

УДК 691.327.33

СВОЙСТВА ЯЧЕИСТОГО БЕТОНА ИЗ МЕСТНОГО СЫРЬЯ С МОДИФИЦИРУЮЩИМИ ДОБАВКАМИ

М.Т. Касымова, Н.А. Дыйканбаева

Приводятся сведения о результатах опытных работ по подбору состава неавтоклавного ячеистого бетона.

Ключевые слова: ячеистый бетон; заполнитель; порообразователь; плотность; прочность; добавки.

THE PROPERTIES OF CELLULAR CONCRETE OF LOCAL RAW MATERIAL WITH MODIFYING ADDITIVES

M.T. Kasymova, N.A. Dyikanbaeva

It is provided information of the results of experimental work on the selection of non-autoclaved cellular concrete.

Key words: cellular concrete; aggregate; porogen; density; strength; supplements.

Ячеистый бетон – это искусственный пористый камень, способный плавать в воде, отвечающий всем требованиям нормативных документов, предъявляемым к строительным материалам. Прочность, деформативность, морозостойкость и теплозащитные свойства ячеистого бетона в 2–3 раза выше, чем у кирпича. Стена из этого материала “дышит”, создавая в помещении идеальный микроклимат. Известны два вида этого материала: газобетон и пенобетон.

Важной характеристикой ячеистого бетона является плотность, которая имеет предел от 200 до 1200 кг/м³. Чаще всего для конструктивных элементов используют бетон плотностью, равной 600–700 кг/м³. Чем ниже плотность, тем лучше его теплозащитные свойства и меньше расход материальных, трудовых и энергетических затрат на его производство. Однако имеется фактор, препятствующий снижению плотности. По мнению А. Чернова [1], существует общая закономерность – чем выше пористость (т. е. чем ниже плотность) материала, тем меньше его прочность. Для ячеистого бетона эта зависимость – кубическая, а именно, снижение плотности в два раза приводит к падению прочности в восемь раз. Прочность ячеистому бетону необходима для восприятия им расчетных нагрузок, она регламентируется нормативной и технической документацией в зависимости от вида и назначения изделия. Возможны случаи, когда снижению плотности,

помимо прочности, препятствуют другие факторы. При сравнительно малых расчетных нагрузках, например, в стене одно- или двухэтажного коттеджа, плотность ячеистого бетона, по условиям прочности, могла бы быть и более низкой, но ее невозможно уменьшить из-за недопустимо снижающейся твердости бетона. В других случаях препятствием на пути уменьшения плотности оказывается снижающаяся морозостойкость или недопустимо возрастающая воздухопроницаемость (последнее особо важно для районов с сильными ветрами).

Пористая структура в ячеистом бетоне создается путем поризации газом или пеной. Пенный и газовый способы поризации применялись еще в 1940–1950-е гг. при разработке научно-технических основ технологии ячеистого бетона автоклавного и неавтоклавного твердения [2–4].

Пенная поризация сырьевой смеси заключается во введении в усредненную смесь воздушных пузырьков пены, которую получают из водного раствора пенообразователя заданной концентрации или при интенсивном перемешивании смеси с раствором пенообразователя. Газовая поризация сырьевой смеси заключается во введении в усредненную многокомпонентную сырьевую смесь тонкодисперсной газообразующей добавки (пудра алюминиевая), в результате химической реакции происходит образование мелких пузырьков газа – водорода [5].

Таблица 1 – Составы композиций ячеистого газобетона

№ серии	Соотношение компонентов ячеистобетонной смеси, % по массе												γ, кг/м ³	R _{сж} , МПа
	Алюминиевая пудра	Пен-ноль	Ц	Зола	Песок	Известь	Сода	Glenium	Melment, %	Жид. стекло, %	Гипс, %	В/Т		
1	0,16	1	0,5	0.493	0.246	-	-	-	-	-	-	0,55	888	0,91
	0,16	0,1	0,5	0.249	0.249	-	-	-	-	-	-	0,55	862	1,06
	0,001	1	0,5	0.247	0.247	-	-	-	-	-	-	0,55	1021	1,97
	0,001	0,1	0,5	0.249	0.249	-	-	-	-	-	-	0,55	1100	2,63
	0,16	0,55	0,5	0.248	0.248	-	-	-	-	-	-	0,55	790	0,9
	0,001	0,55	0,5	0.248	0.248	-	-	-	-	-	-	0,55	1063	2
	0,08	1	0,5	0.247	0.247	-	-	-	-	-	-	0,55	981	2,03
	0,08	0,1	0,5	0.249	0.249	-	-	-	-	-	-	0,55	913	1,2
	0,08	0,55	0,5	0.248	0.248	-	-	-	-	-	-	0,55	919	1,35
2	0,08	-	0,3	0.244	0.244	0,20	0,01	-	-	-	-	0,95	530	0,16
	0,08	-	0,3	0.245	0.245	0,20	0,0075	-	-	-	-	0,95	751	0,29
	0,08	-	0,475	0.244	0.244	0,025	0,01	-	-	-	-	0,7	617	0,37
	0,08	-	0,475	0.245	0.245	0,025	0,0075	-	-	-	-	0,65	600	0,26
	0,08	-	0,3	0.245	0.245	0,20	0,0087	-	-	-	-	0,7	648	0,51
	0,08	-	0,475	0.245	0.245	0,025	0,0087	-	-	-	-	0,65	570	0,31
	0,08	-	0,387	0.244	0.244	0,112	0,01	-	-	-	-	0,7	551	0,2
	0,08	-	0,387	0.245	0.245	0,112	0,0075	-	-	-	-	0,7	565	0,24
	0,08	-	0,387	0.245	0.245	0,112	0,0087	-	-	-	-	0,7	648	0,31
3	0,08	-	0,3	0.24	0.24	0,20	0,0075	-	2	-	-	0,7	695	0,35
	0,08	-	0,3	0.243	0.243	0,20	0,0075	-	0,8	-	-	0,7	686	0,29
	0,08	-	0,475	0.24	0.24	0,025	0,0075	-	2	-	-	0,55	762	0,69
	0,08	-	0,475	0.243	0.243	0,025	0,0075	-	0,8	-	-	0,55	625	0,37
	0,08	-	0,3	0.242	0.242	0,20	0,0075	-	1,4	-	-	0,7	722	0,43
	0,08	-	0,475	0.242	0.242	0,025	0,0075	-	1,4	-	-	0,55	617	0,49
	0,08	-	0,387	0.24	0.24	0,112	0,0075	-	2	-	-	0,6	778	0,64
	0,08	-	0,387	0.243	0.243	0,112	0,0075	-	0,8	-	-	0,65	590	0,22
4	0,08	-	0,387	0.242	0.242	0,112	0,0075	-	1,4	-	-	0,65	590	0,15
	0,08	-	0,6	0.179	0.179	0,05	0,0075	-	-	3	-	0,65	553	0,43
	0,08	-	0,6	0.179	0.179	0,05	0,0075	0,8	-	3	-	0,65	539	0,6
	0,08	-	0,6	0.129	0.129	0,05	0,0075	-	0,8	3	-	0,65	540	0,29
	0,08	-	0,6	0.129	0.129	0,05	0,0075	0,8	-	-	-	0,55	731	1,29
	0,08	-	0,6	0.149	0.149	0,05	0,0075	-	0,8	-	-	0,65	467	0,3
	0,08	-	0,6	0.149	0.149	0,05	0,0075	-	-	2	2	0,65	675	1,71
	0,08	-	0,6	0.104	0.104	0,05	0,0075	-	-	2	2	0,65	537	0,62

Каждый из способов поризации имеет положительные и отрицательные стороны. Актуальной и перспективной задачей является совмещение двух способов поризации в один технологический процесс с целью использования положительных эффектов каждого способа. В работе [6] были выполнены промышленные испытания, подтверждающие возможность совмещения двух способов поризации в один технологический процесс приготовления ячеисто-бетонной смеси, для улучшения технологиче-

ских показателей сырьевой смеси и повышения эксплуатационных показателей ячеистого бетона. Технические показатели полученного бетона на 15–20 % выше, чем по традиционной технологии. Это связано с изменением структуры бетона, т. е. размера пор.

Одним из видов ячеистого бетона является неавтоклавный газобетон, технология производства которого является менее энергоёмкой. Основными ингредиентами для приготовления неавтоклавного ячеистого бетона являются вяжущее вещество и на-

полнитель. В качестве вяжущего вещества используется портландцемент, в отдельных случаях он частично (на 20–30 %) может быть заменен молотой негашеной известью. Неплохим наполнителем неавтоклавного газобетона является песок, зола тепловых электростанций (ТЭС или ГРЭС) – либо сухая, либо гидроудаленная (из имеющихся отвалов) [7].

Добавки различных видов: суперпластификаторы, ускорители твердения, воздухововлекающие и минеральные играют все большую роль в обеспечении требуемых свойств ячеистых бетонов. Применение добавок в ячеистых бетонах является одним из эффективных способов регулирования их технологических и технических свойств. Так, в работе Р.Г. Долотовой отмечено, прочность неавтоклавного ячеистого бетона повышается в 1,8–2,6 раза при введении комплексной добавки полуводного гипса 2 % и жидкого стекла в количестве 2 %. Обеспечение необходимой устойчивости поризованных ячеистобетонных масс обусловлено быстрым схватыванием и твердением полуводного гипса, структурирующим поризованную систему, и активным взаимодействием кремнегеля жидкого стекла с гидроксидом кальция. В работах [8–10] показана возможность сочетания различных типов добавок для ячеистых бетонов.

В работе [12] увеличение прочности на изгиб ячеистого бетона при плотности, равной $D 700 \text{ кг/м}^3$ на 25 % достигается при добавке волластонита. Существуют также исследования по применению асбестовых, целлюлозных, лавсановых и других видов волокон для формирования качественной структуры и улучшения свойств ячеистых бетонов. Было установлено, что волокна способствуют значительному упрочнению межпоровых перегородок газобетона, стабилизируют процесс поризации газобетонной смеси и повышают прочность газобетонных изделий [11, 13].

В производстве неавтоклавного газобетона также большое значение имеют противоморозные добавки, которые по механизму действия условно можно разделить на две группы. К первой относятся вещества, понижающие температуру замерзания жидкой фазы бетона и являющиеся либо слабым ускорителем, либо слабым замедлителем схватывания и твердения бетона, т. е. практически не влияющие на скорость структурообразования. К этой группе относятся хлорид и нитрит натрия. Указанные добавки обеспечивают твердение бетона на морозе, главным образом, за счёт сохранения в бетоне незамерзающей жидкой фазы. Ко второй группе относятся противоморозные добавки, которые сильно ускоряют процессы схватывания и твердения, а их растворы имеют достаточно низкую эвтектическую температуру. К этим добавкам принадлежит поташ ($-36,5 \text{ }^\circ\text{C}$). Ускорение твердения бетона вызывается,

главным образом, тем, что эти добавки изменяют растворимость силикатных составляющих цемента и образуют с продуктами его гидратации двойные или основные соли [14].

Наши исследования были направлены на получение и изучение свойств неавтоклавного газобетона из сырьевых материалов Кыргызстана: песка Ивановского месторождения, золы Бишкекской ТЭЦ, Кантского портландцемента М400, алюминиевой пудры ПАП-2 и Курментинской извести. В качестве добавок использованы добавки фирмы BASF: суперпластификатор Melment L10/33, Glenium 111, кальцинированная сода Na_2CO_3 , полуводный гипс и жидкое стекло.

Смесь для ячеистого бетона изготавливалась в лабораторных условиях. Добавки вводились с водой затворения в процентном отношении от содержания цемента. Алюминиевую пудру затворяли в воде $50 \text{ }^\circ\text{C}$. Готовую бетонную смесь заливали в нагретые формочки размером $40 \times 40 \times 160 \text{ мм}$.

В таблице 1 показаны физико-механические свойства ячеистого бетона исследованных композиций.

Первая серия экспериментов была направлена на получение ячеистого бетона совмещением двух способов поризации – пеногазобетона. Плотность полученных образцов находится в пределах от 800 до 1100 кг/м^3 . Максимальная прочность на сжатие достигает 2,63 МПа в составе № 4 при максимальной плотности. Поскольку при совмещении двух способов поризации показатели плотности оказались высокими, дальнейшие эксперименты были направлены на ее уменьшение. В качестве порообразователя использовалась алюминиевая пудра. Добавками являлись известь и кальцинированная сода Na_2CO_3 . В этой серии экспериментов было достигнуто уменьшение плотности до $\gamma = 530 \text{ кг/м}^3$ за счет добавок. Известь и кальцинированная сода улучшают вспучившие теста за счет химической реакции, при которой происходит выделение газа. Показатели прочности являются низкими, самый максимальный показатель прочности на сжатие равен 0,51 МПа в составе с добавкой извести 20 % и соды 0,87 %. Плотность образца равна $\gamma = 648 \text{ кг/м}^3$. Для увеличения прочности на сжатие в предыдущих составах использовали суперпластификатор Melment. Самым лучшим показателем в этом эксперименте был состав № 3 при плотности $\gamma = 672 \text{ кг/м}^3$, прочность на сжатие равна 0,69 МПа.

В четвертой серии экспериментов для увеличения прочности также использовали суперпластификаторы – Melment, Glenium200, полуводный гипс и жидкое натриевое стекло. В 1–3 сериях экспериментов образцы сушились в обычных условиях 28

суток, и как видно из таблицы 1, имели не очень высокие показатели прочности. С целью увеличения их прочности был применен другой вид твердения – тепловлажностная обработка. Образцы пропаривали по режиму 3 часа +1 час до достижения 95 °С. Результаты показателей прочности пропаренных образцов оказались более высокими. Таким образом, результаты эксперимента показали, что пропаривание является более эффективным способом твердения для неавтоклавного ячеистого бетона. Самым высоким показателем прочности обладает состав с комплексной добавкой полуводного гипса 2 % и жидкого натриевого стекла 2 %. При плотности $\gamma = 675 \text{ кг/м}^3$ образцы показали прочность на сжатие, равную 1,71 МПа. Это обусловлено быстрым схватыванием и твердением полуводного гипса и взаимодействием жидкого стекла с гидроксидом кальция с дополнительным образованием гидросиликатов кальция. В этой серии экспериментов также хороший результат показал состав № 4 с суперпластификатором Glenium 111. В этом составе $R_{\text{сжатия}} = 1,29 \text{ МПа}$ при плотности $\gamma = 731 \text{ кг/м}^3$.

Результаты поисковых экспериментов по подбору составов ячеистого бетона показали, что введение различных добавок влияет на изменение физико-механических показателей свойств газобетона. Составы без добавок имеют высокую плотность и низкие прочностные показатели. Установлено, что добавки играют важную роль в обеспечении требуемых свойств ячеистого бетона.

Литература

1. Чернов А. Новые перспективы ячеистых бетонов / А. Чернов. <http://library.stroit.ru/articles/beton/index.html> (дата обращения: 20.10.2013)
2. Кривицкий М.Я. Заводское изготовление изделий из пенобетона и пеносиликата / М.Я. Кривицкий, Н.С. Волосов. М.: Стройиздат, 1958. 159 с.
3. Горяйнов К.Э. Газозолобетон и газозолосиликат / К.Э. Горяйнов. М.: МДНТП им. Ф.Э. Дзержинского, 1959. 32 с.
4. Горяйнов К.Э. Крупные газобетонные стеновые блоки / К.Э. Горяйнов и др. Л.: Госстройиздат, Ленингр. отд., 1959. 104 с.
5. Шахова Л.Д. Пенообразователи для ячеистых бетонов / Л.Д. Шахова, В.В. Балясников. Белгород, 2002. 147 с.
6. Филатов А.Н. Поризация сырьевой смеси в технологии ячеистого бетона / А.Н. Филатов, Т.Н. Вудвуд, В.А. Иваненко // Строительные материалы. 2012. № 11. С. 28–32.
7. Сажнев Н.П. Ячеистый бетон-современный строительный материал / Н.П. Сажнев. п. Чисть, Беларусь. 2003, февраль.
8. Долотова Р.Г. Неавтоклавные ячеистые бетоны с использованием природного и техногенного низкокремнеземистого сырья: автореф. ... канд. техн. наук / Р.Г. Долотова. Томск, 2006.
9. Чернов А. Популярное бетоноведение (все статьи) / А. Чернов, А. Шикирянский, 2005. URL: <http://library.stroit.ru/articles/beton2/> (дата обращения: 20.10.2013).
10. Никифоров А.Н. Повышение эффективности производства ячеистых бетонов с применением химических добавок / А.Н. Никифоров, О.А. Пушкаренко, Н.В. Левченко, Н.А. Матенчук // Теория и практика производства и применения ячеистого бетона в строительстве: сб. науч. трудов. Вып. 2. Днепропетровск: ПГАСА, 2005. 111 с.
11. Ахметов Д.А. Ячеистый бетон для ограждающих изделий высотных зданий: дис. ... канд. техн. наук / Д.А. Ахметов. Алматы, 2010. 31 с.
12. Митина Н.А. Теплоизоляционные материалы на основе дисперсно-армированного газобетона неавтоклавного твердения / Н.А. Митина, В.А. Лотов. URL: <http://www.sts54.ru/public/13.php> (дата обращения: 20.10.2013).
13. Тугарина А.О. Фиброгазозолобетон с использованием продуктов растительных полимеров: автореф. ... канд. техн. наук / А.О. Тугарина. СПб., 2009. 14 с.
14. Рамачандран В.С. Добавки в бетон: справочное пособие / В.С. Рамачандран, Р.Ф. Фельдман, М. Коллебарде и др. М.: Стройиздат, 1988.