

СТАТИСТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ В ТЕХНОЛОГИИ ЗОЛОСОДЕРЖАЩИХ МАТЕРИАЛОВ

А. В. Селютина, Н. В. Музалевская, Р. И. Гильмияров, М. Н. Баев

Алтайский государственный технический университет им. И. И. Ползунова
г. Барнаул

Золы ТЭЦ от сжигания углей разных видов на протяжении многих десятилетий привлекают внимание исследователей и строителей как потенциальное высококачественное местное сырье. Однако ряд обстоятельств не позволяет применять их бесконтрольно для производства различных строительных материалов. Это прежде всего, широкая изменчивость главных показателей, характеризующих состав и свойства зол. Отсутствие статистически достоверных взаимосвязей между постоянно изменяющимися составом и свойств зол с одной стороны и материалов на их основе – с другой, не позволяют разработать устойчивые технологические процессы производства высококачественных строительных материалов.

В связи с широким возможным колебанием состава и свойств зол, остро возникла потребность в более точной оценке статистики изменения состава зол и разработки на её основе экспресс-методов анализа. Работа по статистической оценке изменения состава зол углей разных разрезов была проведена главным образом в СибВТИ (г. Красноярск), АлтГТУ и СибЗНИИЭПе.

Цель настоящей работы – разработать методы экспресс-анализа зол, дающие возможность получать золосодержащие мате-

риалы с прогнозируемыми свойствами, назначать их составы и используя метод статистической обработки построить двух- и многопараметрические модели, которые с известной степенью достоверности позволят определять характеристики золы и материалов на ее основе, не прибегая к длительным и трудоемким операциям.

На первом этапе нами укрупненно была оценена изменчивость основности высококальциевых зол (БУЗ), а в связи с ней - изменения фазового состава. Первые оценки взаимосвязей свойств зол были приведены в [1]. Затем они неоднократно проверялись, т.к. на статистику изменения составов зол накладывается статистика ошибок анализа и статистика поставок угля из разных разрезов. Наиболее часто повторяющиеся взаимосвязи даны в корреляционной таблице 1. Из них видно, что повторяются взаимосвязи потерь при прокаливании (ППП) и остатки при просеивании золы на сите № 008 (Ост № 008), показателя теста нормальной густоты зольного теста (НГ) и ППП золы, начала (Нач) и конца (Кон) схватывания зольного теста, содержания в золе открытой (СаОотк) и закрытой свободной извести (СаОзакр) и ряд других.

Таблица 1 – Коэффициенты парных линейных корреляций между свойствами и составом БУЗ

	S уд	Ост № 008	ΔТ	НГ	Нач	Кон	ППП	СаО отк	СаО закр	СаО сум
S уд	-	0,58	0,36	0,88	0,03	0,22	0,33	0,10	0,21	0,24
Ост № 008	0,58	-	0,46	0,31	0,35	0,31	0,91	-0,85	0,64	0,37
ΔТ	0,36	0,46	-	0,28	0,79	0,87	0,35	0,50	0,34	0,55
НГ	0,88	0,31	0,28	-	0,21	0,35	0,68	0,25	0,03	0,12
Нач	0,48	0,35	0,79	0,21	-	0,97	0,41	0,6	0,39	0,57
Кон	0,22	0,31	0,87	0,35	0,97	-	0,36	0,5	0,34	0,55
ППП	0,33	0,91	0,35	0,68	0,41	0,36	-	0,64	0,14	0,58
СаО отк	0,10	0,65	0,50	0,25	0,55	0,7	0,64	-	0,69	0,62
СаО закр	0,21	0,64	0,03	0,03	0,39	0,34	0,14	0,69	-	0,05
СаО сум	0,24	0,37	0,55	0,12	0,57	0,55	0,58	0,62	0,05	-

Установленные взаимосвязи позволили более детально подойти к разработке технологий применения зол при производстве различных строительных материалов.

Буроугольные золы позволяют экономить цемент при производстве бетонов. При этом зола может вводиться непосредственно в бетоносмеситель в естественном состоянии. Количество сэкономленного цемента рассчитывается по показателям состава и свойств золы и, главным образом, - по температурному эффекту ранней гидратации золы (ΔT °C) и свободной извести в закрытом и открытом состоянии [1]. Опыт работы в условиях КЖБИ-2 г. Барнаула показал возможность экономии в среднем около 15 % цемента при изготовлении таких ответственных конструкций, как детали крупнопанельных домов по серии 111-97.

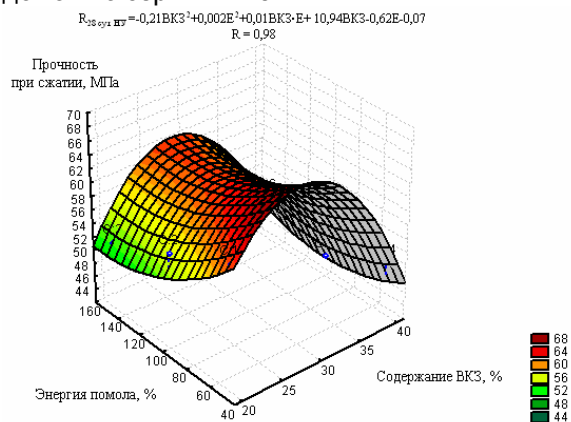


Рисунок 1 – Зависимость прочности золопортландцемента от содержания высококальциевой золы и энергии помола после 28 сут, $R_{сж} \text{ ПЦ} = 55 \text{ МПа}$

Более эффективно применение золы при совместном помоле с портландцементом (рисунок 1). В этом случае можно экономить 30-40 % цемента.

Построенная двухпараметрическая модель зависимости прочности золопортландцементного вяжущего от содержания высококальциевой золы и энергии помола позволяют четко установить оптимальное содержание золы. Более значительных результатов можно добиться, вводя в молотую систему цемент – зола активные минеральные добавки (рисунок 2).

На сегодняшний момент установлено несколько статистических моделей по закономерностям изменения прочности бетона на ЗПЦ от показателей свойств БУЗ позволяют с достаточной точностью прогнозировать и корректировать прочность бетонов и их со-

ставы. Основными факторами, влияющими на прочность бетонов на ЗПЦ, определенные на данный момент, являются показатели, характеризующие активность зол: содержание свободного оксида кальция, температурный эффект ранней гидратации золы, сроки схватывания, потери при прокаливании. Влияние свободного суммарного оксида кальция $\text{CaO}_{\text{свсумм}}$ и температурного эффекта ранней гидратации золы ΔT .

Зависимость прочности от содержания МК и энергии помола
 $z = (-0,01) \cdot x^2 + (-1,5) \cdot y^2 + (0,9) \cdot x + (20) \cdot y + (-0,06) \cdot x \cdot y$
 $R = 0,97$
 28 суток

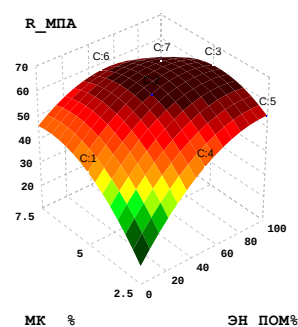


Рисунок 2 – Зависимость прочности камня от содержания МК и энергии помола золопортландцемента на 28 суток нормального твердения

Многие исследователи, изучая материалы на основе высококальциевой золы, испытывают лишь их прочностные характеристики. Тем не менее, одной из наиболее важных характеристик бетона при эксплуатации, помимо прочности, является его долговечность. В процессе длительной эксплуатации зданий и сооружений из бетона с использованием высококальциевых зол могут возникать значительные деструктивные процессы в уже затвердевшем камне из-за находящегося в золе периклаза ($\text{MgO}_{\text{своб}}$) в количестве до 9% [1]. Поэтому при использовании в тяжелых бетонах золопортландцемента из высококальциевой золы ТЭЦ необходимо оценивать влияние золы не только на прочностные характеристики бетона, но и на косвенный показатель долговечности: собственные деформации золоцементного камня при автоклавировании, что будет являться следующим этапом в нашей работе.

Сегодня актуальными являются эффективные технологии автоклавных и неавтоклавных ячеистых бетонов. Детальные исследования показали, что на основе буроугольной золы можно производить как автоклавные, так и неавтоклавные бетоны без извести и цемента.

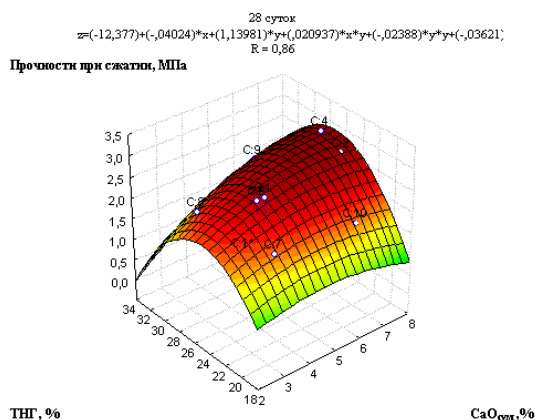


Рисунок 3 - Зависимость изменения прочности при сжатии газобетона через 28 суток от ТНГ золы и её суммарной свободной извести

Неавтоклавные газобетоны на основе золы и 40-50 % цемента обладают наилучшими показателями по сравнению с другими сырьевыми материалами. Такие газобетонные блоки изготавливаются со стабильными показателями при средней плотности 550-600 кг/м³ и прочности 2,5-3,6 МПа. В то время как цементно-песчаный газобетон на том же цементе при средней плотности 700 кг/м³ не показывает прочность выше 2 МПа в нормативные сроки твердения. Запатентованные оптимальные составы зольного неавтоклавного газобетона [2] позволяют регулировать скорость твердения массива, изменяя вид и количество вводимых химических добавок (рисунок 3), раннюю и марочную прочности газобетона. Наличие буроугольной золы позволяет обеспечить непропариваемое твердение газобетонных блоков. В то же время, благодаря высокой активности системы блоки проходят ТВО за счет саморазогрева до 60 - 80 °С.

Увеличение темпов жилищного строительства, сдача объектов "под ключ" заставляют строительные организации решать проблему устройства стяжек для пола не только должного качества и с минимальными затратами, но и в кратчайшие сроки. Не смотря на то, что известны различные безусадочные составы стяжек, они, как правило, дорогостоящие, многокомпонентные и требуют специального приготвления. Поэтому до сих пор большинство стяжек для полов строители укладывают из обычного цементно-песчаного раствора.

Так как характеристики раствора зависят от состава золы, была построена статистическая математическая модель (рисунок 4) раз-

вития собственных деформаций камня во времени от содержания в золе свободной извести.

$$Var3 = 0,0437 - 0,0077 \cdot x - 0,0081 \cdot y + 0,0008 \cdot x^2 + 0,0008 \cdot y^2 + 8,3014E-6 \cdot x \cdot y$$

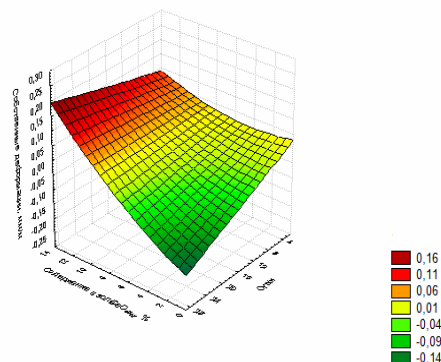


Рисунок 4 – Зависимость собственных деформаций растворного камня от содержания в золе свободной извести для состава стяжки СЗ при 80 % относительной влажности

Данные модели позволяют подобрать необходимое количество золы для обеспечения нужного расширения растворного камня, как по содержанию ВКЗ, так и по свободной извести в ней.

Выводы.

Таким образом, несмотря на существующие трудности при использовании зол в промышленном производстве, используя научные разработки можно получить золосодержащие материалы и изделия, удовлетворяющие всем требованиям нормативных документов и обладающие характеристикам, соответствующими потребностям современного рынка. Так экономический эффект при производстве и применении ЗПЦ на заводе ЖБИ, потребляющем около 40 тыс. тонн цемента в год составит около 20 млн. рублей, потребляющем 60 тыс. тонн в год – около 30 млн. рублей и т.д.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Овчаренко Г.И. Золы углей КАТЭКа в строительных материалах - Красноярск: Из-во Красноярского университета, 1992. – 216 с.
2. Патент №2259975. Сырьевая смесь для получения неавтоклавного ячеистого бетона (варианты) / Г.И. Овчаренко, Ю.В. Щукина, Е.Г. Овчаренко, В.Б. Францен. Заявлено 31.12.2003.