

*Буравчук Н. И., канд. хим. наук,
Южный федеральный университет
Кондюрин А. М., канд. техн. наук, доц.,
Южно-Российский государственный технический университет
(Новочеркасский политехнический институт)
Гурьянова О. В., ст. науч. сотр.
Южный федеральный университет*

МЕЛКОЗЕРНИСТЫЙ БЕТОН НА ОСНОВЕ ВТОРИЧНЫХ ПРОДУКТОВ СЖИГАНИЯ УГЛЯ

dovz-ig@yandex.ru

На основании проведенных экспериментов и данных физико-химических исследований были разработаны составы мелкозернистого бетона. Результаты физико-механических испытаний образцов бетона свидетельствуют о высокой эффективности применения вторичных продуктов сжигания угля Новочеркасской ГРЭС в качестве добавочных компонентов в составе бетонных смесей. Доказана возможность получения на основе цементно-зольных композиций мелкозернистого бетона с прочностью при сжатии М300 и морозостойкостью до 250 циклов. При проведении экспериментов было установлено, что отмечающийся прирост плотности и прочности золобетона обусловлен образованием дополнительного количества новообразований за счет повышения степени гидратации цемента в присутствии тонкодисперсных добавок пуццоланового характера. В заключении были рассмотрены варианты применения разработанных составов зольных бетонов при производстве железобетонных изделий различного назначения.

Ключевые слова: мелкозернистый бетон, вторичные материальные ресурсы, рециклинг, твердение цементного камня

Одной из важнейших задач строительной отрасли является разработка и внедрение ресурсо- и энергосберегающих технологий, предусматривающих широкое применение местного минерального сырья и техногенных продуктов. В соответствии с основными положениями Концепции социально-экономического развития РФ «Стратегии-2020» актуальными становятся вопросы организации производства строительной продукции высокого качества при минимизации расхода природного сырья. В данном контексте ресурсосбережение приобретает всеобъемлющий характер и становится частью современного экономического мировоззрения. Из образующихся и накопившихся отходов самыми многотоннажными являются побочные продукты топливной промышленности [1]. Академик В.И. Соломатов по этому поводу считает, что для эффективного использования техногенного сырья нужен принципиально новый подход к организации его рециклинга в стройиндустрии на основе разработанной системы их санитарно-гигиенической оценки [2].

В ряде работ авторами отмечается, что золы и золошлаки по химико-минералогическому, гранулометрическому и фазово-минералогическому составу во многом идентичны природному минеральному сырью [3-6]. Использование золошлаковых смесей в промышленности строительных материалов, в частности при получении мелкозернистых бетонов, является одним из стратегических путей решения экологической проблемы по улучшению состояния окружающей среды в

зонах работы ТЭС и в регионах с развитой угольной промышленностью [7]. В число таких регионов входит Ростовская область, на территории которой залегают значительные запасы каменных углей и расположены объекты теплоэнергетической отрасли. В связи с этим при разработке составов мелкозернистого бетона рассматривалось применение местных техногенных продуктов, расположенных на территории Ростовской области.

Цель работы – разработка состава мелкозернистого бетона с применением в качестве добавок золошлака; создание ресурсосберегающей технологии производства железобетонных изделий, обладающих повышенными физико-механическими характеристиками и износостойкостью.

Как известно [8], в тяжелых бетонах использование золошлаковых материалов способствует повышению качества многокомпонентной матрицы и, в конечном счете, улучшению строительно-технических свойств готовой продукции. Сотрудниками института высоких температур РАН разработано несколько технологий по применению золошлаковых отходов в производстве строительных материалов [9]. В этом контексте представляет особый интерес выдвинутое предположение о создании в будущем специализированных комбинатов, которые наряду с электроэнергией будут производить глинозем, цемент и др. товарную продукцию строительного назначения. Ввод в состав бетона золы-уноса позволяет сни-

зять опасную концентрацию щелочей в цементе и модифицировать структуру цементного камня. Однако нестабильность химико-минералогического состава и свойств зол ТЭС, как и многих других техногенных материалов [10, 11], сдерживает их применение в производстве бетона вследствие значительных колебаний свойств получаемой на их основе изделий. Данный негативный аспект может быть устранен путем применения дополнительной подготовки рас-

сматриваемых техногенных материалов перед использованием в бетонных смесях.

При проведении экспериментов в качестве техногенных материалов применялись зола-унос и золошлаковая смесь Новочеркасской ГРЭС. При изучении вещественного состава рассматриваемых побочных продуктов в иммерсионных препаратах (рис. 1) были определены: кварц, стеклофаза, гематит, магнетит, полевые шпаты, аморфизованное глинистое вещество, удлинённые игольчатые кристаллы муллита.

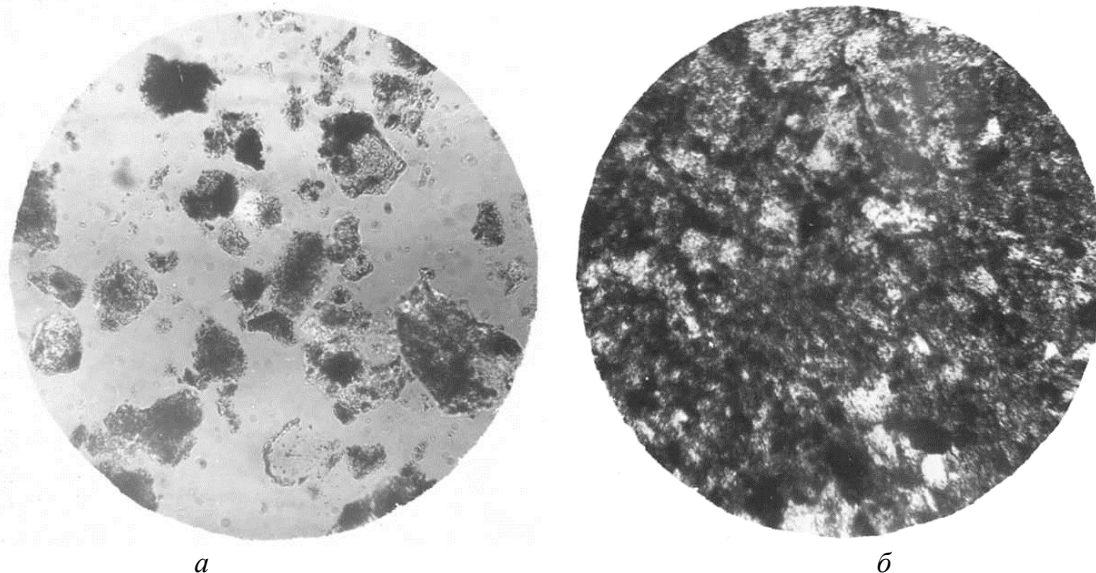


Рис. 1. Микрофотографии золы (а) и золошлака (б) в иммерсии (х63, николи II)

Рентгеноструктурный анализ золошлаковой смеси позволил установить, что кристаллическая составляющая золошлаковой смеси представлена кварцем, тридимитом, присутствуют полевые шпаты в виде альбита, геленит, метакаолинит. Кристаллическая фаза золы представлена в основном кварцем, тридимитом, присутствуют каолинит, полевые шпаты, оксиды алюминия и кальция, карбонаты. Фракция золы с размером частиц менее 0,005 мм представлена аморфизованным глинистым веществом, более крупные частицы – стеклофазой и в сравнительно небольшом количестве кристаллической фазой. Из стекол преобладает стекло алюмосиликатного состава.

Из данных синхронного термического анализа следует, что в интервале температур 20-1000 °С в золе и золошлаковой смеси происходят примерно одни и те же физико-химические превращения. На кривых ДТА наблюдаются следующие пики:

- удаления свободной воды (эндоэффект при 150 °С);
- дегидратации глинистых минералов с выделением конституционной воды и разрушением кристаллической решетки (эндоэффект при 460 °С);
- переход аморфного железа в кристаллическое (эндоэффекты при 130 и 280 °С);
- полиморфное превращение кварца (эндоэффект при 571 °С);

- диссоциация карбонатов, выгорание окислов углерода (эндоэффекты при 680 и 800 °С).

Составы мелкозернистого бетона с использованием техногенного сырья и технологические параметры их получения были отработаны в лабораторных условиях и апробированы на производстве при изготовлении изделий. В качестве активного вяжущего компонента применялся портландцемент М 500 Новороссийского цементного завода. Золошлаковую смесь использовали в качестве однокомпонентного заполнителя без природного песка и крупного заполнителя для получения мелкозернистых бетонов. Содержащиеся в золошлаковой смеси мелкодисперсные фракции золы, мелкие и крупные шлаковые включения способствуют полной замене песка и щебня. Для выбора оптимального количества добавки золы к вяжущему при проведении экспериментов варьировалось отношение «цемент : зола» с последующим определением прочностных показателей бетонных образцов при твердении. Расход наполнителей (зола сухого отбора, молотая горелая порода) составлял от 100 до 250 кг/м³. Для бетонов с повышенным расходом цемента количество вводимого наполнителя возрастало. Водоцементное отношение варьировалось в пределах 0,24-0,45. Для очень жестких смесей, предназначенных для вибропрессования с пригрузом

значение оптимального В/Ц составляло 0,24. В условиях производства формирование контрольных образцов производилось по той же технологии, и с теми же параметрами уплотнения и термообработки, что и конструкции.

Определение физико-механических свойств проводилось на образцах-кубах с длиной ребра 100 мм, призмах квадратного сечения 100x100x400 (мм), цилиндрах с высотой и диаметром 150 мм. Формование и твердение бетонных образцов проводилось в соответствии с ГОСТ 10180-90, пропаривание по режиму: вы-

держка свежесформованных образцов не менее 2-х часов, подъем температуры до начала изотермического прогрева – 3 часа, выдержка при температуре изотермического прогрева -8-9 часов, медленное охлаждение до комнатной температуры. Температура изотермического прогрева – 85-87 °С. В ходе проведения лабораторных испытаний было установлено, что ввод золы-уноса в состав бетона позволяет сэкономить до 50 % цемента. Технологические параметры получения и прочностные показатели бетона в зависимости от соотношения «зола : цемент» приведены в табл. 1.

Таблица 1

Технологические параметры и прочностные показатели бетонных образцов

Марка бетона	Осадка конуса (ОК), см	Соотношение «цемент : зола»	Экономия цемента, на 1 м ³ бетонной смеси		Прочность при сжатии, МПа
			%	кг	
М100	1-3	1:0	-	-	10,8
		1:0,83	20	38	14,8
		1:1,20	30	58	15,3
		1:1,50	40	77	14,8
		1:2,00	50	96	11,4
М200	1	1:0	-	-	24,0
		1:0,62	20	61	28,0
		1:0,85	30	91	25,9
		1:1,11	40	121	23,0
М200	3-5	1:0	-	-	20,6
		1:0,62	20	69	24,5
		1:0,85	30	103	28,6
		1:0,99	40	138	22,5
М300	4-9	1:0	-	-	31,3
		1:0,49	20	91	34,2
		1:0,63	30	137	34,0
		1:0,76	40	182	32,7
М300	4-6	1:0	-	-	30,4
		1:0,49	20	80	32,8
		1:0,63	30	120	34,5
		1:0,83	40	160	32,1

Из табл. 1 видно, что изделия из золобетона классов В7,5-В30 имели запас по прочности 4-40 % при экономии цемента от 10 до 40 %. Наибольший запас прочности наблюдался у низкомарочных бетонов. Результатами лабораторных исследований установлено, что эффективность использования зол повышается при твердении бетона в условиях тепловлажностной обработки (ТВО). Тепловлажностная обработка увеличивает активность всех аморфных фаз зол и шлаков, в особенности спекшихся и остеклованных. При повышенных температурах проявляют активность и некоторые кристаллические компоненты золошлаков (кварц, полевые шпаты, алюмосиликаты кальция). К числу важных факторов, влияющих на прочность и долговечность бетонов и растворов, относится однородность. В качестве критерия для определения однородности бетонной смеси с добавками золы применялась оценка прочностных показателей после твердения. Результатами проведенных исследований установлено, что повышение однородности бетонной

смеси происходит при вводе золы в среднем до 25-27 %. Факт повышения прочностных показателей может быть объяснен увеличением пластичности бетонных смесей. Положительное влияние тонкодисперсной добавки, приводящее к уменьшению деструктивных процессов в бетоне при ТВО, заключается в повышении однородности бетонной смеси. Компактное, сближенное расположение частиц цемента и добавки, уменьшение размеров пор и капилляров существенно ослабляют миграционные процессы внутри материала. Развитая удельная поверхность системы благоприятствует протеканию физико-химических процессов твердения и структурообразования без возникновения дефектов структуры.

В проводимых исследованиях неоднократно проверялись морозостойкость и водонепроницаемость бетонов с добавками золы, испытывались составы, которые эксплуатируются в условиях переменных температур, повышенной влажности и действия агрессивных сред. Все исследуемые составы бетонов с добавками золы выдерживали

испытания на морозостойкость и зачастую превышали проектную марку; коэффициент морозостойкости был на 11-23 % выше, чем у бетона без золы. В табл. 2 приведены сведения о морозо-

стойкости и водонепроницаемости золобетонных в зависимости от марки по прочности, а также рекомендуемая область применения полученных мелкозернистых бетонов.

Таблица 2

Общие характеристики			Прочность при сжатии, МПа				Морозостойкость, марка	Водонепроницаемость, марка	Объемная масса, кг/м ³
Марка бетона	ОК, см	Изделие	Пропаривание	Естественное твердение, сут					
				28	60	180			
M100	3-4	Блоки стен подвалов	12,5	14,2	25,3	26,0	F50	W2	2210
M200	1-3	Перекрытия, балконы	22,8	25,6	35,0	43,4	F200	W6	2150
M150	3-4	Плиты ленточных фундаментов	13,25	20,52	22,24	23,89	F50	W2	2260
M200	5-7	Колонны	17,65	24,65	25,07	26,8	-	-	2250
M250	1	Панели многопустотные	24,78	31,20	38,45	41,22	F50	W4	2340
M300	3-4	Блоки морских сооружений	35,06	34,25	41,42	45,71	F200	W12	2250
M300	3-4	Сваи	35,40	34,57	41,30	43,82	-	-	2290

Анализ табл. 2 показывает, что по морозостойкости золобетоны имеют марку F50-F200, по водонепроницаемости - W2-W12. Основными факторами, положительно влияющими на морозостойкость и водонепроницаемость бетонов с добавками золы являются:

1) уменьшение водоцементного отношения, которое происходит благодаря пластифицирующему действию золы;

2) повышение плотности бетона;

3) снижение водопоглощения;

4) наличие у изделий при проведении испытаний механизма «самозалечивания» возникающих в процессе твердения трещин.

В заключении можно отметить, что наблюдающийся прирост плотности и прочности золобетона обусловлен появлением дополнительного количества новообразований за счет повышения степени вовлечения цемента в гидратацию в присутствии тонкодисперсных добавок пуццоланового характера. Эти гидратные соединения кальматируют микротрещины и поры. По истечении большого количества циклов попеременного замораживания и оттаивания деструктивные процессы начинают превалировать над самопроизвольно идущим процессом «залечивания» трещин, и станут проявляться признаки разрушения бетона. Высокие показатели физико-механических свойств бетона свидетельствуют о том, что в присутствии золы улучшается формирование структуры цементного камня, происходит рост удельной поверхности новообразований, увеличивается число контактов между кристаллами, повышается плотность структуры конгломерата.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Строительные материалы из отходов промышленности / Дворкин Л.И., Дворкин О.Л. – Ростов н/Д: Феникс, 2007. – 368 с.

2. Соломатов В.И. Новый подход к проблеме утилизации отходов в стройиндустрии // Строительные материалы, оборудование, технологии XXI века. – 2000. - №1. – С. 28-29.

3. Абдрахимов В.З., Абдрахимова Е.С. Классификация техногенного сырья предприятий металлургии и энергетики по ее функциональной пригодности в производстве керамических материалов // Известия вузов. Строительство. – 2006. - №1. – С. 36-39.

4. Лемешев В.Г., Петров С.В. Утилизация золы-уноса ТЭС в производстве строительных материалов // Известия вузов. Строительство. – 2002. - №5. – С.46-49.

5. Шпирт М.Я. Утилизация отходов добычи и переработки твердых горючих ископаемых. – М.: Недра, 1991. – 221 с.

6. Шпирт М.Я., Рубан В.А., Иткин Ю.В. Рациональное использование отходов добычи и обогащения углей. – М.: Недра. – 1990. – 224 с.

7. Буравчук Н.И. Ресурсосбережение в технологии строительных материалов. – Ростов н/Д: Изд-во Южного федерального университета, 2009. – 224 с.

8. Прошин А.П., Демьянова В.С., Калашников Д.В. Особо тяжелый высокопрочный бетон на основе вторичного сырья // Экология и промышленность России. – 2003. - №8. – С. 8-9.

9. Делицын Л.М., Власов А.С. Комплексное использование углей ТЭС / Экология и промышленность России. – 2002. - №8. – С. 37-39.

10. Евтушенко Е.И. Учет нестабильности свойств техногенных отходов в производстве строительных материалов // Вестник БГТУ им. В.Г. Шухова. – 2004. - №8. – С. 143-145.

11. Лесовик В.С., Евтушенко Е.И. Стабилизация свойств строительных материалов на основе техногенного сырья // Известия вузов. Строительство. – 2002. - №12. – С. 40-44.