

*Бухало А. Б., канд. техн. наук, доц.,  
Нелюбова В. В., канд. техн. наук, доц.,  
Строкова В. В., д-р техн. наук, проф.,  
Сумин А. В., аспирант*

*Белгородский государственный технологический университет им. В. Г. Шухова*

## СРАВНИТЕЛЬНАЯ ОЦЕНКА ГАЗООБРАЗОВАТЕЛЕЙ ДЛЯ ПРОИЗВОДСТВА ЯЧЕИСТОГО БЕТОНА\*

309991@mail.ru

*Описаны некоторые физико-механические свойства традиционных и современных газообразователей. Изучены характеристики нанодисперсного активированного алюминия и обоснована эффективность его применения при получении ячеистых композитов.*

**Ключевые слова:** *газообразователь, паста, пудра, нанодисперсный, ячеистый бетон.*

Энерго- и ресурсосбережение является генеральным направлением современной технической политики в области строительного материаловедения. В комплексе мер по энергосбережению возрастают требования к теплозащите ограждающих конструкций и повышению комфорта зданий.

Основным способом снижения энергозатрат является повышение теплозащиты ограждающих конструкций зданий. Потребляемая в России энергия на отопление зданий, производство строительных материалов и изделий, строительство в 2–2,5 раза превышает ее потребление в развитых странах мира, в первую очередь, за счет меньшего термического сопротивления ограждающих конструкций и больших теплопотерь.

Однако, производство эффективного по теплофизическим характеристикам неавтоклавного ячеистого бетона низких марок по средней плотности является проблемным из-за сложности обеспечения стабильной тонкодисперсной ячеистой структуры и высокой прочности, зависящих от рецептурно-технологических факторов. Одним из путей решения данной задачи является разработка принципов проектирования неавтоклавных ячеистых материалов с направленными регулируемыми свойствами и эффективным структурированием на всех размерных уровнях организации матрицы для производства композитов строительного назначения, с заданной гетерогенностью структуры. Именно при использовании таких подходов можно перейти на новый этап производства строительных материалов, изделий и конструкций, отличающихся простотой, мобильностью, экономичностью, высокими эксплуатационными свойствами и конкурентоспособностью изготавливаемой продукции, отвечающей требованиям рынка.

Всем обозначенным требованиям в полной мере отвечает пеногазобетон. В настоящее время рядом авторов проведен комплекс исследо-

ваний по разработке технологических принципов производства пеногазобетона, изучены эксплуатационные характеристики материала, а также разработана технологическая схема производства [1–3].

Для получения ячеистого бетона с однородной пористой структурой, состоящей из полидисперсных пор и неподверженного осадочным и в дальнейшем усадочным деформациям, необходимо использование компонентов, которые будут работать как система, в совокупности друг с другом. Весь процесс можно описать следующим образом: в момент, когда смесь с пенообразователем может дать усадку, должен начать свою работу газообразователь. За счет медленного газовыделения процессы формирования пористой структуры могут идти одновременно с процессами кристаллизации. При этом процесс газовыделения должен не нарушая структуру, уплотнять межпористую перегородку, смещая частицы вяжущего к уже сформировавшимся порам пены.

При этом важное значение в технологии получения пеногазобетона имеет газообразователь. Одним из самых распространенных газообразующих компонентов является алюминиевая пудра, однако на современном рынке растет доля альтернативных газообразователей – алюминиевых паст [4]. В настоящее время имеются публикации, связанные с изучением свойств существующих и новых газообразователей [5–7], а также материалов на их основе [8–10]. Однако, стоит отметить, что исследования, описанные в статьях, касаются технологии производства газобетона различного твердения. Вопросы, связанные с поризацией пеногазобетона все еще остаются открытыми. Кроме того, известно, что использование нанодисперсных добавок в композитах может обеспечить максимальную эффективность производства материала с повышенными эксплуатационными характеристиками.

Согласно ГОСТ 5494–95 «Пудра алюминиевая. Технические условия» и требованиям производителей ячеистого бетона современные газообразователи должны удовлетворять следующим критериям: моодисперсный состав в достаточно узком интервале распределения частиц по размерам; отсутствие пыления; гидрофильная поверхность частиц; плавное течение процесса газовыделения с получением нетоксичных и не вызывающих коррозию продуктов; большой объем выделяющегося газа – большое газовое число; соответствие температурного интервала максимального газообразования температуре размягчения получаемого материала; устойчивость в условиях хранения и транспортирования; доступность и относительно низкая стоимость.

В связи с этим целью настоящей работы стало изучение и оценка эффективности использования различных газообразователей для получения ячеистого бетона с высокой степенью поризации.

Для исследований использовались традиционные газообразователи: алюминиевая пудра ПАП-1 (ООО «СУАЛ-ПМ-Красноурьинск») и алюминиевая паста Газобетолойт (ООО «НСК-ТЕК»), а также нанодисперсный алюминий НДГ [11].

Гранулометрический состав газообразователей изучали с помощью лазерного анализатора частиц MicroSizer 201. Результаты исследований представлены на рисунке 1.

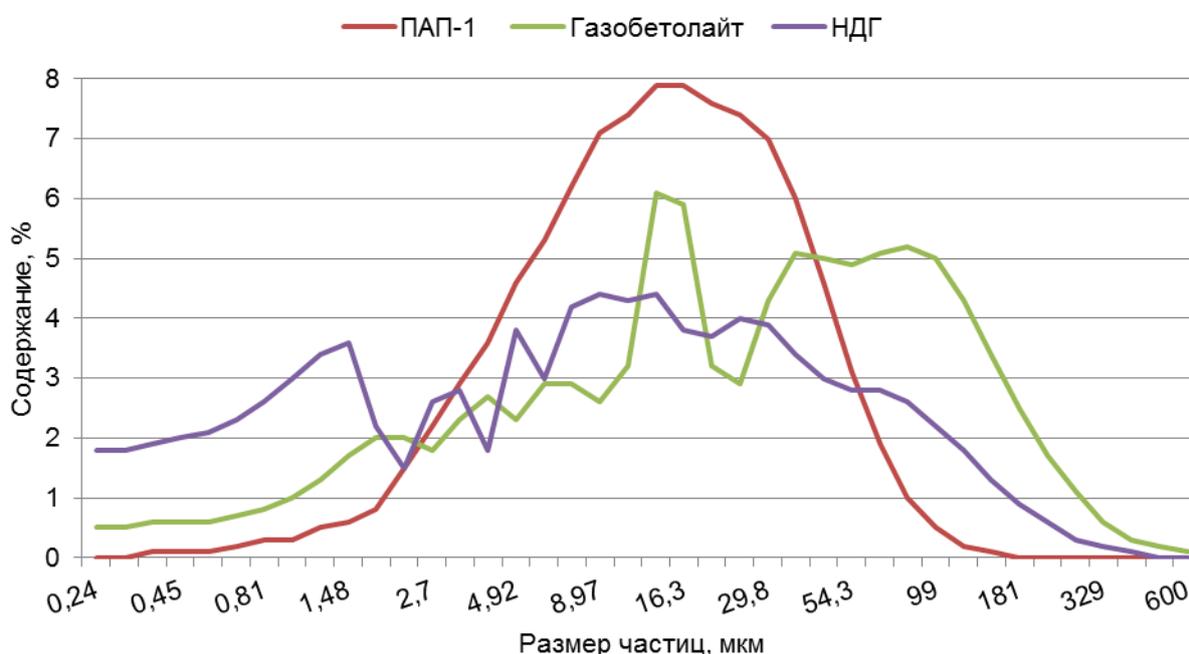


Рис. 1. Распределение частиц по размерам различных газообразователей

Анализ распределения по размерам частиц газообразователей различных производителей показал, что большинство добавок данного функционального назначения являются преимущественно полидисперсными.

Добавка ПАП-1 характеризуется широким пиком в диапазоне частиц от 5 до 90 мкм. У алюминиевой пудры распределение частиц одномодальное. Наибольшее процентное содержание приходится на диапазон от 16 до 30 мкм. Наличие одного пика в диапазоне крупных частиц будет способствовать высокой скорости газовыделения. Этот факт может препятствовать эффективному использованию данного вида газообразователя для получения пеногазобетонов.

График распределения частиц по размерам наноразмерного газообразователя и алюминиевой пасты сходны и характеризуются скачкооб-

разным характером, что связано с полидисперсным составом вещества. При этом в составе НДГ отмечено существенное количество частиц (2–5 %) размерами менее 2 мкм. Такой характер гранулометрии газообразующих веществ будет способствовать равномерному газовыделению в течение достаточно длительного времени.

Определение содержания активного алюминия (табл. 1), производилось с помощью рентгено-флуоресцентного волнового спектрометра, предназначенного для определения массовой доли элементов в металлических и неметаллических образцах, находящихся в твердом, жидком и порошкообразном состоянии. Установлено, что активность алюминия для исследуемых газообразователей соответствует ГОСТ 5494–95. При этом максимальным показателем

активности характеризуется НДГ, минимальным – алюминиевая паста.

Одним из самых важных факторов, влияющих на создание равномерной структуры ячеистого бетона, является кинетика газообразования. При этом данная характеристика не отображена в основном ГОСТ на алюминиевую пудру.

На газообразующую способность влияет ряд факторов. Основные из них – начальная вязкость текучесть смеси, ее температура, скорости образования структуры с определенными механическими свойствами, дисперсность алюминиевой пудры и ее количество, химический состав среды.

Изучение газообразующей способности алюминиевых компонентов проводились с использованием газометрического прибора в щелочной среде.

При анализе газообразующей способности НДГ и традиционно применяемых алюминиевых газообразователей отмечено, что и объем газа и характер течения реакции у всех порообразователей значительно отличается. Анализ газообразователей различных производителей позволил выявить, что традиционно применяемые для получения газобетонов порообразователи, обладают скачкообразным газовыделением. Это приводит к формированию рваных пор в пеногазобетоне.

Алюминиевая пудра характеризуется скачкообразным газовыделением. Было выявлено два основных пика газовыделения в начале реакции: на 4 минуте и с 8 по 10 минуту. При этом алюминиевая пудра позволяет получить максимальное количество газа (табл. 1). Однако, с учетом особенностей реакции газообразования, данный поризатор не пригоден для дальнейших экспериментов, так как не удовлетворяет требованиям материала по формированию равномерно распределенной пористости.

Алюминиевая паста отличается большей стабильностью, выделяет большее количество газа за длительное время. Однако, в процессе газовыделения также наблюдается резкий пик реакции. В течение первых двух минут выделяется до 50 % от общего объема газа. Это негативно скажется на сформированной структуре и приведет к усадке материала.

Нанодисперсный активированный алюминий характеризуется равномерным и длительным протеканием реакции без ярко выраженных экстремумов.

Предложенный газообразователь (НДГ) показал наиболее стабильное выделение газа в течение длительного времени. Это объясняется особенностями гранулометрии изученных газообразователей и его активностью.

Основные изученные характеристики газообразователей приведены в таблице 1.

Таблица 1

Физико-механические свойства газообразователей

Характеристика	Тип газообразователя		
	ПАП-1	НДГ	Газобетолайт
Вид	Пудра	Паста	Паста
Цвет	Светло-серый	Темно-серый	Темно-серый
Диапазон частиц	10-60	1-44	5-60
Средний размер, мкм	28,9	16,2	25,4
Преобладающий (90 %) размер частиц, мкм менее	49,1	40,45	58
Активность, мас. %	98,6	99,6	89
Количество выделяемого газа, мл	300	430	680
Время реакции, мин	14	17	19

Таким образом, нанодисперсный алюминий характеризуется рядом преимуществ по сравнению с классическими газообразователями: устранение пыления; легкость перемешивания за счет гидрофильности продукта; повышенная дисперсность в дальнейшем позволяющая создать более равномерную структуру; плавное газообразование, что приведет к образованию более замкнутой пористости. Все это в конечном итоге будет способствовать формированию равномерной пористости композита, и, как следствие, создаст предпосылки для производства

качественных высокоэффективных ячеистых материалов.

*\*Работа выполнена при финансовой поддержке Министерства образования и науки Российской Федерации: государственный контракт № 16.740.11.0770, соглашение № 14.В37.21.0930, в рамках программы стратегического развития БГТУ им. В.Г. Шухова; при поддержке фонда РФФИ: № 12-08-97603.*

**БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК**

1. Завадский В.Ф., Дерябин П.П., Косач А.Ф. Технология получения пеногазобетона // Строительные материалы. 2003. №6. С. 2–4.
2. Строкова В.В., Бухало А.Б. Пеногазобетон на нанокристаллическом порообразователе // Строительные материалы. 2008. № 1. С. 38–39.
3. Строкова В.В., Ерохина И.А., Бухало А.Б. Неавтоклавный ячеистый бетон на основе сухой строительной смеси // Строительные материалы. 2008. № 1. С. 4–5.
4. Прохоров С.Б. Рынок газообразователей в России. Критерии оценки и тенденции развития // Строительные материалы. 2012. №9. С. 40–42.
5. Прохоров С.Б. Специализированные алюминиевые газообразователи: результаты внедрения и перспективы развития // Строительные материалы. 2009. №10. С. 28–29.
6. Семериков И.С., Вишневский А.А., Запольская А.А. Сравнительная оценка новых газообразователей для производства автоклавного газобетона // Строительные материалы. 2010. №1. С. 47–49.
7. К вопросу о подборе газообразователей для изготовления ячеистобетонных изделий / Л.А.Сулейманова, К.А. Кара, И.Е. Красникова, О.А. Скороходова // Вестник Белгородского государственного технологического университета им. В.Г. Шухова. 2011. №1. С. 20–23.
8. Сулейманова Л.А. Алгоритм получения энергоэффективного газобетона с улучшенными показателями качества // Вестник Белгородского государственного технологического университета им. В.Г. Шухова. 2011. №4. С. 59–61.
9. Сулейманова Л.А., Кара К.А. Оптимизация состава неавтоклавного газобетона на композиционном вяжущем // Вестник Белгородского государственного технологического университета им. В.Г. Шухова. 2012. №2. С. 28–30.
10. Володченко А.Н., Лесовик В.С. Реологические свойства газобетонной смеси на основе нетрадиционного сырья // Вестник Белгородского государственного технологического университета им. В.Г. Шухова. 2012. №3. С. 45–48.
11. Берш А.В., Иванов Ю.Л., Мазалов Ю.А., Глухов А.В., Трубачев О.А. Способ получения гидроксидов и оксидов алюминия и водорода и устройство для его осуществления // Патент России №22278077. Заявл. 11.07.2005. Опубл. 20.06.2006. Бюл. № 17. 12 с.