

## ВЫВОДЫ

Исследуемые связи для грануляции ЗШО по разному влияют на показатели прочности получаемых гранул на стадиях формирования, сушки и обжига.

Не допускается изготовление гранул для предложенных сырьевых материалов без связок, а также с добавкой 15% каменного угля, так как полученные результаты показателей прочности не удовлетворяют минимально допустимым требованиям. Остальные связки можно рекомендовать к применению, однако необходимо учитывать, что при использовании глины следует вводить её в количестве не менее 10%, жидкого стекла – не менее 3%. Лучше всего на показатели прочности оказала влияние известь. Рекомендуемое оптимальное её количество 6-9%. При соблюдении определённых требований рекомендуемые связки дадут возможность получения гранул из ЗШО с оптимальной прочностью, достаточной для прокаливания в котле ки-

пящего слоя.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Овчаренко Г.И., Фок Н.А., Гильмияров Д.И., Баландин И.С., Переработка кислых зол и золошлаков ТЭЦ в силикатный кирпич // Ползуновский вестник: Изд-во АлтГТУ. -, 2011. – № 1. – С. 148-152с.
2. Тимашев В.В., Сулименко Л.М., Альбац Б.С. Агломерация порошкообразных силикатных материалов. - М.: Стройиздат, 1978. - 136с.
3. Уфимцев В. М. и др. О современных технологиях складирования дисперсных промышленных отходов. Результаты опытно-промышленной грануляции золы березовского угля // Энергетическое строительство. 1984.- № 11.- С. 51-53.

*Фок Н.А. - аспирант, Гильмияров Д.И. - аспирант, Михайленко А.А. - студент, Орлянский К.В. - студент, Алтайский государственный технический университет, E-mail: egogo1980@mail.ru.*

УДК 666.952.2

## ЗАКОНОМЕРНОСТИ ИЗМЕНЕНИЯ СОСТАВА И СВОЙСТВ ВЫСОКОКАЛЬЦЕВЫХ ЗОЛ И ИХ СТАТИСТИЧЕСКАЯ ОЦЕНКА

В.Б. Францен, Ю.В. Щукина, Е.Ю. Хижинкова, Л.Г. Плотникова, В.Л. Свиридов

*Рассмотрено изменение свойств высококальцевых зол в зависимости от их состава и основности. Установлены многочисленные корреляционные взаимосвязи между составом и свойствами зол, реализованные при производстве золосодержащих строительных материалов*

*Ключевые слова: высококальцевые золы, состав и свойства, основность зол, статистические взаимосвязи.*

## ВВЕДЕНИЕ

Высококальцевые золы ТЭЦ от сжигания углей Канско-Ачинского Бассейна (КАБ) на протяжении многих десятилетий привлекают внимание исследователей и строителей как потенциальное высококачественное местное сырье. Однако ряд обстоятельств не позволяет применять такие золы бесконтрольно для производства различных строительных материалов. Прежде всего, это наличие в золе свободной извести в разных количествах и часто в таких, которые приводят к разрушению золоматериалов по причине позднего гашения свободного СаО. Другой особенностью зол углей КАБ является широкая изменчивость их состава и свойств. Это не позволяло без детальных исследований предложить устойчивые технологии золома-

териалов. Так, строительство зданий из неавтоклавного зольного газобетона в Красноярске-26 в начале 60-ых годов осуществлялось методом проб и ошибок. То есть, под каждую новую партию золы подбирался оптимальный состав и технология газобетона.

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. Эти исследования к концу 80-ых годов были суммированы и изложены нами в [1]. В дальнейшем требовалась трудоёмкая кропотливая работа по ста-

тистической оценке изменчивости состава и свойств, зол в связи с разработкой экспресс-методов их анализа и стабильных технологий производства тех или иных строительных материалов.

**РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ**

На первом этапе укрупнённо была оценена изменчивость основности зол, а в связи с ней - изменения фазового состава. Главные установленные закономерности заключаются в нижеследующем [1,2]. Суммарное количество клинкерных минералов в виде  $\beta$ - $C_2S$  и алюминатов кальция может изменяться в золе от 13-15 до 30-35%. В то же время дополнительно присутствует какая-то часть алюмоферритов кальция в не разделённой при анализе алюмоферритно-стекловидной фазе (АФСФ). Количество последней с возрастанием основности золы по  $K_k$  от 0,5 до 2,5 уменьшается от 70 до 45% (рисунок 1), веро-

ятно за счёт снижения доли стеклофазы и инертных минералов, т.к. из АФСФ не выделены кварц, минералы на основе оксидов железа, мелилит и другие малые примеси. Кремнекислородные анионы (ККА) кислоторастворимой части кремнезёма золы представлены в основном димером  $Si_2O_7$  (50-70%), что подтверждается кристаллизацией мелилита при отжиге стеклофазы золы (рисунок 2). Средняя основность ККА кислоторастворимого  $SiO_2$  в этом интервале основности практически не изменяется и равна 1,55-1,65. Количество кислоторастворимого кремнезёма возрастает от 15 до 40% пропорционально увеличивающейся основности зол. Содержание свободного оксида кальция в золе пропорционально как ее основности, так и степени предварительного измельчения золы. Кроме того - зависит от метода анализа: этилово-сахаратный или этилово-глицератный (рисунок 3).

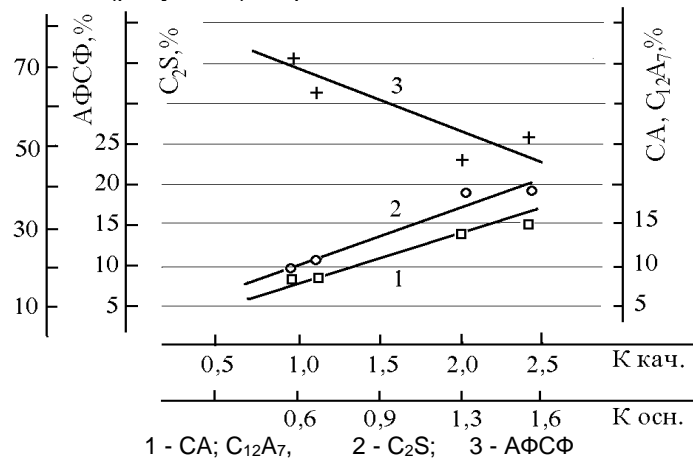
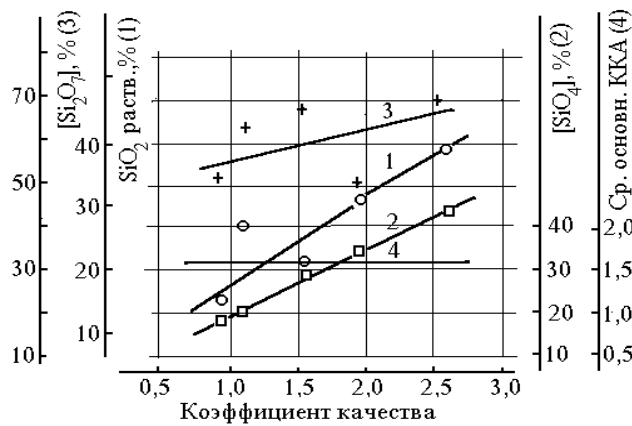


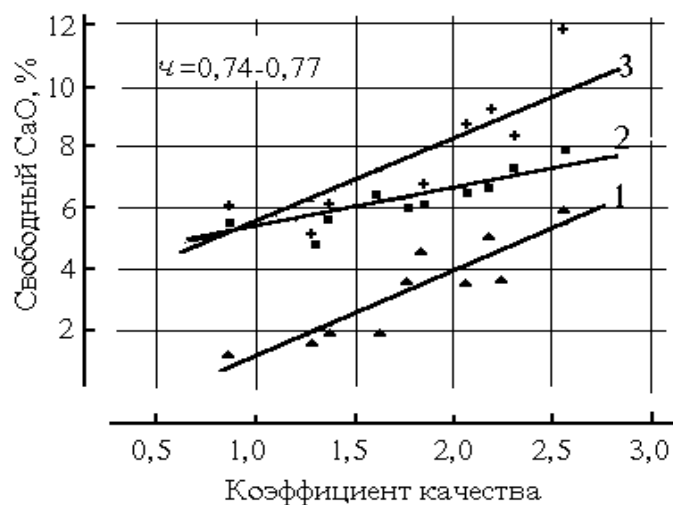
Рисунок 1 – Зависимость фазового состава зол от их основности



1 - SiO<sub>2</sub> растворимый; 2 - мономер [SiO<sub>4</sub>]; 3 - димер; 4 - средняя основность ККА кислоторастворимого SiO<sub>2</sub>.

Рисунок 2 – Зависимость состава кремне-кислородных анаионов (ККА) зол от их основности

ЗАКОНОМЕРНОСТИ ИЗМЕНЕНИЯ СОСТАВА И СВОЙСТВ ВЫСОКОКАЛЬЦИЕВЫХ ЗОЛ  
И ИХ СТАТИСТИЧЕСКАЯ ОЦЕНКА



1 - зола немолотая; 2, 3 - зола молотая. 1, 2 - этилово-сахаратный метод, 3 - этилово-глицератный метод

Рисунок 3 - Зависимость свободного CaO в золе от ее основности

При этом часть свободной извести закрыта для анализа без измельчения золы. Доля вскрываемой при помоле свободной извести может составлять от 30-40 до 90 %. В связи с этим нами были введены понятия свободной открытой, свободной закрытой и свободной суммарной извести. При этом

$$\text{CaO}_{\text{св}}^{\text{сум}} = \text{CaO}_{\text{св}}^{\text{откр}} + \text{CaO}_{\text{св}}^{\text{закр}} \quad (1)$$

Количество  $\text{SO}_3$  в золе пропорционально ее основности и достигает в высокоосновных составах 5–6%. При этом, также отмечается повышение содержания  $\text{SO}_3$  в АСФС золы от 0,5 до 1,0%. Учитывая пропорциональное возрастание содержания свободного CaO с увеличением основности зол, можно объяснить возрастание  $\text{SO}_3$  за счет связывания  $\text{SO}_2$  дымовых газов известью золы в ангидрит. Это также возможно за счет образования

сульфоалюмината кальция в соответствующем температурном интервале [1].

В связи с тем, что в золах обнаруживались взаимосвязи фазового состава при первичном укрупнённом шаге изменения их основности, в дальнейшем были произведены более детальные статистические исследования состава и свойств зол.

Первые оценки взаимосвязей свойств зол были приведены в [2]. Затем они неоднократно проверялись, т.к. на статистику изменения составов зол накладывается статистика ошибок анализа и статистика поставок угля из разных разрезов. А, как известно, золу близкой основности могут дать разные угли или их смеси (рисунок 4) [1,2].

Наиболее часто повторяющиеся взаимосвязи даны в корреляционной таблице 1, а также в аналогичной таблице [2].

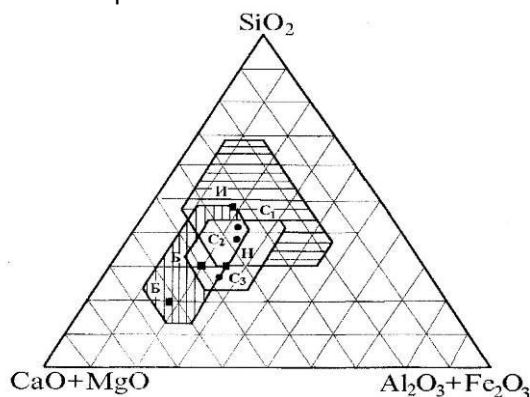


Рисунок 4 – Поля химического состава зол: среднестатистический состав зол от сжигания углей: И – Ирша-Бородинского; Н – Назаровского; Б – Березовского многозольного; Б\* - Березовского малозольного

Таблица 1 - Коэффициенты парных линейных корреляций между свойствами и составом зол [4]

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

Из них видно, что повторяются взаимосвязи потерь при прокаливании и остатки при просеивании золы на сите № 008, показателя теста нормальной густоты зольного теста и ППП золы, начала и конца схватывания зольного теста, содержания в золе открытой и закрытой свободной извести и ряд других.

Примеры линейных моделей с уравнениями регрессии приведены в [3]. Из них следует, что фазовый состав зол естественным образом связан с их основностью, а многие свойства зол взаимосвязаны и обусловлены закономерно изменяющимся фазовым составом.

Ряд установленных зависимостей имеют практическую значимость при разработке технологий золоиспользования и производства строительных материалов на основе золы. Это определение активности высококальциевой золы и цементного вяжущего с добавкой ВКЗ [4], определение основности ВКЗ без знания её химического состава по величине теплового эффекта ранней гидратации и содержанию свободного CaO [5,6]. Это способы определения открытого для анализа и закрытого стеклофазой свободного CaO [7,8]. Быстрые способы определения п.п.п. и SO<sub>3</sub> золы через косвенные статистические характеристики её свойств (теста нормальной густоты, остатка на сите № 008 и др.) [9,10].

Установление достоверных статистических взаимосвязей между составом и свойствами зол позволило разработать и внедрить ряд эффективных технологий производств качественных строительных материалов на основе золы [11-15].

## ВЫВОДЫ

Установлены многочисленные статистически значимые взаимосвязи между составом и свойствами высококальциевых зол ТЭЦ. Установленные связи позволили разработать

и внедрить устойчивые технологии производства различных золосодержащих строительных материалов.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Овчаренко, Г. И. Золой углей КАТЭКа в строительных материалах / Г. И. Овчаренко. – Красноярск : Изд-во Краснояр. ун-та, 1992. - 216 с.
2. Овчаренко, Г.И. Оценка свойств зол углей КАТЭКа и их использование в тяжелых бетона [текст] / Г.И. Овчаренко, Л.Г. Плотникова, В.Б. Францен. – Барнаул : Изд-во АлтГТУ, 1997. – 149 с
3. Овчаренко, Г.И. Разработка теоретических основ и внедрение устойчивых технологий производства строительных материалов из высококальциевых зол углей Канско-Ачинского бассейна / Г.И. Овчаренко, В.Б. Францен, Л.Г. Плотникова, В.М. Каракулов, И.Н. Заезжаева, В.В. Патрахина, К.П. Черных, О.В. Ворогушина, Т.Г. Елишева // Ползуновский Альманах. - 2001. - № 3, - С. 165 – 176.
4. Патент SU № 1811605 Способ определения активности буроугольной золы м вяжущего с добавкой буроугольной золы / Овчаренко Г.И., Плотникова Л.Г. – Заявл. 22.02.91. Оpubл. 23.04.93. Бюл. №15.
5. Патент SU № 1813211 Способ определения основности высококальциевой золы / Овчаренко Г.И. – Заявл. 19.04.91. Оpubл.30.04.93. Бюл.№ 16.
6. Патент RU № 2199740. Способ определения основности высококальциевой золы/Овчаренко Г.И., Францен В.Б. – Заявл. 04.05.2001. Оpubл. 27.02.2003. Бюл.№ 6.
7. Патент SU № 2006031. Способ определения содержания свободного оксида кальция в высококальциевых золах/Овчаренко Г.И. – Заявл.19.04.91.Оpubл.15.01.94. Бюл. №1.
8. Патент SU № 2006030. Способ определения содержания в буроугольных золах свободного оксида кальция, закрытого стеклофазой/Овчаренко Г.И. – Заявл.19.04.91.Оpubл.15.01.94. Бюл. №1.
9. Патент RU № 2193774. Способ определения содержания потерь при прокаливании в буроугольной золе/Овчаренко Г.И., Францен В.Б. – заявл. 25.04.2000. Оpubл. 27.11.2002. Бюл. № 33.
10. Патент RU № 2206890. Способ определения содержания серного ангидрида в буроугольной зо-

ле (варианты) / Овчаренко Г.И., Францен В.Б. – заявл. 02.04.2001. Оpubл. 27.11.2003. Бюл. № 17  
11. Патент RU № 2182891 Способ получения силикатного кирпича с использованием высококальциевой золы тепловых электростанций / Овчаренко Г.И., Францен В.Б. – Заявл. 21.07.2000. Оpubл. 10.18.2001. Бюл.№22.  
12. Патент RU № 2171988 Способ определения количества корректирующей добавки при изготовлении автоклавного ячеистого бетона на основе высококальциевой золы ТЭЦ / Овчаренко Г.И., Францен В.Б., Черных К.П. – Заявл.21.07.2000. Оpubл. 10.08.2001.Бюл. № 22  
13. Патент RU № 2197449 Способ изготовления газобетона с минимальной средней плотностью на основе высококальциевой золы ТЭЦ / Овчаренко Г.И., Францен В.Б., Черных К.П. – Заявл.02.06.2000. Оpubл. 27.01.2003.Бюл. № 3.

14. Патент № 2259975. Сырьевая смесь для получения неавтоклавного ячеистого бетона (варианты) / Г.И.Овчаренко, Ю.В.Щукина, В.Б.Францен. - Оpubл. 2005. Был.№ 10.  
15. Патент № 2376253 Способ изготовления золопортландцемента из высококальциевой золы тепловых электростанций/ Овчаренко Г.И., Хижинкова Е.Ю., Францен В.Б. – Заявл.18.09.2007. Оpubл. 20.12.2009. Бюл. № 35.

**Францен В.Б.** – к.т.н., доцент, **Щукина Ю.В.** – к.т.н., доцент, **Хижинкова Е.Ю.** – к.т.н., доцент, **Плотникова Л.Г.** – к.т.н., профессор, **Свиридов В.Л.** – д.т.н., профессор, **Алтайский государственный технический университет,** E-mail: egogo1980@mail.ru.

УДК 624.154.001.4

## ОПРЕДЕЛЕНИЕ НЕСУЩЕЙ СПОСОБНОСТИ ВИНТОВЫХ СВАЙ В ГРУНТОВЫХ ОСНОВАНИЯХ ПО ВЕЛИЧИНЕ КРУТЯЩЕГО МОМЕНТА

А.Ю. Халтурин

*В статье приведен обзор и анализ зарубежной и отечественной литературы, касающейся вопроса определения несущей способности винтовых свай по величине крутящего момента, необходимого для их закручивания. Основным объектом исследования является коэффициент пропорциональности  $K_b$ , равный отношению величины несущей способности сваи к крутящему моменту.*

*Ключевые слова:* грунт, винтовая свая, крутящий момент, несущая способность.

Винтовые сваи обладают рядом существенных преимуществ по сравнению с традиционными свайными технологиями, а именно: высокая скорость и низкая трудоемкость монтажа и демонтажа; безударность погружения; возможность установки свай в труднодоступных местах; отсутствие земляных работ; возможность круглогодичного ведения строительного-монтажных работ. Благодаря данным преимуществам на рынке гражданского и промышленного фундаментостроения России наблюдается устойчивый рост применения данной свайной технологии. Как и для любой другой свайной технологии нетривиальной является задача определения несущей способности винтовой сваи.

По действующему в России нормативному документу СП 24.13330.2011 [1] для винтовых свай возможны следующие методы определения несущей способности грунтов:

– по результатам статических испытаний натурных свай;

– по данным статического зондирования;  
– с использованием характеристик грунтов основания.

Наиболее надежным методом определения несущей способности свай является метод статических испытаний, в тоже время он является наиболее затратным как в финансовом, так и временном плане. При применении двух других методов возникает вопрос применимости существующих алгоритмов расчета к винтовым сваям разных типов (рисунок 1), поскольку конфигурация винтовых лопастей в значительной мере определяет механизм работы винтовой сваи.

Как известно, существующие методы расчета [1] были разработаны на основании исследований однолитковых широколопастных винтовых свай (рисунок 1, а). Общим недостатком вышеуказанных методов является невозможность контроля несущей способности каждой устанавливаемой сваи, что является особенно актуальным при большой