

УДК 504.06

Шацкая В.А., Шитиков Е.С., Шацкий С.В., Беляева Е.А., Лукашов Н.И., Мжачих И.Е.
**РАЗРАБОТКА МЕТОДОВ ПОЛУЧЕНИЯ ЦЕМЕНТО-БЕТОННЫХ МАТЕРИАЛОВ
 ПОВЫШЕННОГО КАЧЕСТВА С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ТЕХНОГЕННЫХ ОТХОДОВ
 ТЭЦ**

Шацкая Виктория Алексеевна – инженер-технолог АО «НПО Стеклопластик»; vshackaya786@gmail.com.

Шитиков Евгений Сергеевич – кандидат технических наук, научный консультант Научно-производственного комплекса «Композит» АО «НПО Стеклопластик»;

Шацкий Сергей Владимирович – инженер-технолог АО «НПО Стеклопластик»;

Беляева Евгения Алексеевна – кандидат технических наук, заведующая лабораторией рулонированных и листовых полимерных материалов АО «НПО Стеклопластик»;

Акционерное общество «НПО Стеклопластик»;

Россия, Московская область, Солнечногорский район, 141551, ПГТ Андреевка, дом 3А.

Лукашов Николай Игоревич – аспирант кафедры технологии переработки пластмасс.

Мжачих Иван Евгеньевич – соискатель кафедры технологии переработки пластмасс;

ФГБОУ ВО «Российский химико-технологический университет им. Д.И. Менделеева»;

Россия, Москва, 125047, Миусская площадь, дом 9.

В статье представлены результаты исследований по определению условий для замены до 40 масс.% дорогостоящих цементных вяжущих на техногенные отходы (летучие золы-уноса) теплоэлектроцентрали с целью разработки облегченных золобетонов с повышенными на 20-50% эксплуатационными свойствами по сравнению с серийно выпускаемыми бетонами.

Ключевые слова: летучие золы-уноса, цементно-бетонные смеси, активированная вода, силикатные наночастицы.

**DEVELOPMENT OF METHODS FOR PRODUCING HIGH-QUALITY CEMENT-CONCRETE
 MATERIALS USING TECHNOGENIC WASTE OF THERMAL POWER PLANT**

Shatskaya V.A.¹, Shitikov E.S.¹, Shatsky S.V.¹, Belyaeva E.A.¹, Lukashov N.I.², Mjachih I.E.².¹ АО «НПО Стеклопластик», Moscow region, PGT Andreevka, Russian Federation² D. Mendeleev University of Chemical Technology of Russia, Moscow, Russian Federation.

The article discusses the results of studies to determine the conditions for replacing up to 40 wt.% of expensive cement binders with industrial waste (fly ash) from thermal power plants in order to develop lightweight ash concrete with increased performance properties by 20-50% compared to commercially produced concrete.

Key words: fly ash, cement – concrete mixtures, active water, silicate nanoadditives.

Введение

Техногенные отходы, работающих на твердом топливе ТЭЦ (летучие золы-уноса (ЗУ)), представляют собой мировую экологическую проблему. Многие промышленно развитые страны в последние годы успешно, до 90-100 % вовлекают ЗУ в свой хозяйственный оборот в качестве вторичного сырья преимущественно в строительной индустрии при производстве строительных смесей для бетонов, в которых дорогостоящие цементные вяжущие заменены на ЗУ. В России в настоящее время отсутствуют, как показано на рис.1, промышленные технологии производства бетонов, в которых цементные вяжущие заменены на ЗУ более, чем на 10 %.

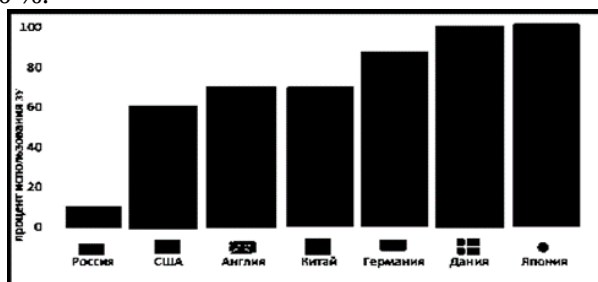


Рис. 1. Процент использования ЗУ ТЭЦ в разных странах по состоянию на 2021 г

В этой связи целью настоящих исследований является разработка экспериментальных образцов цементно-бетонных смесей для бетонов с улучшенными эксплуатационными свойствами при использовании ЗУ в количестве не менее 40 масс. % от массы цемента – золобетоны.

Экспериментальная часть

Анализ литературных источников [1–6] показал, что применение известных методов повышения количества ЗУ в строительных смесях не приводит к желаемому результату в основном по причине того, что ЗУ характеризуются сравнительно слабой гидравлической активностью. Поэтому в работе применен простой и недорогой способ активации частиц ЗУ с помощью специально подготовленной воды затворения (H₂O активированная), а также использования малых доз силикатных наноматериалов (НМ). Известно, что активированную воду (H₂O акт) получают в недорогих устройствах-активаторах, принцип работы которых базируется на магнитной обработке, механической обработке (посредством высокоскоростных мешалок), на акустическом или гидродинамически -кавитационном воздействии и др. [7, 8].

В работе использован лабораторный активатор ультразвукового воздействия, представляющий собой квадратный сосуд на объем воды 10-12 литров, на дне которого расположен плоский двухступенчатый излучатель ультразвука. Качество активации воды зависит от количества воды в сосуде и времени работы излучателя. В широкой серии предварительных экспериментов были выявлены основные параметры, определяющие оптимальные условия активации ЗУ, которые обеспечивают достижение поставленной цели:

- водоцементное отношение (В/Ц), которое для базовой системы (цемент– вода затворения) составляет 0,4 [2, 9].
- водородный показатель H_2O активированной (рН), на котором практически немедленно отражается измененная структура активированной воды;
- вид и количество силикатных наноматериалов (НМ);

В настоящей работе на примере широкодоступных исходных компонентов представлены типичные

исследования по определению влияния вышеуказанных параметров на эксплуатационные свойства экспериментальных образцов золобетонных.

В работе использовали: портландцемент ПЦ-500-ДО-Н; кремнеземсодержащие добавки: ЗУ Каширской ТЭЦ; силикатные НМ марок Т150 Таркосил и МК-85; вода московской водопроводной сети; вода активированная (Таблица 1).

Изготовление образцов базового состава производили по стандартной технологии производства бетонов [9]. При изготовлении образцов с использованием H_2O акт. была добавлена операция активации воды, а также введения в нее НМ. Критериями оценки свойств экспериментальных образцов служили физико-механические показатели бетонов, прежде всего прочность при сжатии ($\sigma_{сж}$), определяемые в соответствии с ГОСТ 10180-2000 (Таблица 2).

Таблица 1. Содержание основных химических веществ в используемых материалах

Используемый материал	Химические вещества, масс. %					
	Двуокись кремния	Двуокись кальция	Окись алюминия	Окись железа	Окись магния	Сумма окисей натрия и калия
Портландцемент	65,1	21,3	5,4	3,8	2,9	0,9
Зола-уноса	57,7	2,4	26,4	5,6	0,9	0,8
Т150 Таркосил	98	–	2	–	–	–
МК-85	95	3	–	–	–	2

Таблица 2. Влияние вида и количества воды затворения на процент использования золы-уноса в экспериментальных образцах золобетонов

Содержание цемента ПЦ-500-ДО-Н в смеси, %	Содержание золы-уноса в смеси, %	Тип воды и В/Ц	Физико-механические показатели экспериментальных образцов	
			Прочность при сжатии после 28 суток твердения, МПа	Плотность образцов, кг/м ³
100	0	Обычная; 0,4	39,5	2250
90	10	Обычная; 0,44	41,0	2120
80	20	Обычная; 0,46	23,2	1920
80	20	Актив.; 0,44	48,1	1940
70	30	Актив.; 0,47	50,2	1860
60	40	Актив.; 0,5	55,0	1710
50	50	Актив.; 0,58	39,8	1680

При использовании активированной воды в нее вводили силикатные наночастицы в оптимальном количестве. Водородный показатель использованных вод затворения находился в оптимальном диапазоне.

Как видно из данных таблицы 2, при использовании обычной водопроводной воды затворения ввести в базовую цементобетонную смесь ЗУ более 10 масс. % без потери эксплуатационных свойств бетонов не удастся. При

использовании активированной воды возможно введение в базовую систему до 40 % ЗУ, при этом не только возрастает количество использованных техногенных отходов, но и значительно улучшаются физико-механические показатели экспериментальных образцов золобетонов.

Данные таблицы 2 свидетельствуют также о том, что введение ЗУ до 40 масс. % при использовании активированной воды с силикатными НМ позволяет

получить золобетоны с повышенными свойствами при увеличении В/Ц не более 12 масс. %.

Ниже представлены результаты исследований по влиянию показателя pH воды на физико-механические свойства бетонов (рис. 2).

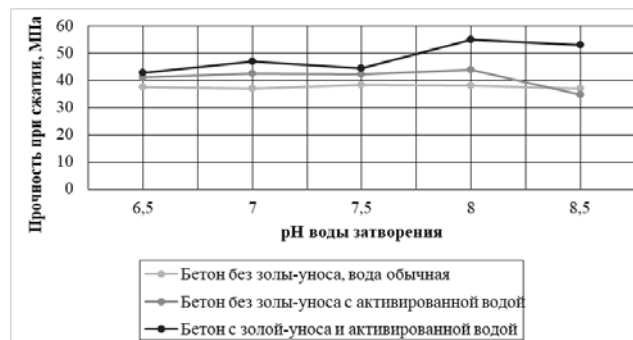


Рис. 2. Влияние показателя pH воды затворения на прочность при сжатии образцов в 28 суточном возрасте (изготовлены 5 порций воды как обычной, так и H₂O акт. со значениями pH: 6,5; 7; 7,5; 8 и 8,5)

Данные рисунка 2 свидетельствуют о том, что показатель pH обычной воды затворения практически не влияет на $\sigma_{сж}$ образцов бетонов, в то время как pH активированной воды существенно (до 20 % и более) меняет $\sigma_{сж}$ соответствующих образцов золобетонов, причем оптимальные значения показателя pH активированной воды, позволившие ввести 40 % ЗУ в цементобетонную смесь, находятся в диапазоне 7,85÷8,5. Кроме того, из рисунка 2 видно, что применение активированной воды положительно влияет на прочность при сжатии образцов бетонов, изготовленных на основе базовой системы (без добавок ЗУ).

Известно, что использование частиц нанодисперсного размера (менее 100 нм) в технике строительных материалов благотворно влияет практически на все эксплуатационные характеристики соответствующих изделий [5, 6].

Поэтому в настоящей работе были использованы наночастицы силикатного типа как наиболее близкие

по химическому составу к основным компонентам: T150 Таркосил™ и МК-85. Расчетное количество порошков нанокремнезёмов вводили в ¼ часть активированной воды, необходимой для затворения водоцементной смеси. В отличие от простой воды из сети, в активированной воде силикатные наночастицы распределялись по всему объёму практически мгновенно без дополнительных усилий, образуя устойчивую равномерную суспензию. Затем эту суспензию смешивали со всем объёмом воды затворения. Результаты испытаний прочности на сжатие образцов золобетонов, содержащих 40 масс. % ЗУ при варьировании количества нанокремнезёмов от 0,003 % до 0,009 %, представлены на рисунке 3.

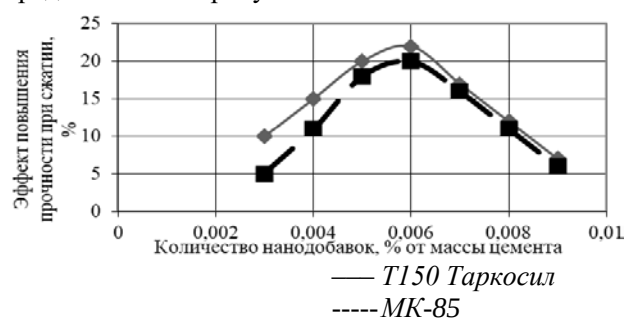


Рис. 3. Зависимость относительного увеличения прочности при сжатии экспериментальных образцов золобетонов в 28 суточном возрасте от количества силикатных нанодобавок

Как видно из данных рисунка 3, наибольших значений прочности при сжатии экспериментальные образцы золобетонов достигают при содержании в них наночастиц, равном 0,005-0,006 % от массы цемента.

Ниже представлены сравнительные свойства образцов бетонов базового состава и золобетона (Таблица 3).

Таблица 3. Сравнительные свойства бетонов на основе смесей обычного портландцемента (I) и экспериментальных золобетонов (II) с 40 % ЗУ Каширской ТЭЦ

№ п/п	Наименование показателя	Бетон I	Бетон II (золобетон)
1	Прочность при сжатии, МПа	32-42	48-55
2	Плотность, г/см ³	2,2-2,5	1,7-1,9
3	Теплопроводность	0,5	0,35
4	Водопроницаемость (Класс W)	8-10	14-16
5	Морозостойкость (Ф)	200-300	300-400

Данные таблицы 3 свидетельствуют о том, что изготовленные образцы золобетона с 40 %-м содержанием ЗУ обладают:

- повышенной прочностью на сжатие – на 18-20 %;
- пониженной плотностью – на 10-15 %;
- пониженной теплопроводностью – на 20-25 %;
- пониженным водонасыщением – в 1,5-2 раза.

Заключение

1. Установлен оптимальный диапазон показателя pH активированной воды затворения (7,85÷8,5), который обеспечивает получение экспериментальных образцов золобетонов повышенного качества при введении 40 масс. % ЗУ в цементобетонную смесь.

2. Установлено оптимальное количество силикатных наночастиц (0,005-0,006 % от массы цемента) для получения образцов золобетонов с повышенными эксплуатационными свойствами.

3. Показано, что применение активированной воды с установленным показателем pH и суспензии наночастиц в оптимальном количестве повышает водоцементное отношение не более, чем на 12 %.

4. Изготовлены облегченные экспериментальные образцы золобетонов с улучшенными эксплуатационными свойствами и пониженной стоимостью, что является основанием для решения двуединой задачи – ускоренной утилизации техногенных отходов ТЭЦ и организации производства облегченных золобетонов с повышенными эксплуатационными характеристиками.

Список литературы

1. Гергичны З. Зола уноса в составе цемента и бетона (перевод с польского) / З. Гергичны. – СПб.: ЗАО «ПрофЦемент-Вектор», 2013. – 189 с.

2. Тарасова А.Ю. К вопросу замены части цемента в бетоне золой-уноса / А.Ю. Тарасова, И.А. Грановская, Г.С. Рояк. – AL-IT inform, 2007. – №1101. – С. 69–70.

3. Рояк Г.С. Новые добавки для пластификации бетонов / Г.С. Рояк, И.В. Грановская и др. // –

Научные труды ОАО ЦНИИС, вып. 236, 2006. – С. 44–50.

4. Гордеева Е.В. Некоторые особенности взаимного влияния добавок к цементам и бетонным смесям на подвижность и прочность бетонов / Е.В. Гордеева, Л.И. Алибастрова, Е.С. Шитиков, П.А. Зайцев // – Научные труды ОАО ЦНИИС, вып. 239 («Технология, прочность и долговечность строительных материалов для транспортного строительства»), 2007. – С. 140–148.

5. Тевяшев А.Д. О возможности управления свойствами цементобетонов с помощью наномодификаторов / А.Д. Тевяшев, Е.С. Шитиков // – Восточно-европейский журнал передовых технологий // – Харьков, 2009. – № 4/7 (40) – С. 35–40.

6. Пузач В.Г. Наноматериалы в производстве строительных бетонов / В.Г. Пузач, Н.Н. Шустров, Е.С. Шитиков // – Нанотехника. Инженерный журнал. 2013. – № 1. – С. 87–92.

7. Червяков В.М. Использование гидродинамических и кавитационных явлений в роторных аппаратах / В.М. Червяков, В.Г. Однолько. – М.: Машиностроение, 2008. – 116 с.

8. Шитиков Е.С. Активированная вода – фактор повышения прочности бетонов / Е.С. Шитиков, Е.В. Гордеева // – Транспортное строительство, 2019. – № 6. – С. 16–19.

9. Баженов Ю.М. Технология бетона / Ю.М. Баженов. – М.: Изд-во АСВ, 2011. – 528 с.