

УДК 691.327.332

ПОЛУЧЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОГО МОДИФИЦИРОВАННОГО ГАЗОБЕТОНА С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ОТХОДОВ ПРОМЫШЛЕННОСТИ И ВТОРИЧНОГО СЫРЬЯ

¹Серова Р.Ф., ¹Рахимова Г.М., ²Ткач С.А., ¹Стасилович Е.А.,
¹Русанов А.А.

¹Карагандинский государственный технический университет, Караганда,
e-mail: rusanov-1990@mail.ru;

²Московский государственный строительный университет, Москва

Приведена технология производства эффективного модифицированного газобетона с использованием отходов промышленности и вторичного сырья. Разработана технологическая схема приготовления газобетона, модифицированного гидрофобизирующей битумной эмульсией и гидрофобным трегером. Приведены сравнительные характеристики ячеистых бетонов, изготовленных по традиционной и предлагаемой технологии. Сделаны выводы о лучших гидрофизических свойствах модифицированных газобетонов, которые при эксплуатации зданий, построенных из этих материалов, обеспечивают высокий теплофизический комфорт внутри помещений. гидрофобизированные газобетоны выгодно отличаются от газобетонов без добавок. Результаты испытаний показали, что сорбционная влажность гидрофобизированного газобетона ниже на 35-40%. Данное свойство гидрофобизированного газобетона будет способствовать улучшению теплотехнических свойств изделий и конструкций в условиях их эксплуатации.

Ключевые слова: утилизация отходов промышленности и вторичного сырья, гидрофобизация, сорбционная влажность, модифицированный газобетон

OBTAINING EFFECTIVE MODIFIED GAS-CONCRETE USING INDUSTRIAL WASTES AND SECONDARY RAW MATERIALS

¹Serova R.F., ¹Rakhimova G.M., ¹Tkach S.A., ¹Stasilovich E.A.,
¹Russanov A.A.

¹State Technical University, Karaganda, e-mail: rusanov-1990@mail.ru;

²Moscow State Building University, Moscow

The technology of producing effective modified gas-concrete using industrial wastes and secondary raw materials is examined. The technological scheme of preparing gas-concrete, modified water-repellent bituminous emulsion and hydrophobic carrier has been developed. Comparative characteristics of cellular concrete produced by traditional and proposed technologies were listed. Conclusions were made about the best hydro-physical properties of modified gas-concrete, which guarantee high thermo-physical comfort inside buildings. Water-repellent gas-concrete profitably differs from gas-concrete without additives. The results of the tests showed that sorption humidity of water-repellent gas-concrete decreased to 35-40%. This property of water-repellent gas-concrete would improve the thermo-technical properties of products and constructions in operating conditions.

Keywords: industry wastes and secondary raw materials utilization, hydrophobization, sorptive wet, modified gas-concrete

Увеличение потребительского спроса строителей на ячеистобетонные мелкоштучные изделия связано не только с выполнением ряда мероприятий энергосбережения при строительстве и эксплуатации жилых и общественных зданий, но и с повышением качества этого вида стенового материала. Именно ячеистый бетон, обладая уникальными физико-техническими свойствами, такими как пористость, низкая плотность и теплопроводность, паро- и воздухопроницаемость, обеспечивает достаточную теплозащиту и высокую эксплуатационную комфортность помещений и, тем самым, экономическую эффективность использования ячеистобетонных изделий при строительстве и эксплуатации зданий [1, 2].

Для проведения экспериментов и выполнения практических работ в качестве

вяжущего использовали портландцементы заводов ЗАО «Осколцемент» и ЗАО «Ульяновскцемент». Результаты испытаний цементов приведены в таблице 1 (по ГОСТ 310.1 ГОСТ 310.4.84 – «Цементы. Методы испытаний»). Данные цементы, как видно из результатов испытаний, представленных в табл. 1, соответствуют требованиям ГОСТа 10178-85 «Портландцемент, шлакопортландцемент. Технические условия».

В качестве мелкого заполнителя применяли природные кварцево-полевошпатовые пески. Свойства песка определяли методами ГОСТа 8735-88 «Песок для строительных работ. Методы испытаний». Результаты испытаний мелкого заполнителя разных карьеров приведены в табл. 2.

Таблица 1

Результаты испытаний цементов

Завод-изготовитель	Насыпная плотность, кг/м ³	Удельная поверхность, см ² /г	Остаток на сите № 008, %	Нормальная густота цементного теста, %	Предел прочности в возрасте 28 сут, МПа	
					R _{изг}	R _{сж}
ЗАО «Осколцемент» 500-ДО-Н	1095	3150	8,8	26,0	7,4	50,3
ЗАО «Ульяновск-цемент» ЦЕМ I 42,5Н	1100	3200	8,5	27,0	7,8	47,3

Примечание. Сроки схватывания испытанных цементов находились в интервалах: начало – от 3 ч 45 мин до 3 ч 57 мин, конец – от 4 ч 20 мин до 6 ч 50 мин.

Таблица 2

Результаты испытаний песков различных карьеров

Карьер	Характеристика песка				
	Модуль крупности	Насыпная плотность, кг/м ³	Истинная плотность г/см ³	Пустотность, %	Загрязненность, %
ОАО «Хромцовский карьер»	2,1	1510	2,63	43	0,9
ООО «Сычевский ПТК»	2,19	1515	2,63	42	1,0

Пески размалывали в шаровой мельнице до удельной поверхности 2500 – 3000 см²/г по прибору ПСХ – 2. Для приготовления гидрофобного трегера использовали песок и золу-унос ТЭС. Химический состав золы, %: SiO₂ 57 – 63; Al₂O₃ 24 – 26; Fe₂O₃ 4,7 – 7,5; CaO 3,3, – 4,1; MgO 1,1 – 1,3; п.п.п. 1 – 3. Минералогический состав золы, %: полевого шпата 5 – 10; стеклофазы 60 – 65; аморфизированных глинистых частиц 10 – 15, корунда 5 – 10; кальцита, гидрограната, муллита – 3. Содержание SiO₂ + Al₂O₃ + Fe₂O₃ около 70%, содержание SO₃ 3,2 – 3,5%. Зола выдержала испытания на равномерность изменения объема. Удельная поверхность испытанной нами золы находилась в пределах 2800 – 3000 см²/г. В качестве газообразователя применяли алюминиевую пудру марки ПАП-3, отвечающую требованиям ГОСТ 5494. Содержание активного алюминия 82%. Тонкость помола алюминиевой пудры 5000 см²/г.

Обезжиривание алюминиевой пудры проводили водным раствором сульфанола при температуре 60 °С.

Для приготовления битумной эмульсии и гидрофобного трегера использовали битум нефтяной марки БН 60/90, имеющий следующие свойства: глубина проникания иглы пенетromетра при 25 °С – 75 град. Температура размягчения, полученная испытанием на приборе кольцо и шар (К и Ш), – 50 °С. Растяжимость на приборе Фрааса при температуре 25 °С – 55. Температура вспышки – 220 °С. Для затворения бетонной смеси использовалась вода, удовлетворяющая требованиям ГОСТ 23732.

Таким образом, в результате проведенных работ с применением методов математического планирования эксперимента определены оптимальные составы газобетонной смеси для получения бетона с заданными физико-техническими свойствами, составы которых приведены в табл. 3.

Таблица 3

Составы газобетона (средняя плотность 600 кг/м³)

№ п/п	Наименование компонента	Расход материалов на 1 м ³ ячеистого бетона, кг		
		составы		
		1	2	3
1	Вязущее (цемент)	220	200	200
2	Молотый песок	236	236	236
3	Водотвердое отношение (В/Т)	0,32	0,35	0,48
4	Битумная эмульсия *	5,5	5,5	-
5	Гидрофобный трегер*	7,0	7,0	-
6	Негашеная известь	-	22	22
7	Алюминиевая пудра	0,5	0,5	0,43
8	Сульфонол	-	-	0,05

*Примечание. Дозировка в процентах от массы вяжущего.

Способ приготовления гидрофобизированного газобетона включает следующие технологические операции:

– отдозированное количество цемента подается в гидроактиватор, где подвергается активации по установленному режиму (продолжительность активации» 1,5 мин; удельная поверхность вяжущего» 4600 см²/г);

– активированное вяжущее в виде водной суспензии подается в гидродинамический газобетоносмеситель, где совмещается с требуемой порцией молотого песка при контроле водотвердого отношения, которое должно быть в пределах В/Т» 0,3;

– одновременно готовится водная суспензия алюминиевой пудры путем совмещения алюминиевого порошка с 60%-й битумной эмульсией. Битумная эмульсия заранее готовится отдельно в емкости-эмульгаторе. При этом битумная эмульсия выполняет роль поверхностно-активного вещества – как обезжиривателя алюминиевого порошка, то есть достигается смачиваемость алюминиевого порошка за счет удаления парафиновой пленки;

– полученная алюминиево-битумная суспензия подается в гидродинамический сме-

ситель и совмещается со смесью гидроактивированного вяжущего и молотого песка;

– после перемешивания в течение 1,5 – 2 мин вводится гидрофобный трегер и смесь дополнительно перемешивается еще в течение 2 мин;

– готовая бетонная смесь подается на технологическую линию виброформования ячеистобетонных изделий.

Обобщенная краткая технологическая схема приготовления газобетона, модифицированного гидрофобизирующей битумной эмульсией и гидрофобным трегером, приведена на рис. 1.

Опыт получения модифицированного газобетона показал, что процессы газовыделения и набора пластической прочности согласуются между собой по времени. Это позволило применить вибротехнологию с сокращением времени вызревания ячеистой массы до 1 ч.

Сравнительная характеристика газобетонов, полученных традиционным (без гидроактивации вяжущего и модифицирования битумной эмульсией и гидрофобным трегером) и предлагаемым способами, приведена в табл. 4.

Таблица 4

Сравнительные характеристики ячеистых бетонов, изготовленных по традиционной и предлагаемой технологии (плотность бетона 600 кг/м³)

Технология	Время созревания массива, час – мин	Предавто-клавная влажность массива, %	Время запаривания при 0,8 МПа, ч	Прочность на сжатие, МПа	Остаточная влажность ячеистого бетона, %
Традиционная	1,50-2,5	100	14	3,5	40
Предлагаемая	0 – 55	68	10	4,02	27

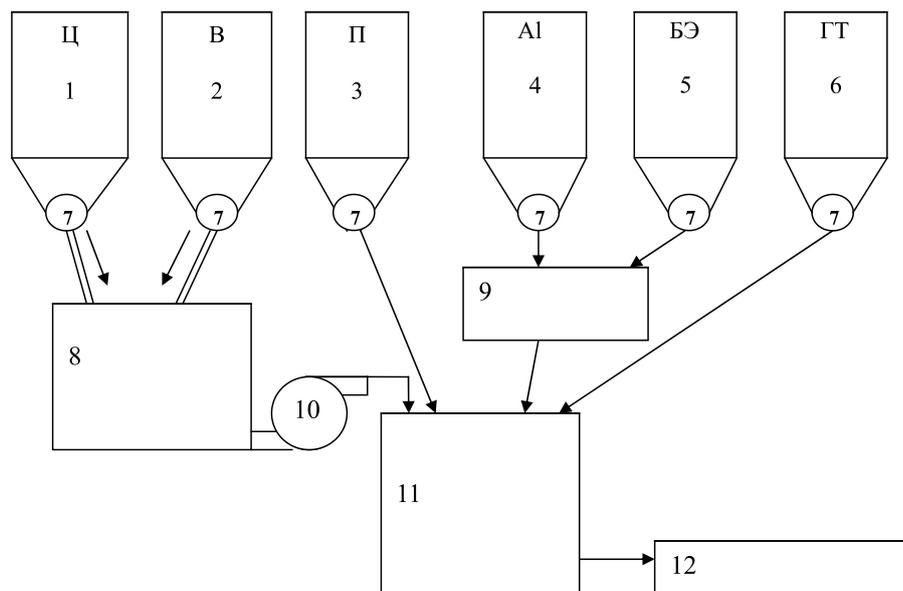


Рис. 1. Технологическая схема получения модифицированного ячеистого бетона:
 1-6 – расходные бункеры (цемент, вода, песок, алюминиевая пудра, битумная эмульсия, гидрофобный трегер); 7 – дозаторы; 8 – гидроактиватор; 9 – суспензия алюминиевой пудры;
 10 – насос; 11 – гидродинамический смеситель; 12 – формы

Из анализа данных таблицы видно, что предлагаемый способ выгодно отличается от традиционного. Новый способ позволяет сократить время созревания массива (почти в два раза и более), снизить технологическую влажность примерно на 30%, сократить продолжительность тепловой обработки в автоклавах на 4 ч (30-35%), снизить расход пара до 15%. Наибольший интерес представляют полученные данные о прочности и остаточной влажности модифицированного газобетона. Прочность повышается на 15 – 20%, остаточная влажность объемно гидрофобизированного газобетона снижается на 30 – 35%. Полученные характеристики модифицированного газобетона позволяют сделать вывод, что предлагаемый способ изготовления ячеистого бетона предпочтительней традиционного.

Эксплуатационные свойства ячеистого бетона в значительной степени зависят от структурных характеристик материала (интегральной и дифференциальной пористости) и особенностей геометрии порового пространства. Для косвенной оценки стойкости ячеистых бетонов, как и других каменных материалов, пользуются различными показателями их физической структуры, такими как плотность, водопоглощение и степень заполнения пор водой, скорость капиллярного подсоса [3-6]. Характеристикой, отражающей способность влаги мигрировать в поровом пространстве яче-

истого бетона, является водопоглощение и капиллярное впитывание. Водопоглощение и капиллярное впитывание воды с модифицированным газобетоном и газобетоном без добавки определяли по известной методике, результаты которой представлены на рисунке 2 и 3. Из результатов эксперимента видно, что модифицированный газобетон имеет улучшенные характеристики водопоглощения и капиллярного подсоса: водопоглощение и капиллярный подсос модифицированного газобетона уменьшаются почти в 2 раза. Это объясняется не только гидрофобными свойствами модифицированного газобетона, но и образованием в нем большей частью относительно замкнутых пор и меньшим диаметром капиллярных пор. Сведения о положительном влиянии относительно замкнутых пор на гидрофизические свойства ячеистого бетона приводятся и в работе А.Р.Ахметова [7], в которой указывается, что капиллярное впитывание воды под вакуумом будет меньше в газобетоне, дифференциальная пористость которого находилась в области от 1,5 до 300 мкм. Таким образом, наши эксперименты по определению водопоглощения и капиллярного подсоса подтвердили результаты, полученные ранее о низкой проницаемости цементного камня с порами меньше 300 мкм. Гидрофобизация еще более снижает водопоглощение и капиллярное впитывание воды газобетоном.

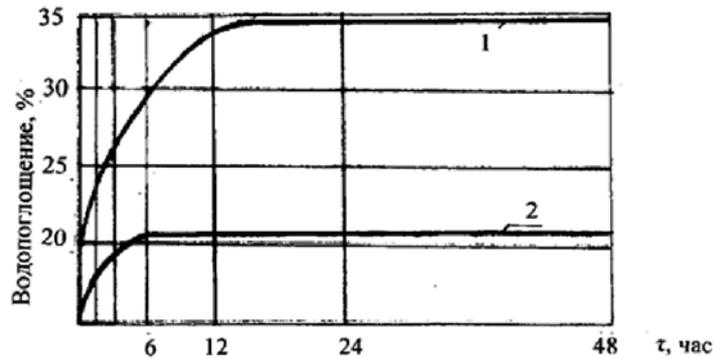


Рис. 2. Кинетика водопоглощения газобетонов средней плотностью 600кг/м^3 :
1 – газобетон без добавок; 2 – модифицированный газобетон

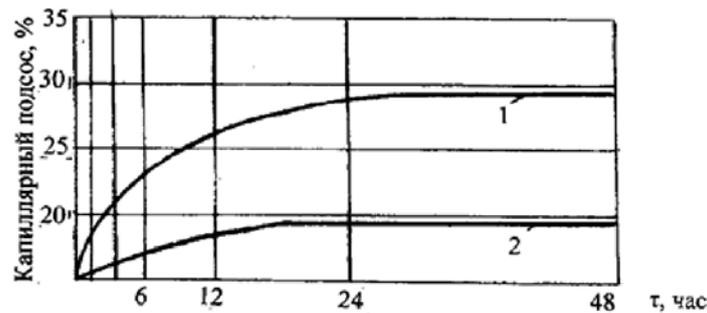


Рис. 3. Кинетика капиллярного подсоса газобетона средней плотностью 600 кг/м^3 :
1 – газобетон без добавок; 2 – модифицированный газобетон

Полученные положительные результаты позволяют сделать вывод о лучших гидрофизических свойствах модифицированных газобетонов, которые при эксплуатации зданий, построенных из этих материалов, обеспечивают высокий теплофизический комфорт внутри помещений.

Сорбционные свойства определяли по стандартной методике в диапазоне изменения влажности материала от 18 до 99%. Процессы сорбции и десорбции водяного пара образцов исследовали по изменению массы.

Найденные значения равновесной и сорбционной влажности материала для соответствующих параметров воздуха, переход от одной точки изотермы к другой осуществляется последовательным увеличением температуры. Результаты испыта-

ний приведены на рис. 4. Из результатов исследований, представленных на рисунке 4, видно, что гидрофобизированные газобетоны выгодно отличаются от газобетонов без добавок. Сорбционная влажность гидрофобизированного газобетона ниже на 35-40%. Данное свойство гидрофобизированного газобетона будет способствовать улучшению теплотехнических свойств изделий и конструкций в условиях их эксплуатации. По классификации Брунауэра, Эммита и Теллера (БЭТ), изотермы сорбции исследуемого модифицированного газобетона относятся ко второму типу, для которого характерно наличие точки перегиба в области малых давлений пара ($10\% < \varphi < 80\%$). Точка перегиба свидетельствует об окончании процесса заполнения пор влагой.

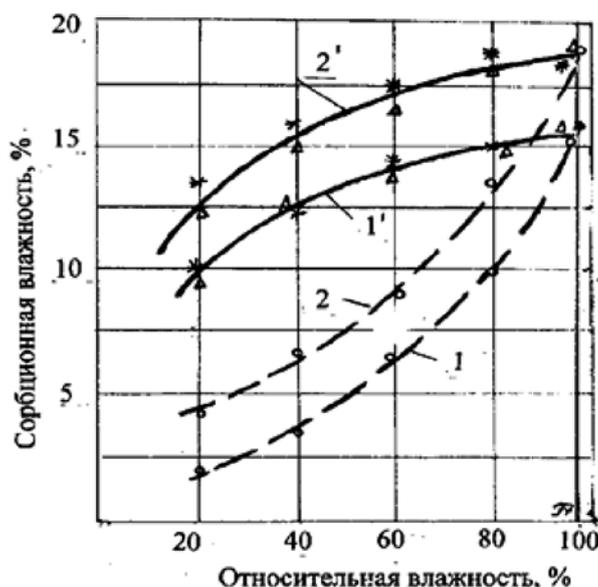


Рис. 4. Сорбционное увлажнение модифицированного газобетона:
 – о-о-о – сорбционная влажность, %; *-*-* – изотерма десорбции;
 Δ-Δ-Δ – изотерма повторной сорбции; 1 – 1' – модифицированный газобетон;
 2 – 2' – газобетон без добавок

Форма сорбции – адсорбции определяется видом внутренней связи влаги с межпоровой поверхностью ячеистого материала. Так, участок изотермы сорбции имеет характерную для мономолекулярной адсорбции выпуклость кривой влагосодержания (кривые 1' и 2', рис. 5). На участке $20\% < \varphi < 60\%$ изотерма сорбции обращена к оси «относительная влажность воздуха», что характерно для полимолекулярной адсорбции. Гидрофобизирующая добавка битумной эмульсии и гидрофобного трегера изменяет процессы мономолекулярной и полимолекулярной адсорбции в сторону их уменьшения, что как показывает практика, является фактором улучшения гидрофизических и других свойств ячеистого бетона.

Применяя модифицированный газобетон с вентилируемой воздушной прослойкой, можно полностью исключить накопление влаги ячеистым бетоном. По сути, в этом случае создаются более предпочтительные возможности получения конкурентоспособных не только строительных материалов, но и жилых зданий и сооружений.

Список литературы

1. Ткач Е.В. Комплексное гидрофобизирующее модифицирование бетонов (монография). – М.: ФГБОУ ВПО МГСУ, 2011. – 232 с.
2. Ткач Е.В., Семенов В.С. Высокоэффективные модифицированные гидрофобизированные бетоны с улучшенными физико-техническими свойствами // Бетон и железобетон – взгляд в будущее. III Всероссийская (II Международная) конференция по бетону и железобетону. – 2014. – С. 113-123.
3. Ткач Е.В., Семёнов В.С. Исследование влияния органоминеральной добавки на эксплуатационные свойства мелкозернистого бетона // Промышленное и гражданское строительство. – 2013. – № 9. – С. 16-19.
4. Ткач Е.В., Орешкин Д.В., Семенов В.С., Грибова В.С. Технологические аспекты получения высокоэффективных модифицированных бетонов заданных свойств // Промышленное и гражданское строительство. – 2012. – № 4. – С. 65-67.
5. Орешкин Д.В., Кириллов К.И., Ляпидевская О.Б. Физико-технические свойства сверхлегких тампонажных растворов // Москва, НТЖ Строительство нефтяных и газовых скважин на суше и на море. – 2006, № 10. – С. 41 – 46.
6. Белухина С.Н., Ляпидевская О.Б., Безуглова Е.А. Строительная терминология: объяснительный словарь. – М.: ФГБОУ ВПО «МГСУ», 2015. – 560 с.
7. Ахметов А.Р. Совершенствование технологии и улучшение свойств ячеистого бетона на сырье Казахстана: автореф. ... докт. техн. наук. – Алматы, 1995. – 45 с.