

Бахтегареева Светлана Илнуровна, магистрант,
Уфимский государственный технический университет

Далецкий Александр Петрович, доцент, кандидат наук,
Уфимский государственный технический университет

ЭФФЕКТИВНОСТЬ ВВЕДЕНИЯ МОЛОТЫХ ОТХОДОВ В СЫРЬЕВУЮ СМЕСЬ ГАЗОБЕТОНА АВТОКЛАВНОГО ТВЕРДЕНИЯ

Аннотация. В статье исследовано влияние введения молотых отходов газобетона в сырьевую смесь автоклавного газобетона. Показано, что добавление тонкоизмельчённых отходов в количестве 5-10 % способствует уплотнению структуры, повышению прочности и снижению теплопроводности материала. Оптимальная дозировка обеспечивает улучшение физико-механических свойств без ухудшения технологических показателей. Метод позволяет эффективно использовать вторичные ресурсы и снижать экологическую нагрузку производства.

Ключевые слова: Газобетон, автоклавное твердение, молотые отходы, вторичные ресурсы, прочность, структура, теплопроводность, эффективность, ресурсосбережение.

Рост объёмов строительства и ужесточение требований к устойчивости производства стимулируют вовлечение вторичных минеральных ресурсов в состав ячеистых бетонов. В технологической цепочке автоклавного газобетона (АГБ) значимую долю составляют возвратные отходы: обрезки, некондиционные блоки, шлам-пульпа резки. Их повторное использование после помола позволяет снизить потребление первичного кварцевого песка, уменьшить образование отходов и потенциально улучшить структуру камня благодаря тонкодисперсной фракции и наличию реакционноспособных фаз [1].

Целью работы является оценка эффективности введения молотых отходов газобетона в сырьевую смесь АГБ и определение диапазона дозировок, обеспечивающих улучшение физико-механических свойств без ухудшения других показателей качества.

Тонкодисперсные отходы, содержащие смесь кварца, продуктов гидратации (C-S-H низкой кристалличности), известковых фаз и остаточных связующих, при введении в базовый состав выполняют две функции [2]:

- функция наполнителя – уплотнение зернового скелета шлама и сдвиг гранулометрической кривой к оптимальной упаковке;

- функция центра кристаллизации – увеличение числа центров кристаллизации тоберморита в автоклаве, что ускоряет и направляет фазообразование.

Предполагаемые эффекты:

- уменьшение доли открытой макропористости и более узкое распределение пор (рост доли 0,1-0,5 мм, снижение доли >1 мм);

- повышение предела прочности на сжатие при неизменной или слегка сниженной средней плотности;

- небольшое улучшение теплопроводности за счёт стабилизации ячеистой структуры;

- при превышении оптимальной дозировки – рост водопоглощения и теплопроводности, снижение прочности из-за «балластного» эффекта инертных частиц и повышения водопотребности шлама.

Базовый состав: кварцевый песок, известь, цемент, гипс, алюминиевая пудра, вода. Вторичный компонент – молотые отходы газобетона (сухие обрезки и шлам после обезвоживания), измельчённые до $d_{50} \approx 10-20$ мкм.



Частичное замещение кремнезёмистой компоненты (песка) молотыми отходами: 0, 5, 10, 15, 20% по массе. Водоцементное соотношение подбиралось для равной реологической подвижности шлама. Газообразование – типовая дозировка Al-пудры с корректировкой под плотность. Автоклавирование – типовый режим (температура 180-190 °С, давление 1,0-1,2 МПа, продолжительность 8-12 ч).

Определение средней плотности в сухом состоянии, предела прочности на сжатие, теплопроводности, водопоглощения, а также оценка распределения пор по размерам (по срезам/изображениям и/или методом капилляриметрии).

Таблица 1 суммирует ключевые показатели для серий образцов с различной долей замещения. Данные демонстрируют наличие оптимума прочности при 5-10% [3].

Таблица 1

Влияние доли молотых отходов на свойства АГБ

Замещение, %	Плотность, кг/м³	Прочность на сжатие, МПа	Теплопроводность, Вт/(м·К)	Водопоглощение, % масс.	Медианный диаметр пор, мкм
0	550	3,50	0,130	28,0	120
5	545	3,90	0,128	27,0	110
10	540	4,10	0,126	27,5	100
15	548	3,80	0,129	29,0	115
20	560	3,20	0,135	31,0	140

Ключевые наблюдения:

1. Прочность растёт до 10% (+17% к контролю), затем снижается, указывая на параболический характер зависимости и наличие оптимума дозировки.
2. Плотность остаётся в целевом классе ($\approx$ D500-D600) с тенденцией к росту при 20% из-за увеличения вязкости шлама и коалесценции пузырьков.
3. Теплопроводность слабо уменьшается при 5-10% (улучшение ячеистой структуры), после 15% – возрастает.
4. Водопоглощение минимально при 5-10%, что согласуется с уменьшением средней поры и ростом доли закрытых ячеек.

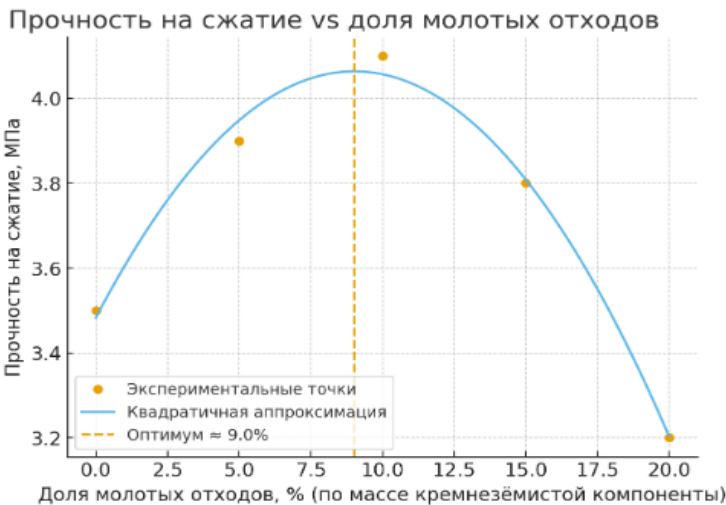


Рисунок 1. График влияния содержания молотых отходов в составе АГБ



Наличие тонкоизмельчённых фрагментов ранее автоклавированного камня повышает число контактных площадок и способствует зарождению кристаллов тоберморита в межпоровых перемышках. При 5-10% формируется более равномерная ячеистая структура, уменьшается средний диаметр пор и число дефектов (слившихся ячеек). Превышение $\approx 10-12\%$ ведёт к росту доли инертных частиц, повышению водопотребности, локальным разупрочнениям.

Важны: удельная поверхность отходов, их влажность и органические примеси; корректировка дозы Al-пудры (газообразование) и воды; интенсивность перемешивания (чтобы не разрушать формирующуюся пену). Поддержание стабильной температуры шлама снижает флуктуации высоты подъёма и геометрических отклонений.

Вариативность состава отходов. Содержание нерастворимых фаз и остаточного вяжущего изменчиво, поэтому требуется входной контроль: гранулометрия ($d_{10}/d_{50}/d_{90}$), реакционная активность (по ускоренному тесту), влажность. Для стабилизации рекомендуется силосирование с усреднением.

Оптимум дозировки. По демонстрационным данным максимум прочности соответствует 8-10% замещения. Для промышленной практики целесообразно рассматривать диапазон 5-10% с обязательной перенастройкой режима газообразования и В/Ц.

Таким образом, введение молотых отходов газобетона в сырьевой состав АГБ является технологически реализуемым инструментом ресурсосбережения и повышения качества. Наиболее вероятный диапазон оптимума по прочности и комплексным свойствам – 5-10% замещения кремнезёмистой компоненты тонкоизмельчёнными отходами. Механизмы улучшения связаны с эффектом наполнителя и каталитическим влиянием на кристаллизацию тоберморита; превышение оптимума приводит к ухудшению структуры. Для промышленной реализации необходимы корректировка реологии шлама, дозы газообразователя, а также регулярный входной контроль свойств отходов.

Список литературы:

1. Куренков В.Ф., Скачков В.М. Технология автоклавного газобетона. – Екатеринбург: УралНИИСтромпроект, 2005. – 312 с.
2. Мчедлов-Петросян О.П., Мухамедиев И.А. Ячеистые бетоны: состав, свойства, применение. – М.: АСВ, 2002. – 240 с.
3. Ramamurthy K., Nambiar E.K.K., Ranjani G.I.S. A classification of studies on properties of foam concrete. Cement and Concrete Composites. – 2009. – Vol. 31. – P. 388-396.

