

About the authors:

PECHERITSYN Ilya Andreevich – Student, Tver State Technical University, Tver. E-mail: 342.3uaer@mail.ru

SMIRNOV Matvey Alexandrovich – Candidate of Technical Sciences, Associate Professor of the Department of Production of Building Materials and Structures, Tver State Technical University, Tver. E-mail: matiu.sm@yandex.ru

BELOV Vladimir Vladimirovich – Advisor to RAACS, Doctor of Technical Sciences, Professor, Head of the Department of Production of Building Materials and Structures, Tver State Technical University, Tver. E-mail: vladim-bel@yandex.ru

TROFIMOV Valery Ivanovich – Candidate of Technical Sciences, Associate Professor of the Department of Production of Building Materials and Structures, Tver State Technical University, Tver. E-mail: vitrofa@mail.ru

УДК 691.327

СУХИЕ СТРОИТЕЛЬНЫЕ СМЕСИ ДЛЯ МОНОЛИТНОГО ГАЗОБЕТОНА

Д.А. Пономарев, Ю.Ю. Курятников,
М.А. Смирнов, В.Б. Петропавловская

© Пономарев Д.А., Курятников Ю.Ю.,
Смирнов М.А., Петропавловская В.Б., 2024

***Аннотация.** В статье изучены сухие смеси для производства качественного неавтоклавного газобетона для монолитного строительства. Рассмотрены пути его совершенствования.*

***Ключевые слова:** неавтоклавный газобетон, реакционно-порошковые сухие смеси, композиционные вяжущие, минеральные добавки, генетический тип, дисперсная система, структурообразование, пространственная структура.*

Введение

Строительство современного жилья предполагает использование новых строительных технологий, возведение строительных конструкций с применением разнообразных эффективных строительных материалов, влияющих на долговечность сооружений и комфортность жилья. По установленной за рубежом градации комфортности проживания человека первое место занимают дома из дерева, второе – дома из ячеистых бетонов, в том числе газобетонов неавтоклавного твердения. Рынок неавтоклавных

газобетонов в России абсолютно нестабилен в плане качества, так как многие производители пользуются сомнительными технологиями и оборудованием. В настоящее время назрела необходимость производства качественного неавтоклавного газобетона как для монолитного строительства, так и для изготовления штучных изделий. Этого можно достичь за счет получения газобетона из нового класса сухих строительных смесей – сухих газобетонных смесей, которые будут обладать присущими в целом сухим строительным смесям достоинствами. К числу таких достоинств относятся удобный способ доставки и хранения сухих смесей на объекте; повышенное качество строительных работ; сокращение потерь и транспортных расходов; полная заводская готовность; возможность транспортирования и хранения при отрицательных температурах и т.д. Сухая газобетонная смесь готовится в виде состава, который достаточно перемешать с необходимым количеством жидкого компонента и залить в форму или на изолируемый участок, чтобы быстро получить газобетон высокого качества.

Анализ современной научно-технической литературы, посвященной вопросам формирования макро- и микроструктуры ячеистых бетонов, позволяет определить основные информационные логические связи при проектировании составов сухих смесей для изготовления газобетона. Предлагаемая модель, реализующая комплексный подход, дает возможность установить взаимосвязь между физико-химическими предпосылками формирования структуры газобетона, структурообразованием и свойствами материала. Формирование микро- и макроструктуры газобетона осуществляется за счет варьирования основных компонентов состава сухой смеси, модификации состава химическими и дисперсно-армирующими добавками, природы поверхности, дисперсности и однородности распределения компонентов, механоактивации поверхности твердой фазы и рациональных режимов перемешивания газобетонной смеси. В свою очередь, структура определяет основные свойства газобетона: среднюю плотность, предел прочности на сжатие и на растяжение при изгибе, усадку при высыхании, теплопроводность [1].

Возможности получения газобетона неавтоклавного твердения из сухих смесей

Структурообразование является одним из основных процессов в технологии ячеистых бетонов. Управление этим процессом является важной задачей получения газобетона с заданными свойствами. Эффективным способом управления структурообразованием ячеистого бетона с целью повышения его прочности выступает обработка свежеприготовленной смеси переменным электрическим полем.

Особенность новых технологий – эффективное воздействие на структурообразование материала на всех этапах производства. С этой точки зрения практический интерес представляют пути интенсификации процесса

гидратации, улучшения качества структуры цементирующего вещества неавтоклавных газобетонов, при которых будет обеспечена достаточная прочность при сниженной средней плотности [2].

Для большинства существующих в настоящее время технологий таких высокоэффективных теплоизоляционно-конструкционных материалов, как неавтоклавные газобетоны пониженной средней плотности, необходимо применение дорогостоящих или требующих сложной в технологическом плане подготовки сырьевых компонентов (портландцемента, извести, молотого кварцевого песка и др.), что негативно отражается на стоимости и конкурентоспособности материала. Одним из путей решения данной проблемы является использование в производстве неавтоклавных ячеистых бетонов местной сырьевой базы и техногенных вторичных ресурсов. В Йемене, как и в России, имеются многотоннажные базальтовые отходы производства минераловатных изделий, которые могут быть использованы не только в рециклинге этих изделий, но и в производстве неавтоклавных газобетонов. В связи с этим представляются актуальными исследования по замене молотого кварцевого песка в составе композиционного неавтоклавного газобетона на пылевидные (ПБО) и волокнистые базальтовые отходы (ВБО), что не только повысит сбережение этого материала, в том числе за счет экономии цемента, но и позволит получить такие улучшенные эксплуатационные показатели, как пониженная усадка при твердении, морозостойкость, а в конечном счете – долговечность [3, 4].

Введение ПБО в качестве наполнителя при производстве неавтоклавного газобетона позволяет сберечь часть цемента без снижения характеристик, а использование ВБО в качестве дисперсного армирования улучшает структуру и эксплуатационные свойства неавтоклавного газобетона, дает возможность значительно уменьшить деформации усадки неавтоклавного газобетона. Кроме того, применение базальтовых отходов в составе неавтоклавного газобетона будет способствовать экономии энергетических и 9 сырьевых ресурсов, а также капитальных вложений без снижения качества материала. Введение в состав газобетона едкого натра (NaOH) способствует интенсификации процесса газообразования смеси и уменьшению средней плотности газобетона. Едкий натр лучше всего использовать в качестве щелочной добавки взамен гидроксида кальция $\text{Ca}(\text{OH})_2$ (извести), который требует предварительной подготовки.

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, демонстрирующие минимальное возрастание вязкости при взаимодействии с продуктами реакции газовой выделения (с добавками отсевов кварцитопесчаника и дробления тяжелого бетона), предпочтительны

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 том числе конструктивных. Использование композиционного вяжущего с добавкой молотого кварцевого песка для решения указанных задач нецелесообразно из-за его плохой размолоспособности и низкой технологичности газобетонных смесей на его основе [4–6].

Пути совершенствования газобетона неавтоклавного твердения на основе сухих смесей

На процесс структурообразования и свойства газобетона оказывает влияние множество технологических факторов. Рациональные значения этих факторов позволяют значительно повысить качество газобетона неавтоклавного твердения. В настоящей статье приведены результаты исследования, направленного на решение этой задачи. Объектами были такие технологические факторы, как температура воды затворения и текучесть бетонной смеси. Температура смеси оказывает существенное воздействие на формирование пористой структуры газобетона. С повышением температуры бетонной смеси процесс вспучивания ускоряется. При этом процесс газообразования может протекать более интенсивно, чем процесс достижения у бетонной смеси необходимой пластической прочности. Пузырьки газа прорываются наружу, тем самым в первый промежуток времени вспучивая смесь, после чего из-за более медленного нарастания вязкопластичных свойств смеси происходит ее осадка [6].

Максимальный показатель предела прочности при сжатии для образцов неавтоклавного газобетона на основе известняка-ракушечника и добавки Polimix равен 4,52 МПа при $\rho = 0,764 \text{ г/см}^3$ для температуры 60 °С. Для минимальной температуры (20 °С) максимальный предел прочности на сжатие равен 3,1 МПа при $\rho = 0,761 \text{ г/см}^3$. В данном составе прирост прочности при температуре 60 °С может быть обусловлен ускорением процесса гидратации портландцементного клинкера при высокой температуре.

Таким образом, установлена оптимальная температура воды затворения для приведенных составов неавтоклавного газобетона. Эксперименты показали неэффективность увеличения температуры воды затворения, так как оно приводит к увеличению скорости газообразования в бетонной смеси. При 20 °С образцы газобетона имели показатели плотности ниже, чем при 60 °С, в которых происходит осадка бетона из-за скорости вспучивания. Для всех трех составов неавтоклавного газобетона на основе золы и известняка-ракушечника оптимальной температурой воды для затворения является температура, равная 20 °С. Разогрев воды требует

дополнительных затрат, поэтому с экономической точки зрения минимальная температура является очень эффективной [6, 7].

Повышение прочности вяжущих при введении в их состав микронаполнителей, помимо гидравлической активности, также объясняет образование наиболее мелкими зернами микронаполнителя центров кристаллизации в контактной зоне цемента. Введение отработанного текстильного корда влияет на характер пористости (макроструктуру) неавтоклавного газобетона. В газобетоне с оптимальным содержанием волокна преобладают замкнутые поры размером 0,5–1 мм, которые имеют правильную, преимущественно овальную форму и плотные межпоровые перегородки. Макропоры дисперсноармированного газобетона имеют гладкую внутреннюю поверхность, а газобетона без волокон – рыхлую, что ослабляет сечение межпоровой перегородки и снижает прочность газобетона. Полученный материал может использоваться при заполнении многослойных ограждающих конструкций и выполнении других теплоизоляционных работ непосредственно на месте в процессе строительства и реконструкции зданий, а также в заводских условиях при изготовлении мелкоштучных изделий [8–10].

Заключение

Положительный синергетический эффект применения ПБО и ВБО, а также химических модифицирующих добавок в оптимальном количестве, выражающийся в повышении физико-механических и эксплуатационных свойств неавтоклавного газобетона, заключается в улучшении адгезии базальтовых волокон, характеризующихся высокими прочностью на растяжение и модулем упругости, стойкостью по отношению к щелочной среде, к цементной матрице, в формировании наилучшей микроструктуры межпоровых перегородок, упрочнении контактных зон между компонентами перегородок и ограничении трещинообразования в них, что в итоге способствует достижению комплекса благоприятных эксплуатационных свойств газобетона и экономии расхода цемента.

Составы неавтоклавного газобетона с использованием ПБО и ВБО позволяют получить эффективный строительный материал с высокими эксплуатационными свойствами. Введение в состав газобетонной смеси ВБО способствует значительному снижению относительных деформаций усадки неавтоклавного газобетона с применением как ПБО, так и молотого кварца (кварцевого песка).

Библиографический список

1. Белов В.В., Курятников Ю.Ю. Сухие смеси для изготовления ячеистого бетона: современное состояние проблемы, экспериментальные исследования, перспективы производства и применения // Инновации и моделирование в строительном материаловедении и землеустройстве:

материалы V Международной научно-технической конференции / под ред. В.В. Белова. Тверь: ТвГТУ, 2021. С. 37–59.

2. Белов В.В., Курятников Ю.Ю. Газобетон неавтоклавного твердения на основе реакционно-порошковых сухих смесей // Фундаментальные, поисковые и прикладные исследования РААСН по научному обеспечению развития архитектуры, градостроительства и строительной отрасли Российской Федерации в 2017 году: сборник научных трудов Российской академии архитектуры и строительных наук: в 2 т. М.: АСВ, 2018. Т. 2. С. 63–70.

3. Влияние структурирующей добавки на физико-механические свойства неавтоклавного газобетона / А.И. Шуйский [и др.] // Инженерный вестник Дона. 2017. № 2 (45). С. 110–118.

4. Хозин В.Г., Красникова Н.М., Ерусланова Э.В. Легкие поризованные бетоны на основе сухих смесей // Строительные материалы. 2018. № 9. С. 40–45.

5. О свойствах неавтоклавного газобетона с применением местного сырья / У.Ж. Тургунбаев [и др.] // Евразийский журнал академических исследований. 2023. № 3 (5). С. 22–29.

6. Парамонова А.В. Повышение прочностных характеристик газобетона неавтоклавного твердения с использованием модифицирующей добавки // Научный вестник государственного образовательного учреждения Луганской Народной Республики «Луганский национальный аграрный университет». 2020. № 8-3. С. 187–191.

7. Ахмед А.Р., Белов В.В., Абрамов Д.Г. Исследование влияния пластификаторов на характеристики неавтоклавного газобетона // Инновации и моделирование в строительном материаловедении: материалы IV Международной научно-технической конференции (19–20 февраля 2019 г.) / под ред. В.В. Белова, А.А. Артемьева, В.Б. Петропавловской. Тверь: ТвГТУ, 2019. С. 12–17.

8. Касымова М.Т., Дыйканбаева Н.А. Исследование структуры и фазового состава неавтоклавного газобетона // Известия высших учебных заведений. Строительство. 2019. № 7 (727). С. 16–24.

9. К вопросу изучения особенностей структурообразования композиционных вяжущих для неавтоклавных газобетонов / В.С. Лесовик [и др.] // Строительные материалы и изделия. 2019. Т. 2. № 3. С. 41–47.

10. Исследование физико-механических свойств неавтоклавного газобетона с использованием золы уноса в качестве активной добавки / В.М. Цой [и др.]. URL: <https://scholar.google.ru/scholar?oi=bibs&hl=ru&cluster=16735038373084748688> (дата обращения: 11.03.2024).

DRY BUILDING MIXES FOR MONOLITHIC AERATED CONCRETE

**D.A. Ponomarev, Yu.Yu. Kuryatnikov,
M.A. Smirnov, V.B. Petropavlovskaya**

***Abstract.** The article studies dry mixes for the production of high-quality non-autoclaved aerated concrete for monolithic construction. The ways of its improvement are considered.*

***Keywords:** non-autoclaved aerated concrete, reaction powder dry mixtures, composite binders, mineral additives, various genetic types, dispersed system, structure formation, spatial structure.*

Об авторах:

ПОНОМАРЕВ Дмитрий Андреевич – студент, ФГБОУ ВО «Тверской государственный технический университет», Тверь. E-mail: psktstu@yandex.ru

КУРЯТНИКОВ Юрий Юрьевич – кандидат технических наук, доцент кафедры производства строительных изделий и конструкций, ФГБОУ ВО «Тверской государственный технический университет», Тверь. E-mail: yuriy-@yandex.ru

СМИРНОВ Матвей Александрович – кандидат технических наук, доцент кафедры производства строительных изделий и конструкций, ФГБОУ ВО «Тверской государственный технический университет», Тверь. E-mail: matiu.sm@yandex.ru

ПЕТРОПАВЛОВСКАЯ Виктория Борисовна – доктор технических наук, доцент, профессор кафедры производства строительных изделий и конструкций, ФГБОУ ВО «Тверской государственный технический университет», Тверь. E-mail: victoriapetrop@gmail.com

About the authors:

PONOMAREV Dmitry Andreevich – Student, Tver State Technical University, Tver. E-mail: psktstu@yandex.ru

KURYATNIKOV Yury Yuryevich – Candidate of Technical Sciences, Associate Professor of the Department of Production of Building Materials and Structures, Tver State Technical University, Tver. E-mail: yuriy-k@yandex.ru

SMIRNOV Matvey Alexandrovich – Candidate of Technical Sciences, Associate Professor of the Department of Production of Building Materials and Structures, Tver State Technical University, Tver. E-mail: matiu.sm@yandex.ru

PETROPAVLOVSKAYA Victoria Borisovna – Doctor of Technical Sciences, Associate Professor, Professor of the Department of Production of Building Materials and Structures, Tver State Technical University, Tver. E-mail: victoriapetrop@gmail.com