

Получение и применение безобжигового зольного гравия в конструкционных бетонах

Ф. Л. Капустин, И. В. Фомина

Исследовано влияние вида и количества минеральной добавки в составе смешанного вяжущего на свойства безобжигового зольного гравия. Рассмотрена возможность его использования в составе конструкционных бетонов в качестве крупного заполнителя.

Ключевые слова: безобжиговый зольный гравий, добавка, прочность, бетон.

Results of influence kind and amount of mineral admixture on properties of non-calcined gravel are presented. Application possibility non-calcined gravel in structural concretes is shown.

Key words: non-calcined gravel, admixture, strength, concrete.

Введение

Обеспечение строительства наиболее экономичными и прочными материалами — один из актуальных вопросов современности. Если в предшествующие годы искусственные пористые заполнители использовали главным образом для производства ограждающих конструкций (стеновых), то в последнее время доказана особая их эффективность для применения в комплексном строительстве — жилищном, промышленном, в том числе сельскохозяйственном производственном. Это предопределило необходимость разработки искусственных пористых заполнителей, пригодных для изготовления конструкционных бетонов.

Наиболее перспективным материалом для массового заводского производства крупных блоков и панелей, а также объемных элементов является конструкционный бетон на природных и искусственных пористых заполнителях. Уменьшение массы бетона значительно снижает стоимость изделий и строительства. Подсчитано, что при уменьшении массы бетона на каждые 10% стоимость изделий в конструкции снижается на 3% [1].

Строительство современных зданий и сооружений требует применения новых высокопрочных и легких строительных конструкций. Однако предприятия по производству бетонных и железобетонных изделий испытывают дефицит в качественном щебне

и гравии, особенно в регионах, на территории которых нет месторождений высокопрочных горных пород, а перевозка заполнителей к месту использования требует значительных расходов. Альтернативным предложением могут быть искусственные заполнители, среди которых можно выделить керамдор, шлаковый щебень, безобжиговый зольный гравий и др., характеризующиеся достаточно высокой прочностью и морозостойкостью. Безобжиговые заполнители, в отличие от обжиговых, не требуют дополнительных расходов электроэнергии и топлива на производство, а также сложных печных установок с высокой температурой термообработки.

Безобжиговый зольный гравий (БЗГ) — искусственный пористый заполнитель, получаемый в виде гранул из предварительно увлажненной смеси золы-уноса и портландцемента с последующим твердением. Технология производства БЗГ в общем случае состоит из следующих операций: дозирование, смешивание (золы-уноса с цементом), увлажнение смеси и формирование гранул требуемой крупности, их тепловлажностная обработка (ТВО). Для изготовления БЗГ могут использоваться золы или отвалы золы-уноса от сжигания бурых и каменных углей или антрацита [4, 5].

Цель работы — исследование возможности получения высокопрочного БЗГ на основе золы-уноса Рефтинской ГРЭС (гидроэлектростанция) и

Таблица 1

Влияние вида и количества минеральной добавки в составе смешанного вяжущего на свойства золоцементного камня

№	Состав смеси, масс. %						Водопоглощаемость, масс. %	Плотность золоцементного камня, г/см ³
	ЗУ	Смешанное вяжущее						
		ПЦ	ГП	ДГШ	Известь	ФТ		
1	80	20	—	—	—	—	56,6	1,58
2	70	20	10	—	—	—	50,0	1,62
3	55	20	25	—	—	—	44,2	1,64
4	30	20	50	—	—	—	36,0	1,67
5	70	20	—	10	—	—	50,0	1,66
6	55	20	—	25	—	—	45,8	1,74
7	30	20	—	50	—	—	35,6	1,93
8	82	15	—	—	3	—	44,0	1,63
9	80	15	—	—	5	—	44,0	1,65
10	78	15	—	—	7	—	44,0	1,74
11	75	15	—	—	10	—	44,0	1,63
12	77	20	—	—	—	3	43,0	1,73
13	75	20	—	—	—	5	43,0	1,41
14	73	20	—	—	—	7	43,0	1,55

использования его в составе конструктивных бетонов.

Экспериментальная часть

В работе использовали следующие материалы: золу-уноса от сжигания каменного угля Экибастузского бассейна (ЗУ); портландцемент ЦЕМ I 42.5Н производства ОАО “Сухоложскцемент” (ПЦ); песок из отсевов дробления горной породы горнблендита (ГП); доменный гранулированный шлак (ДГШ); известь строительная 2-го сорта; фторангидрит (ФТ), полученный на ОАО “Полевской креолитовый завод”; сульфат натрия (Na_2SO_4) для ускорения твердения цемента.

Зола-уноса от сжигания каменного угля Экибастузского бассейна по химическому составу

является кислот, содержит до 93 % $\text{SiO}_2 + \text{Al}_2\text{O}_3 + \text{Fe}_2\text{O}_3$, тонкодисперсной (удельная поверхность 298 м²/кг). По основным свойствам зола-уноса удовлетворяет требованиям ГОСТ 25818, относится к 3 виду, то есть может применяться в производстве ячеистых и обычных строительных бетонов. Рефтинская ГРЭС выпускает золу по техническим условиям ТУ 5717-004-79935691-2009. Суммарная удельная эффективная активность естественных радионуклидов золы составляет 95,1 Бк/кг, что практически не превышает естественный фон и в несколько раз ниже нормативного значения [3].

Проведенные ранее исследования и производственные испытания показали, что для получения высокопрочного БЗГ в качестве вяжущих материалов необходимо использовать смешанное вяжущее в составе шлакопортландцемента и извести или

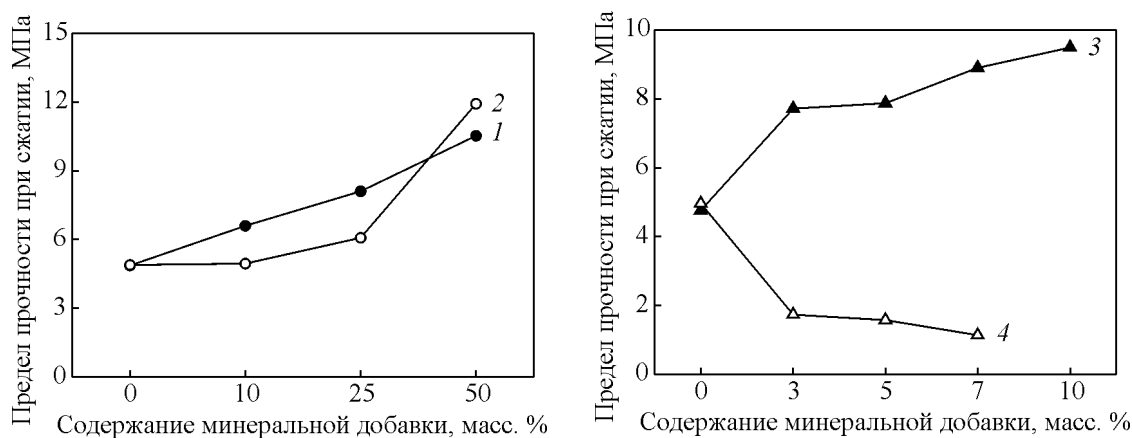


Рис. 1. Влияние минеральной добавки в составе смешанных вяжущих на прочность золоцементного камня: 1 – горная порода; 2 – доменный гранулированный шлак; 3 – известь; 4 – фторангидрит.

Таблица 2

Состав смеси и свойства сырцовых зольных гранул

№	Состав смеси, масс. %					Полный остаток на сите, масс. %		Водотвердое отношение, В/Т	Насыпная плотность, кг/м ³	Точечная прочность, Н/гранула
	ПЦ	ЗУ	ГП	ДГШ	Известь	5 мм	20 мм			
1	20	55	25	—	—	93,6	6,4	26,8	995	1,6
2	20	65	15	—	—	94,6	5,4	24,2	965	4,0
3	20	65	—	15	—	83,8	11,3	25,6	1045	3,2
4	15	78	—	—	7	80,0	7,8	25,8	965	1,3
5	20	80	—	—	—	97,4	10,3	27,1	990	2,1

Таблица 3

Физико-механические свойства БЗГ

Свойства	Номер составов по табл. 2				
	1	2	3	4	5
Насыпная плотность, кг/м ³	901	869	1014	748	1000
Средняя плотность, кг/м ³	1638	1624	1633	1175	1635
Предел прочности при сжатии в цилиндре, МПа	5,6	7,5	5,2	0,8	4,5
Водопоглощение, масс. %	4,60	4,20	2,81	21,59	13,75

портландцемента и строительного гипса. Однако их применение сопровождается длительной предварительной выдержкой зольных гранул и тепловой обработкой БЗГ [1, 2].

Для изучения влияния вида и количества минеральной добавки в составе смешанного вяжущего на свойства БЗГ на основе ЗУ Рефтинской ГРЭС отдельные компоненты размалывали, смешивали с цементом и золой, формовали и определяли прочность золоцементного камня после ТВО (табл. 1). Установлено, что добавка к ПЦ горной породы, ДГШ или гашеной извести снижает водопотребность смеси и увеличивает плотность золоцементного камня. Наибольшую плотность имели образцы, полученные на ПЦ с добавкой ДГШ, низкую плотность — золоцементный камень с добавлением алюмосиликатной ГП. Увеличение количества минеральных добавок до 50% в исследуемых образцах повышает прочность золоцементного камня (рис. 1). При этом наибольшую прочность имел золоцементный камень с добавкой состава: до 30% ГП, 50% ДГШ, 10% гашеной извести.

С добавлением фторангидрита в состав смешанного вяжущего снижается прочность золоцементного камня. Это связано с тем, что цемент и зола имеют щелочную среду, а фторангидрит — кислую, вследствие чего происходит процесс нейтрализации среды [7].

Результаты и обсуждения

На основании полученных результатов были подобраны оптимальные составы смеси, которые

увлажняли водным раствором сульфата натрия и окатывали в гранулы размером 5 – 20 мм с последующей ТВО с выдержкой при температуре 85 °С в течение 6 ч. Установлено, что наибольшую насыпную плотность имеют сырцовые гранулы, полученные из смеси состава 3 с добавкой 15% ДГШ, повышенную прочность — гранулы из смеси состава 2 с добавкой 15% ГП (табл. 2).

Фракционный состав зольных гранул удовлетворяет требованиям ГОСТ 9757.

Физико-механические характеристики заполнителя определяли по ГОСТ 9758. Установлено, что прочность БЗГ состава 2 в 1,3 раза выше прочности всех остальных БЗГ составов 1, 3 – 5 (табл. 3). По ГОСТ 9757 БЗГ, полученный на смешанном вяжущем с добавкой ГП, имеет марку по прочности П300, марку

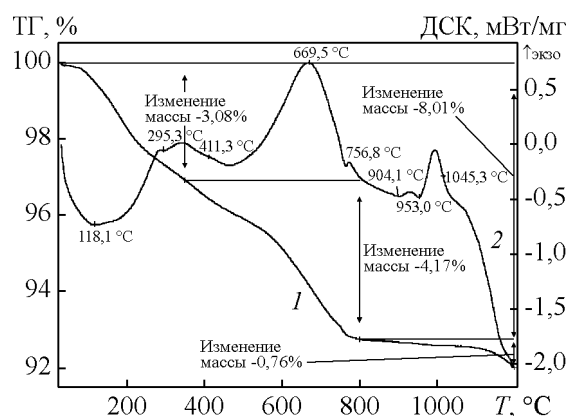


Рис. 2. Результаты дифференциально-термического анализа сырьевой смеси состава 2: 1 — потери массы (ТГ), 2 — тепловые потери (ДСК).

Таблица 4

Физико-механические свойства БЗГ, керамзитового гравия и гранитного щебня фракции 5 – 20 мм

Физико-механические свойства	БЗГ	Керамзитовый щебень по ГОСТ 9757-90	Щебень гранитный
Прочность заполнителя при сжатии в цилиндре, МПа	7,5	3 – 4	—
Марка по прочности	П300	П200	Д400
Насыпная плотность, кг/м ³	869	800	1390
Марка по насыпной плотности	900	800	—
Средняя плотность, кг/м ³	1624	—	2550
Водопоглощение, масс. %	4,20	8 – 20	1,2

Таблица 5

Состав и свойства бетонных смесей и бетонов

№	Расход материалов, кг/м ³						Свойства бетонной смеси		Физико-механические свойства бетонов			
									Плотность, кг/м ³	Предел прочности при сжатии, МПа		Класс прочности бетона
	Ц	П	БЗГ	Щ	Вода	С-3	Подвижность, см	Плотность, кг/м ³		После ТВО	через 28 суток воздушно-влажного хранения	
1	334	932	837	—	191	1,8	5,0	2131	1904	23,0	38,2	В25
2	511	550	819	—	210	3,1	10,5	2055	2038	39,4	53,8	В40
3	293	814	—	1202	173	1,8	5,0	2458	2307	29,3	41,1	В25

по насыпной плотности 900 и марку по морозостойкости свыше F50.

Результаты дифференциально-термического анализа БЗГ, полученного из сырьевой смеси состава 2 содержащего следующие компоненты: 20% ПЦ + 65% ЗУ + 15% ГП + 2% Na₂SO₄ представлены на рис. 2.

Из дериватограмм видно, что при первом глубоком эндотермическом эффекте в интервале температур 110 – 118 °С наблюдается удаление адсорбционной воды и разложение этрингита, образованного в процессе ТВО. В интервале температур 135 – 150 °С формируется гидросульфат алюминат кальция, а в интервале 301 – 313 °С происходит его дегидратация. При втором глубоком эндотермическом эффекте на дериватограмме в интервале температур 460 – 475 °С Na₂SO₄ растворяет Ca(OH)₂ и за счет этого происходит уменьшение содержания Ca(OH)₂. Более того, на дериватограмме состава 2 наблюдается большой экзотермический пик в интервале температур 659 – 669 °С. Этот пик обусловлен полиморфными превращениями кварца, который в большом количестве содержится в золе. В этом интервале температур β-кварц переходит в α-кварц и соответственно в интервале температур 761 – 765 °С α-кварц переходит в α-тридимит. В интервале 904 – 913 °С происходит расстеклование. На дериватограмме в интервале температур 1000 – 10012 °С наблюдается экзотермический пик, который обуслов-

лен выгоранием полукоксовых и коксовых остатков в золе.

В табл. 4 представлена сравнительная характеристика физико-механических свойств БЗГ после ТВО (состав 2), керамзитового щебня и гранитного щебня.

Из табл. 4 видно, что прочность БЗГ превышает прочность керамзитового гравия в 2 раза, насыпная плотность БЗГ ниже насыпной плотности гранитного щебня, что позволяет уменьшить массу бетона и значительно снизить стоимость изделий и строительства. Подсчитано, что при уменьшении массы бетона на каждые 10% стоимость изделий в конструкции снижается на 3% [1].

Подбор составов конструкционных бетонов класса прочности В25 и В40 проводили на БЗГ, полученном из смеси состава 2 (20% ПЦ + 65% ЗУ + 15% ГП + 2% Na₂SO₄) (табл. 5). Так как насыпная плотность и пустотность щебня гранитного и БЗГ разные, то при подборе составов бетонов учитывали то обстоятельство, что в бетонной смеси при равном объеме расход щебня существенно превышает содержание более легкого БЗГ. Установлено, что прочностные характеристики оптимальных составов бетонов на БЗГ соответствуют классам В25 и В40, что позволяет использовать его вместо гранитного щебня.

БЗГ — эффективный заполнитель с высокими физико-механическими характеристиками, величина которых может регулироваться по мере необхо-

димости изменением технологических параметров в зависимости от требований, предъявляемых к готовому продукту. Увеличение прочностных характеристик БЗГ достигается в результате физико-химических процессов гидратированных клинкерных минералов с добавкой сульфата натрия и уплотнением структуры золоцементного камня горнблендитом, который является химически инертным материалам и выполняет роль наполнителя. Частички горнблендита имеют шероховатую поверхность, что способствует лучшему сцеплению частиц с порландцементом.

Заключение

Показана принципиальная возможность получения высокопрочного БЗГ на основе золы-уноса Рефтинской ГРЭС. Подобран оптимальный состав вяжущего и сырьевой смеси, а также условия твердения БЗГ, пригодного для использования в качестве крупного заполнителя в составе конструкционного бетона. Полученный, БЗГ обладает достаточной прочностью для получения бетонов класса В25 и В40 (марки 300 и 500) вместо гранитного щебня.

Прочностные характеристики бетонов на БЗГ подобранных оптимальных составов принципиально соответствуют прочностным характеристикам бетонов на щебне гранитном. Установлено, что гранитный щебень в бетонной смеси занимает

определенный объем при большем расходе, а БЗГ при таком же объеме, который занимает щебень, имеет меньший расход, так как пустотности щебня и БЗГ разные. Поэтому, при меньшем расходе БЗГ можно получить бетоны класса В25 и В40 сэкономить природный заполнитель.

Литература

1. Волженский А.В., Гладких К.В., Юдина А.М. Волженский А.В. Безобжиговые искусственные заполнители для легких бетонов. Строительные материалы, 1970, № 7, с. 80 – 81.
2. Мичкарева В.И., Спектор М.Д., Крайзер А.А. Пористые безобжиговые заполнители для легкого бетона из пылевидных зол ТЭС. Строительные материалы, 1964, № 11, с. 34 – 35.
3. Капустин Ф.Л., Уфимцев В.М. Российские стандарты по использованию золошлаков теплоэнергетики в производстве строительных материалов. Энергетическое строительство, 2008, № 2, с. 36 – 38.
4. Вишня Б.Л., Уфимцев В.М., Капустин Ф.Л. Перспективные технологии удаления, складирования и использования золошлаков ТЭС. Екатеринбург: ГОУ ВПО УГТУ-УПИ, 2006, 156 с.
5. Искусственные пористые заполнители и легкие бетоны на их основе. Под ред. Ю.П.Горлова, С.Г.Василькова, С.П.Онацкого, М.П.Элинзона. М.: Стройиздат, 1987. 304 с.
6. Дворкин Л.И., Дворкин О.Л. Строительные материалы из отходов промышленности. Ростов-на-Дону: Феникс, 2007, 116 с.

Статья поступила в редакцию 15.04.2013 г.

***Капустин Федор Леонидович** — “Уральский федеральный университет имени первого Президента России Б.Н.Ельцина”, Институт материаловедения и металлургии (г. Екатеринбург), заведующий кафедрой, профессор, доктор технических наук. Специалист в области: Химической технологии цемента и изделий на их основе. E-mail: f.l.kapustin@ustu.ru.*

***Фомина Ирина Викторовна** — “Уральский федеральный университет имени первого Президента России Б.Н.Ельцина”, Институт материаловедения и металлургии (г. Екатеринбург), аспирант. E-mail: rivsmolnik@rambler.ru.*