

УДК 502/504:691.3:628.4.045

*А. Н. Клюев, канд. техн. наук, доцент**В. Б. Семенов, канд. техн. наук, профессор*

Федеральное государственное образовательное учреждение высшего профессионального образования «Московский государственный университет природообустройства»

ПРОЧНОСТНЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ БЕСЦЕМЕНТНОГО БЕТОНА НА ОСНОВЕ ЩЕЛОЧЕСОДЕРЖАЩИХ ОТХОДОВ НЕФТЕХИМИЧЕСКОЙ ПРОМЫШЛЕННОСТИ

Приведены результаты статистической обработки прочностных характеристик бесцементного бетона на основе щелочесодержащих отходов нефтехимической промышленности.

There are given the results of statistic processing of strength characteristics of the cement-free concrete on the basis of alkali containing residues of the oil and chemical industry.

Перспективным направлением решения проблемы повышения долговечности и обеспечения надежности конструкций, работающих в условиях агрессивной среды, является изготовление их из специальных бетонов, сочетающих химическую стойкость с необходимыми конструктивными свойствами. Конструкции и изделия, выполненные из таких бетонов, не требуют нанесения какой-либо дополнительной защиты как в период изготовления, так и в процессе эксплуатации, что с учетом повышенной долговечности значительно снижает их материало- и трудоемкость. К таким бетонам можно отнести щелочно-силикатный бетон (ЩСБ) автоклавного производства на основе жидкого стекла и перлита [1].

С целью расширения сырьевой базы производства коррозионно-стойких щелочно-силикатных бетонов совместно с лабораторией коррозии Научно-исследовательского института железобетона выполнены исследования по использованию отходов производства катализатора крекинга нефти в качестве компонента вяжущего для щелочно-силикатных бетонов [2, 3]. Установлено, что затворенная водой тонкомолотая смесь из кислого вулканического стекла и щелочесодержащего отхода катализатора крекинга нефти в условиях гидротермальной обработки проявляет

вяжущие свойства и обеспечивает получение бетона с высокой коррозионной стойкостью и повышенными прочностными показателями.

Физико-химическими исследованиями установлено, что в процессе гидротермальной обработки вяжущего компонента образуются низкотемпературный кристобалит, гидроалюмосиликаты и гидросиликаты натрия.

Активность смеси из перлита со щелочесодержащим отходом зависит от их относительного содержания, дисперсности частиц, количества воды затворения и режима автоклавной обработки вяжущего компонента.

Относительное содержание перлита и щелочесодержащего отхода является значимым фактором, определяющим вещественный состав вяжущего компонента и кинетику его твердения. При высоком содержании перлита и малом количестве щелочесодержащего отхода, т.е. при недостатке содержания щелочи, гидратация кислого вулканического стекла происходит не полностью, вследствие чего образуются малые объемы силикоалюмогеля. В результате этого матричный камень получается малопрочным. При избытке щелочи матрица имеет низкую стойкость к воде и растворам кислот, так как высокое содержание щелочи в интермицелярной жидкости приводит, с

одной стороны, к выводу из каркаса силикоалюмогеля кремнезема и синтезу обедненных кремнеземом минеральных соединений, с другой — к образованию водорастворимых гидросиликатов натрия.

Как показали исследования, оптимальным содержанием перлита и щелочесодержащего отхода является 3,8 весовых частей перлита на 1 часть отхода, что обеспечивает получение прочного водо- и кислотостойкого камня [2, 3]. На основе вяжущего компонента разработан состав мелкозернистого щелочно-силикатного бетона для плит пола, панелей и перегородок в зданиях и сооружениях с технологическими кислотными агрессивными средами. Кроме того, высокая стойкость щелочно-силикатного бетона к нефтепродуктам делает перспективным его использование в конструкциях насосных станций.

Оптимизированный по прочности, водо- и кислотостойкости состав щелочно-силикатного бетона включает в себя следующие компоненты (на 1 м³): щелочесодержащий отход — 130 кг (5,8 %); молотый перлит — 520 кг (23,2 %), песок — 1385 кг (61,8 %), вода — 215 кг (9,4 %).

Технология приготовления мелкозернистого щелочно-силикатного бетона аналогична технологии приготовления силикатных бетонов на мелком заполнителе: подготовка вяжущего компонента (дробление перлита и совместный его помол с дозированным щелочесодержащим отходом по дисперсности 4000...5000 см²/г); приготовление мелкозернистой бетонной смеси (дозирование, перемешивание компонентов смеси); виброформование, вибропрессование или прессование бетонной смеси; гидротермальная обработка в автоклавах при избыточном давлении пара 0,8 МПа по схеме «выход на режим (2 ч) + выдержка (8 ч) + выход из режима (2 ч)»; распалубка изделий. После гидротермальной обработки изделия должны быть охлаждены, при этом высокие температурные напряжения исключаются.

Прочностные свойства бетона в условиях климатических и агрессивных воздействий являются его основными характеристиками. Проведенные исследования, результаты которых изложены ниже, показали возможность и целесообразность использования щелочесодержащих отходов в качестве щелочного компонента вяжущего для коррозионно-стойкого бетона.

Исследованиями установлено, что изменений прочностных свойств при длительном хранении образцов практически не происходит. Прочность бетона как после автоклавной обработки, так и через 12 месяцев выдержки в нормальных температурно-влажностных условиях составила: у кубов с размером ребер 70,7×70,7×70,7 мм (R_K^{70}) — 58,6 МПа; у кубов с размером ребер 100×100×100 мм (R_K^{100}) — 53,2 МПа; у кубов с размером ребер 150×150×150 мм (R_K^{150}) — 51,3 МПа; у призм с размером 70×70×280 мм (R_b^{70}) — 50,4 МПа; у призм с размером 100×100×400 мм (R_b^{100}) — 46,3 МПа. Масштабный фактор для кубов из разработанного бетона незначителен. Прочности кубов с разными размерами граней следующие:

$$R_K^{150} : R_K^{100} = 0,96; R_K^{150} : R_K^{70} = 0,88.$$

Соотношение между призмной и кубиковой прочностью также оказалось высоким, например: $R_b^{70} : R_K^{70} = R_b^{100} : R_K^{100} = 0,86...0,87$. Результаты исследования прочностных свойств бетона приведены в табл. 1.

С целью оценки достоверности прочностных свойств рассматриваемого бетона проводили статистическую обработку результатов испытаний на прочность при сжатии образцов — кубов сечением 70,7×70,7×70,7 мм (табл. 2). За все время эксперимента число испытанных в нормальных температурно-влажностных условиях кубов составило 100 шт.

Показатель точности ($p = 0,68$ %) не превышает допустимого значения 5 %, что свидетельствует о достаточной надежности эксперимента. Невысокий разброс показателей прочности бетона,

Таблица 1

Кубиковая и призмная прочность бетона

Вид образца	Число образцов в различных средах	Прочность бетона, *МПа				
		Срок хранения образцов, сут				
		1	30	90	180	360
Куб: 70,7×70,7×70,7	184	56,8	58,2	57,6	61,1	59,3
100×100×100	6	52,5	—	—	—	53,2
150×150×150	6	51,7	—	—	—	50,9
Призма: 70×70×280	30	50,6	48,7	—	51,0	51,3
100×100×400	6	46,3	—	—	—	46,2
150×150×600	6	44,5	—	—	—	44,3
Всего	238					

* Приведены средние значения прочности образцов.

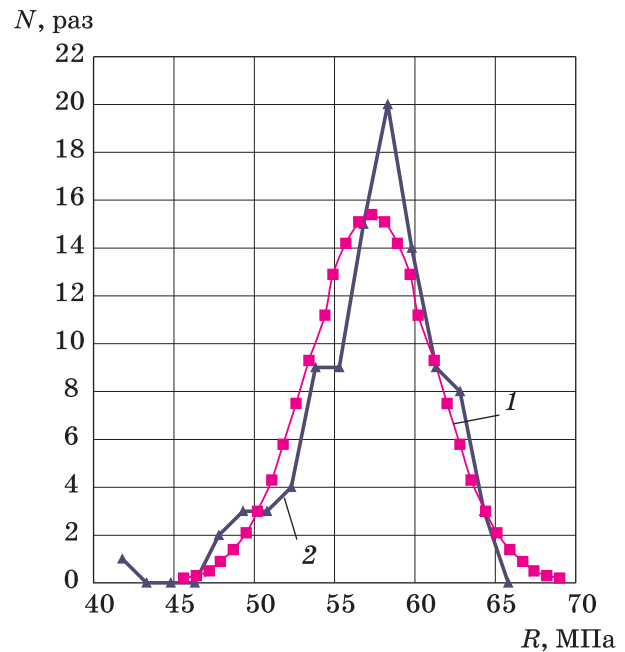
Таблица 2
Результаты экспериментальных исследований

Величина	Обозначение	Число
Количество введенных измерений	N	100
Сумма значений данных, МПа	A_5	5730
Среднее арифметическое, МПа	$A_l(R_k^{cp})$	57,3
Среднеквадратическое отклонение, МПа	$Cl(\sigma)$	3,9
Средняя ошибка среднего арифметического	$m_{R_k^{cp}}$	0,39
Показатель точности, %	ρ	0,68
Сумма разниц текущего и среднего значений	Bl	0,00
Максимальное значение измерений, МПа	$A(R_k^{max})$	65,0
Минимальное значение измерений, МПа	$B(R_k^{min})$	42,5
Показатель асимметрии	A_6	0,63
Средняя ошибка показателя асимметрии	$Ml(m_A)$	0,246
Показатель эксцесса	El	1,24
Средняя ошибка показателя эксцесса	$M2(m_E)$	0,492
Классовый промежуток	Kl	1,5
Высота кривой нормального распределения	Hl	15,4
Коэффициент изменчивости, %	$Vl(\gamma)$	6,8

т.е. низкий коэффициент изменчивости свидетельствует о высокой однородности бетона опытной партии.

Для разработанного бетона по результатам испытаний построена теоретическая и экспериментальная кривая распределения прочности (рисунок). Как видно из рисунка, между теоретической и экспериментальной кривыми распре-

деления имеется соответствие, которое указывает на то, что разброс экспериментальных данных по прочности рассматриваемого бетона подчиняется закону нормального распределения.



Полигон распределения прочности: 1 — кривая нормального распределения; 2 — кривая экспериментальная

Результаты проведенной статистической обработки, а также анализ параметров рассматриваемой совокупности экспериментальных данных позволяют оценить прочность бетона с вероятностью 0,95 для закона нормального распределения следующим образом:

$$B = R^{15}(1 - \chi\gamma) = 0,88R^7(1 - \chi\gamma), \quad (1)$$

где γ — коэффициент изменчивости; χ — число стандартов;

$$B = 0,88 \cdot 57,3(1 - 1,64 \cdot 0,068) = 44,8 \text{ МПа.}$$

Прочность щелочесиликатного бетона, определенная с вероятностью 0,95, позволяет отнести его к бетону класса В40.

Прочность бетона на растяжение, определенная методом раскалывания, для образцов, находившихся в нормальных температурно-влажностных условиях, равна 5,0...5,4 МПа, что выше, чем у бетона класса В60 на портландцементе. У образцов, хранившихся в воде и в 20%-м растворе серной кислоты, прочность на растяжение снизилась соответственно на 53 и 45 %, что можно объяснить взаимодействием свободных щелочей, входящих в состав вяжущего компонента, с водой или кислотой, а также эффектом адсорбционного снижения прочности бетона при его насыщении водой. Прочность сцепления арматуры с рассматриваемым бетоном, хранившимся в нормальных температурно-влажностных условиях, равна 17 МПа, что значительно превышает соответствующие показатели цементных бетонов. Значение начального модуля упругости E_b у образцов, находившихся в нормальных температурно-влажностных условиях, составило $42,3 \times 10^3$ МПа.

Таким образом, использование щелочесодержащих отходов позволяет экономить дефицитные вяжущие мате-

риалы, расширять сырьевую базу для производства коррозионно-стойких изделий и квалифицированно утилизировать вредные для окружающей среды промышленные отходы.

Ключевые слова: щелочно-силикатный бетон, коррозионно-стойкий, компонент вяжущий, прочность кубов, распределение прочности.

Список литературы

1. Клюев, А. Н. Износостойкие щелочесиликатные бетоны [Текст] / А. Н. Клюев, А. Н. Пименов, Е. А. Гузев // Коррозионная стойкость бетона, арматуры и железобетона в агрессивных средах : науч. сб. — М. : НИИЖБ, 1988. — С. 58–62.
2. Шабаев, В. Т. Бесцементный бетон повышенной коррозионной стойкости [Текст] / В. Т. Шабаев, А. Н. Пименов, А. Н. Клюев // Передовой производственный опыт, рекомендуемый для внедрения в материально-техническом снабжении : научно-техн. информ. сб. — Вып. 1. — М. : ЦНИИТЭИМС, 1989. — С. 24–25.
3. Клюев, А. Н. Бесцементный бетон на основе щелочесодержащих отходов нефтехимической промышленности [Текст] / А. Н. Клюев, В. Б. Семенов // Роль природообустройства в обеспечении устойчивого функционирования и развития экосистем : материалы Международной научно-практической конференции. — Ч. 1. — М.: МГУП, 2006. — С. 434–438.