION

V.V. Belov, K.A. Mikaelyan
Tver State Technical University (Tver)

Abstract. The paper develops the technological basis for the production of structural aerated concrete of non-autoclave curing for monolithic low-rise construction with the use of polymer cement binder and glass microsphere production waste. It is noted that one of the key

aspects of the study is the use of polymer additives that improve the physical and mechanical properties of the material and increase its durability, and glass microsphere production wastes, in turn, are an effective microfiller of aerated concrete, increasing its physical and mechanical properties. According to the results of the study, it is concluded that the developed non-autoclaved aerated concrete can be a competitive low-energy-intensive structural material for monolithic low-rise construction, combining also thermal insulation functions.

Keywords: structural aerated concrete, non-autoclave, polymer, polymer cement binder, strength, density, modification of aerated concrete, waste from the production of glass microspheres.

INFORMATION ABOUT THE AUTHORS

BELOV Vladimir Vladimirovich – Adviser of the Russian Academy of Architecture and Building Sciences, Doctor of Technical Sciences, Professor, Head of the Department of Building Materials and Structures, Tver State Technical University, 22, embankment of A. Nikitin, Tver, 170026, Russia. E-mail: vladim-bel@yandex.ru

MIKAELIAN Khachatur Arsenovich – Master's Degree Student, Tver State Technical University, 22, embankment of A. Nikitin, Tver, 170026, Russia. E-mail: xach200@mail.ru

CITATION FOR AN ARTICLE

Belov V.V., Mikaelyan K.A. Structural aerated concrete of non-autoclave hardening for monolithic low-rise construction // Vestnik of Tver State Technical University. Series «Building. Electrical engineering and chemical technology». 2025. No. 1 (25), pp. 5–11.

УДК 721.011:624.074

ОЦЕНКА ВЛИЯНИЯ ВОССТАНАВЛИВАЕМОЙ ЧАСТИ ИЛЬИНСКОЙ ЦЕРКВИ НА СУЩЕСТВУЮЩИЕ КОНСТРУКЦИИ

Т.М. Гуревич, Е.И. Примакина

*Костромская государственная сельскохозяйственная академия
(Костромская область, пос. Караваево)*

© Гуревич Т.М., Примакина Е.И., 2025

Аннотация. В данной работе приведены результаты исследования влияния восстанавливаемой части культового сооружения на существующие конструкции. Представлены результаты расчетов нескольких пространственных моделей сооружения. Сделаны выводы о целесообразности восстановления объекта согласно проектному решению.

Ключевые слова: восстановление, фундаменты, своды, расчетные модели, осадки, напряжения.

DOI: 10.46573/2658-7459-2025-1-11-24