

УДК 691.5

**АКТИВАЦИЯ ТОРФОДРЕВЕСНОЙ ЗОЛОШЛАКОВОЙ СМЕСИ  
ГИДРОКСИДОМ НАТРИЯ****В.В. ДЕРУГИН, Е.А. РАЗУЕВА***(Представлено: канд. техн. наук, доц. Л.М. ПАРФЕНОВА)*

*В статье представлены сырьевые материалы для получения золошлакощелочных вяжущих. Показаны, технологии получения вяжущих на основе применения щелочных активаторов гидроксида натрия и жидкого натриевого стекла. Представлены результаты эксперимента по оптимизации концентрации гидроксида натрия при щелочной активации золошлаковой смеси Белорусской ГРЭС.*

В условиях перехода энергетики Республики Беларусь на ресурсосберегающие технологии, включая использование местных видов топлива, актуальной задачей является утилизация образующихся отходов. Ценным сырьевым материалом являются шлаки и золы теплоэлектростанций (ТЭС). В мировой практике шлаки и золы ТЭС находят широкое применение в качестве добавок к цементу, заполнителей для бетонов и строительных растворов или для замены грунта. Отдельным направлением использования золошлаковых отходов является применение их в качестве основного компонента геополлимерного вяжущего. При высоком содержании в составе золы стекловидной алюмосиликатной составляющей геополлимерные вяжущие получают путем активирования высококонцентрированными растворами щелочи и последующей тепловой обработке при 60–80 °С [1].

Широко применяется в качестве щелочного активатора гидроксид натрия (NaOH). В исследованиях [2] для получения геополлимерного вяжущего использовалась зола, измельченная до удельной поверхности 600 м<sup>2</sup>/кг и доменной гранулированный шлак Новолипецкого металлургического комбината с удельной поверхностью 380 м<sup>2</sup>/кг и щелочной активатор NaOH. В эксперименте соотношение активатора и вяжущего (А/В) изменилось в интервале от 0,44 до 0,56. Вяжущие твердели в процессе тепловлажностной обработки по трем режимам: при температуре изотермической выдержки 60, 80 и 105 °С. В результате щелочной активации и температурной обработки прочность на сжатие составила 40–50 МПа [2].

В качестве сырья для геополлимерных вяжущих в работе [3] предложено использовать золы-уносы Томь-Усинской ГРЭС, а также отсево-дробления щебня из магматических горных пород – гранита, дацита и габбро-диабазы. Сырьевые материалы измельчались в шаровой мельнице: зола-унос до удельной поверхности 600 м<sup>2</sup>/кг, горные породы – до 400 м<sup>2</sup>/кг. В качестве основного компонента геополлимерных вяжущих на основе горных пород использовались гранит Павловского месторождения, гранит Хребетского месторождения, дацит и габбро-диабазы. Во все составы вяжущего вводилась добавка доменного гранулированного шлака, измельченного до дисперсности 380 м<sup>2</sup>/кг в количестве 8%. В качестве активатора твердения использовалось жидкое натриево-стекло с  $M_c = 2,84$  в количестве 13% по сухому веществу от веса вяжущего, а также известь строительная в количестве 2–6%. Процедура приготовления вяжущего была следующей: измельченная горная порода или зола-унос перемешивались с добавкой шлака и извести. Подготовленный порошок затворялся раствором щелочного активатора на основе силиката натрия и воды до обеспечения отношения активированного раствора к вяжущему 0,42. Для определения прочности и усадки вяжущего были изготовлены образцы, которые твердели в нормальных условиях и в условиях тепловой обработки при температуре изотермической выдержки 60, 80 и 105 °С в течение 10 часов. Прочностные свойства вяжущего оценивались на образцах размером 20×20×20 мм, а усадка – на образцах размером 20×20×100 мм. Исследования зависимостей прочности от температуры твердения и количества извести показали, что оптимальная дозировка 2%. Такая дозировка почти у всех видов вяжущего – как на золе-уносе, так и на горных породах, твердеющих при различных условиях, обеспечивает прирост прочности. Для вяжущих на основе золы-уноса наибольшая величина прироста прочности (15 МПа) при введении 2% извести достигается при температуре тепловой обработки 60 °С. Твердение вяжущего на основе золы-уноса при 105 °С обеспечивает наибольшую прочность вяжущего – 54 МПа. Повышение дозировки извести более 2% дает снижение прочности [3].

В работе [3] для получения золошлакощелочного вяжущего золошлаковые смеси Иркутской и Братской ТЭС затворялись жидким стеклом и подвергались тепловлажностной обработке. Жидкое стекло получали путем прямого растворения микрокремнезема – отхода производства кристаллического кремния Братского алюминиевого завода в щелочном растворе при температуре ниже 100 °С и атмосферном давлении. Прочность при сжатии полученного вяжущего в результате тепловлажностной обработки при 80–90 °С и режиме 2 + 3 + 6 + 3 ч, в зависимости от плотности и расхода жидкого стекла составила: при плотности жидкого стекла 1,43 г/см<sup>3</sup> – 4,1 МПа, при плотности 1,47 г/см<sup>3</sup> – 11,1 МПа, при плотности 1,48 г/см<sup>3</sup> – 21,7 МПа [3].

По данным Американского общества по испытанию материалов [6] для получения геополимерных вяжущих более предпочтительна низкокальциевая зола-унос класса F, чем высококальциевая зола класса C. Как показали результаты исследований [1], зола образующаяся на Белорусской ГРЭС при сжигании 50% торфа и 50% древесной щепы содержит более 90% оксида кремния и оксида алюминия. Изучение эффективности щелочной активации торфодревесной золы является актуальным направлением исследований геополимерных вяжущих.

**Характеристика материалов и методика проведения исследований.** Для проведения эксперимента золошлаковую смесь просеивали и использовали в дальнейшем фракцию, прошедшую через сито № 008 (далее – зола). Торфодревесная зола Белорусской ГРЭС характеризуется следующими показателями: насыпная плотность 960 кг/м<sup>3</sup>; истинная плотность 2300 кг/м<sup>3</sup>; нормальная густота 24,5%; удельная поверхность 200 м<sup>2</sup>/кг; влажность 6%. В качестве щелочного активатора использовался гидроксид натрия. Гидроксид натрия предварительно растворялся в воде затворения.

Оптимизация концентрации щелочного активатора выполнялась с применением метода математического планирования эксперимента и обработки данных факторного эксперимента с применением компьютерной программы «PlanExp B-D13», разработанной в среде программирования Microsoft Visual Basic 6.0. Программа ориентирована на работу с трехфакторным планом эксперимента B-D13, который позволяет получать нелинейные квадратичные модели, и обладает хорошими статистическими характеристиками. В качестве варьируемых факторов рассматривались массовая доля золы в составе геополимерного вяжущего (x1), массовая доля гидроксида натрия NaOH (x2) и водозольное отношение (x3), в качестве результативного фактора – прочность на сжатие геополимерного камня (R<sub>сж</sub>). Согласно плану эксперимента рассчитывается 10 опытов по 3 параллельных испытания в каждом.

Для определения прочности на сжатие геополимерного вяжущего изготавливались образцы-кубики с ребром 20×20×20 мм с содержанием компонентов согласно таблице 1. Образцы твердели при температуре 80 °С в течение 24 часов, а затем испытывались через 24 часа нормально-влажностного твердения на прочность на испытательном прессе немецкого производства Testingbluhm&feuerherdtgmbh модель C089-04.

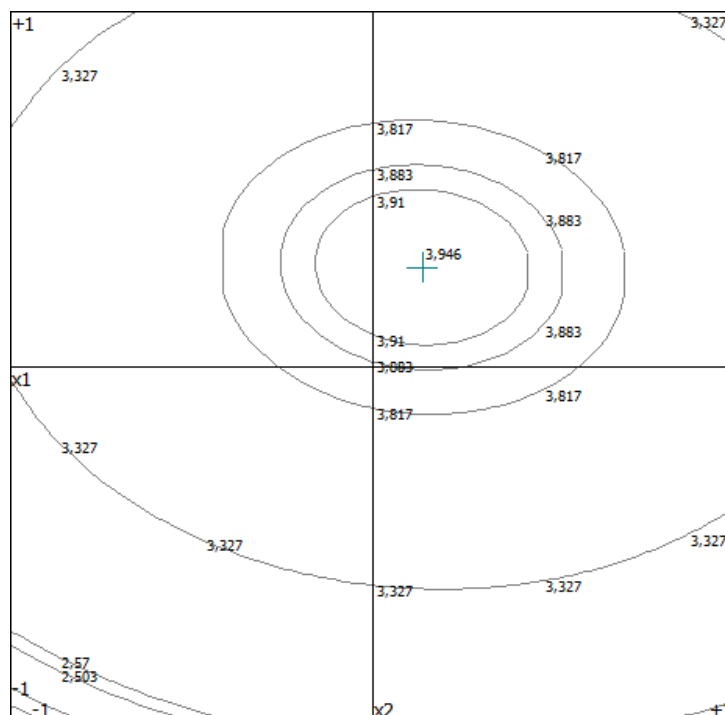
Матрица планирования и результаты эксперимента представлены в таблице 1.

Таблица 1. – Матрица планирования и результаты эксперимента

Номер опыта	Матрица планирования			Натуральные значения переменных			Прочность на сжатие, R <sub>сж</sub> , МПа		
	x1	x2	x2	Зола	NaOH	В/З	y1	y2	y3
1	-1	-1	-1	0,6	0,09	0,224	2,30	2,34	2,24
2	+1	-1	-1	1	0,09	0,224	3,85	4,23	3,65
3	-1	+1	-1	0,6	0,19	0,224	4,04	4,13	3,48
4	-1	-1	+1	0,6	0,09	0,294	2,19	2,21	2,20
5	-1	0,19	0,19	0,6	0,149	0,265	2,80	2,76	2,15
6	0,19	-1	0,19	0,838	0,09	0,265	2,84	3,49	3,65
7	0,19	0,19	-1	0,838	0,149	0,224	5,33	5,20	5,23
8	-0,29	+1	+1	0,742	0,19	0,294	2,04	1,93	2,20
9	+1	-0,29	+1	1	0,125	0,294	2,43	2,60	2,48
10	+1	+1	-0,29	1	0,19	0,248	4,06	3,96	3,43

При затворении золошлаковых смесей щелочными растворами гидроксида натрия разной концентрации были получены разные по подвижности смеси от сухой до пластичной. Пластичные смеси были получены для составов 4, 5, 8, 9, но показатели прочности для этих составов уступают более жестким смесям, что свидетельствует об избыточном количестве воды в составах.

По результатам эксперимента получена адекватная математическая модель, для визуализации которой построена диаграмма линий равного уровня (изолиний), представляющая собой проекцию трехмерной поверхности на плоскость (x1; x2) при x3 = const = 0,259 (рис. 1).



**Рисунок 1. – Диаграмма изолиний математической модели прочности на сжатие золошлакощелочного вяжущего при  $x_3 = 0,259$**

С использованием математического планирования эксперимента найден экстремум функции отклика, который составляет  $Y = 3,946$  МПа. Экстремум достигается при значениях переменных  $x_1 = 0,279$  и  $x_2 = 0,137$ . Таким образом, определена оптимальная концентрация щелочного активатора, которая составила 54,3%.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Парфенова, Л.М., Высоцкая, М.Н., Пауло А.Л. Фернандес Комплексное вяжущее на основе портландцемента и золошлаковых отходов ТЭС / Л.М. Парфенова, М.Н. Высоцкая, Пауло А.Л. Фернандес // Вестник Полоцкого государственного университета. Серия F. Строительство. Прикладные науки. – № 8. – 2018. – 60–66 с.
2. Ерошкина, Н.А., Коровкин, М.О., Коровченко, И.В. Свойства геополимерного вяжущего на основе золы-уноса Томь-Усинской ГРЭС / Н.А. Ерошкина, М.О. Коровкин, И.В. Коровченко // Новый университет. Серия: Технические науки. –2014. –№ 12 (34). – 30–34 с.
3. Ерошкина, Н.А., Коровченко, И.В., Тымчук, Е.И., Коровкин, М.О. Геополимерные вяжущие на основе зол-уноса и горных пород // Современные научные исследования и инновации. –2015. –№ 4. – Ч. 1 [Электронный ресурс]. – URL: <http://web.snauka.ru/issues/2015/04/51849>. – Дата обращения: 23.09.2018.
4. Способ получения гидроактивированного композиционного зольного вяжущего: пат. 2346904 РФ, МПК С04В 7/28 / Л.А. Урханова, П.К. Хардаев, Н.Н. Костромин. – Дата публ.: 10.11.1995.