

УДК 691.263. 5

ВЛИЯНИЕ ЗОЛОШЛАКОВЫХ ОТХОДОВ НА СВОЙСТВА ГИПСОВОГО ВЯЖУЩЕГО**Я.Д. МАЦКЕВИЧ, М.П. ТОЛМАЧ, Лю ЦЗЯНИНЬ**
(Представлено: канд. техн. наук, доц. Л.М. Парфенова)

В статье приведены результаты исследований влияния торфодревесной золы на сроки схватывания, консистенцию и водопоглощение гипсового вяжущего и водостойкость гипсового камня. Показано, что количество торфодревесной золы не должно превышать 20 % от массы гипсового вяжущего.

Утилизация промышленных отходов минерального происхождения путем их применения в качестве сырьевых компонентов строительных материалах является актуальным направлением исследований современной строительной науки, решающей задачи энерго- и ресурсосбережения в строительстве.

Исследованию вопросов применения промышленных отходов в составе композиционных гипсовых вяжущих (КГВ) посвящены работы Волженского А.В. [1]. Полученное вяжущее является быстротвердеющим (начало 4, конец 20 мин) и водостойким ($K_p = 0,75-0,85$), бетоны на основе КГВ показали прочность до 8 МПа через 2 часа [1]. Чернышевой Н.В. [2] предложено в составе КГВ использовать отходы мокрой магнитной сепарации железистых кварцитов, что позволило получить предел прочности на сжатие 22 МПа и коэффициент размягчения составляет 0,8. В работе [3] предложены составы композиционного гипсового вяжущего состоящего из гипсовой штукатурки, таурита марки «ТС-D» и кремнезёмсодержащей добавки, обеспечивающие показатели предела прочности на сжатие 5,4 МПа, коэффициент размягчения – 0,45. Керамзитовую пыль и гранулированный доменный шлак предложено использовать в качестве минеральной добавки в гипсовое вяжущее в работе [4]. Показано, что разработанная минеральная добавка позволяет получить гипсовый камень с пределом прочности на сжатие 30 МПа. Композиционное гипсовое вяжущее с минеральной добавкой керамзитовой пыли и отсеков мелкозернистого бетона исследована в работе [5], установлено, что данные отходы способствует увеличению прочности на сжатие до 28,1 МПа.

Целью настоящих исследований является изучение физико-механических свойств гипсового вяжущего с минеральной добавкой, представляющей собой золошлаковые отходы.

Характеристика материалов и методика проведения исследований. Для проведения экспериментальных исследований использовался гипс строительный «Тайфун Мастер» № 35 марки Г-5 ША производства ООО «Тайфун» по ГОСТ 125 [6], в качестве минеральной добавки - золошлаковые отходы. Золошлаковые отходы образуются на Белорусской ГРЭС г.п. Ореховск Витебской области при сжигании топливной смеси из 50% древесной щепы и 50% торфа (рисунок 1).



Рисунок 1. – Сырьевой склад Белорусской ГРЭС в г.п. Ореховск

Химический состав золошлаковых отходов представлен в таблице 1.

Таблица 1. – Химический состав золошлаковых отходов Белорусской ГРЭС (мас.%)

SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	CaO	MgO	Na ₂ O	K ₂ O	TiO ₂	P ₂ O ₅	SO ₃	ППП
87.62	4.39	1.08	3.08	0.55	0.61	1.79	0.24	0.19	<0.10	0.07

Золошлаковые отходы высушивали при температуре 120°C. В экспериментах использовалась фракция, прошедшая через сито № 008, согласно ГОСТ 25818 [7] – это зола-уноса (далее по тексту зола) с характеристиками, представленными в таблице 2.

Таблица 2. – Характеристика торфодревесной золы

Насыпная плотность, кг/м ³	Плотность зерен, кг/м ³	Нормальная густота, %	Удельная поверхность, м ² /кг	Влажность, %
960	2300	24,5	200	6

Внешний вид торфодревесной золы показан на рисунке 2.



Рисунок 2. – Торфодревесная зола

Определение физико-механических характеристик гипсового вяжущего с золой выполнялось по методике ГОСТ 23789-2018 [8].

Экспериментальные исследования. Определение сроков схватывания гипсового вяжущего с золой выполнялось по методике ГОСТ 23789-2018 [8]. Предварительно было определено количество воды для затворения гипсового вяжущего, равное 68 %, обеспечивающее стандартную консистенцию (180 мм по диаметру расплыва цилиндра). Далее в гипсовое вяжущее добавлялось 10%, 20%, 30%, 40%, 50% золы от массы гипсового вяжущего и определялся диаметр расплыва и сроки схватывания. Результаты эксперимента представлены в таблице 3.

Таблица 3. – Влияние золы на сроки схватывания и консистенцию гипсового теста

Номер состава	Количество золы, % от массы гипсового вяжущего	Водогипсовое отношение В/Г	Диаметр растекания гипсового теста, мм	Время схватывания, мин.-сек.		Время структурообразования, мин.-сек.
				начало	конец	
1	-	0,68	180	5-30	17-05	11-35
2	5	0,68	160	8-30	17-25	8-55
3	10	0,68	130	8-00	17-10	9-10
4	20	0,68	80	7-00	16-55	9-55
5	30	0,68	нет расплыва	5-40	12-30	6-50
6	40	0,68	нет расплыва	4-45	8-40	3-55
7	50	0,68	нет расплыва	4-30	7-50	3-20

Эксперимент показал, что введение золы уменьшает подвижность гипсового теста, что объясняется высоким водопоглощением золы и впитыванием из гипсового теста части воды затворения. Так, введение золы в количестве 5%, 10%, 20% от массы гипсового вяжущего привело к снижению диаметра расплыва со 180 мм соответственно до 160 мм, 130 мм, 80 мм. При количестве золы 30% и более расплыва теста уже не было, тесто приобрело полужесткую (золы 30% от массы гипсового вяжущего) и жесткую консистенцию (золы 40%, 50% от массы гипсового вяжущего).

Введение золы в количестве, не превышающем 20% от массы гипсового вяжущего, привело к замедлению начала схватывания гипсового вяжущего, при этом сроки конца схватывания практически не изменились по сравнению с контрольным составом без золы, что свидетельствует об ускоренном структурообразовании зологипсового камня. Можно предположить, что данный эффект вызван тем, что водопоглощение золы приводит к уменьшению количества воды, вступающей в реакцию с гипсовым вяжущим, т.е. происходит снижение истинного водогипсового отношения.

При количестве золы 30%, 40%, 50% от массы гипсового вяжущего сроки начала схватывания и сроки конца схватывания уменьшаются по сравнению с контрольным составом, сокращается и период структурообразования соответственно до 6 мин 50 сек, 3 мин. 55 сек., 3 мин. 20 сек. Для компенсации влияния водопоглощения золы и сохранения подвижность данные гипсовые композиции могут быть использованы только при увеличении количества воды затворения, однако это приведет к снижению прочности.

Влияние золы на водопоглощение гипсового камня определяли по методике ГОСТ 23789-2018 [8]. Количество золы составляло 5%, 10%, 20%, 30%, 40%, 50% от массы гипсового вяжущего. Водогипсовое отношение принято постоянным В/Г = 0,68. Результаты эксперимента представлены в таблице 4.

Таблица 4. – Влияние золы на водопоглощение гипсового камня

Количество золы, % от массы гипсового вяжущего	Среднее значение массы испытанных образцов, г		Водопоглощение, $W_{гип}$, %
	высушенных при 50±5 °С	насыщенных водой	
0	303	380	25,4
5	299	373	24,7
10	307	382	24,4
20	313	389	24,3
30	321	394	22,7
40	322	391	21,4
50	324	392	21,0

Водопоглощение гипсового камня без золы (контрольный образец) составило 25,4%. Добавление золы к гипсовому вяжущему приводит к уменьшению водопоглощения гипсового камня. Введение золы в количестве от 5% до 20% от массы гипсового вяжущего уменьшает водопоглощение от 2,7% до 4,3%. Водопоглощение образцов, содержащих 30% золы от массы гипсового вяжущего, составило 22,7%, что на 10,6% меньше контрольного образца. Максимальное снижение водопоглощения на 15,7% и 17,3% получено при содержании золы соответственно 40% и 50% от массы гипсового вяжущего.

Водостойкость гипсового камня определяли по методике ГОСТ 23789-2018 [8]. Для определения водостойкости, характеризующейся коэффициентом размягчения, определялись прочность на растяжение при изгибе и прочность на сжатие сухих и насыщенных водой образцов. Количество золы составляло 5%, 10%, 20%, 30%, 40%, 50% от массы гипсового вяжущего. Полученные результаты представлены в таблице 5.

Таблица 5. – Влияние золы на водостойкость гипсового камня

№ состав	Количество золы, % от массы гипсового вяжущего	Прочность образцов на растяжение при изгибе, МПа		Коэффициент размягчения по прочности на растяжение при изгибе		Прочность образцов на сжатие, МПа		Коэффициент размягчения по прочности на сжатие	
		высушенных при 50±5 °С ($R_{гип}$)	насыщенных водой ($R_{гип}^{нас}$)	$K_{разг.} = \frac{R_{гип}^{нас}}{R_{гип}}$	$K_{разг.} = \frac{R_{гип}^{нас}}{R_{гип}}$	высушенных при 50±5 °С ($R_{сж}$)	насыщенных водой ($R_{сж}^{нас}$)	$K_{сж.} = \frac{R_{сж}^{нас}}{R_{сж}}$	$K_{сж.} = \frac{R_{сж}^{нас}}{R_{сж}}$
1	0	5,36	2,98	0,56	0,56	13,13	7,26	0,55	0,55
2	5	5,06	2,69	0,53	0,50	14,73	8,05	0,55	0,61
3	10	5,15	2,63	0,51	0,49	14,50	7,04	0,49	0,54
4	20	4,86	2,46	0,51	0,46	14,46	6,51	0,45	0,50
5	30	4,59	2,53	0,55	0,47	14,21	5,85	0,41	0,45
6	40	4,16	2,15	0,52	0,40	12,61	5,38	0,43	0,41
7	50	3,63	2,0	0,55	0,37	11,23	4,92	0,44	0,38

Добавление в гипсовое вяжущее золы в количестве от 5% до 30% привело к увеличению прочности на сжатие высушенных образцов от 8% до 12,2%. При количестве золы в составе гипсовой композиции превышающем 30% прочность гипсового камня снижается по сравнению с контрольным составом без золы. Так, при 50% золы прочность на сжатие ниже контрольного значения на 14,3%.

Коэффициент размягчения был определен по отношению прочности насыщенных образцов с золой к прочности высушенных образцов с золой (K_p) и по отношению прочности насыщенных образцов с золой к прочности высушенных образцов без золы (K_p^0). Значение коэффициента размягчения (K_p) по прочности на растяжение при изгибе при добавлении золы в состав гипсовой композиции изменяется незначительно от 0,51 до 0,56, что объясняется пропорциональным снижением прочности высушенных и насыщенных водой образцов при увеличении количества золы.

Более информативным является коэффициент размягчения по контрольному составу (K_p^0). Определение коэффициента (K_p^0) по прочности на растяжение при изгибе показало, что чем больше золы до-

бавлено в состав гипсовой композиции, тем ниже коэффициент размягчения. Значение коэффициента снижается от 0,56 для контрольного состава до 0,37 для состава, содержащего 50 % золы от массы гипсового вяжущего. Анализ значений коэффициента размягчения ($K_{\text{р}}$) по прочности на сжатие показывает, что при добавлении золы в количестве 5% и 10% от массы гипсового вяжущего водостойкость имеет значения сопоставимые с контрольным составом ($K_{\text{р}} = 0,55$). Значения коэффициентов размягчения ($K_{\text{р}}$) при количестве золы 20%, 30%, 40% и 50% ниже, чем у контрольного состава, и составляют соответственно 0,5, 0,45, 0,41, 0,38. При величине коэффициента размягчения $0,45 < K_{\text{р}} < 0,6$ гипсовые вяжущие относятся к средней водостойкости, при величине коэффициента размягчения $K_{\text{р}} < 0,45$ гипсовые вяжущие относятся к неводостойким.

Выводы.

1. Зола уменьшает подвижность гипсового теста и при введении в состав гипсового вяжущего в количестве, превышающем 20% от массы гипсового вяжущего, приводит к замедлению начала схватывания.
2. Введение золы в гипсовое вяжущее приводит к повышению плотности и непроницаемости и снижению водопоглощения гипсового камня.
3. Гипсовое вяжущее с золой в количестве 5%, 10%, 20% относится к вяжущим средней водостойкости. При добавлении золы в количестве более 20% гипсовое вяжущие относится к неводостойким.
4. Исследование влияния количества золы на сроки схватывания, консистенцию, водонасыщение и водостойкость гипсового вяжущего показало, что содержание золы не должно превышать 20% от массы гипсового вяжущего.

ЛИТЕРАТУРА

1. Волженский, А.В. Гипсоцементнопуццолановые вяжущие, бетоны и изделия: монография / А.В. Волженский, В.И. Стамбулко, А.В. Ферронская. М: Издательство Стройиздат, 1971. – 318 с.
2. Чернышева, Н.В. Водостойкие гипсовые композиционные материалы с применением техногенного сырья: автореф. дисс. ... докт. техн. наук: 05. 23. 05 / Н.В. Чернышева. – Белгород, 2014. – 40 с.
3. Kondratieva, N. Study of modified gypsum binder [Text] / N. Kondratieva [and etc.] // Construction and building materials – 2017. – № 149. – С. 535 – 542.
4. Халлилуин, М.И. Влияние добавки извести на физико-механические свойства композиционных гипсоизвестковопуццолановых вяжущих [Текст] / М.И. Халлилуин [и др.] // Известия КГАСУ. – 2015. – № 4 – С. 304 – 311.
5. Старостина, И.В. Использование кремнеземсодержащих промышленных отходов в технологии композиционных гипсовых вяжущих [Текст] / И.В. Старостина [и др.] // Вестник технологического ун-та. – 2016. – Т 19. – № 13 – С. 304 – 311.
6. Вяжущие гипсовые. Технические условия: ГОСТ 125 – 2018. – Взамен ГОСТ 125-79; введ. 01.05.2019. – М.: Стандартинформ, 2018. – 14 с.
7. Золы-уноса тепловых электростанций для бетонов. Технические условия: ГОСТ 25818-2017. – Введен 01.03.2018. – М.: Стандартинформ, 2017. – 23 с.
8. Вяжущие гипсовые. Методы испытаний: ГОСТ 23789-2018. – Взамен ГОСТ 23789-89; введ. 01.05.2019. – М.: Стандартинформ, 2018. – 17 с.