

2. Самонапряжение бетона пропорционально количеству золы и содержанию в золе свободной извести.

3. Дополнительная добавка 10% строительного гипса увеличивает самонапряжение примерно в два раза.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Пособие по проектированию самонапряженных железобетонных конструкций (к СНиП 2.03.01-84)
2. Михайлов, В.В. Расширяющийся и напрягающий цементы и самонапряженные железобетонные конструкции. – М. Стройиздат, 1974. – 312 с.

3. Овчаренко, Г.И. Золой углей КАТЭКа в строительных материалах / Г.И.Овчаренко - Изд-во Краснояр. Ун-та, 1992. - 216 с.

4. Овчаренко, Г.И. Оценка свойств зол углей КАТЭКа и их использование в тяжелых бетонах / Г.И. Овчаренко, Л.Г. Плотникова, В.Б. Францен - Барнаул: Изд-во АлтГТУ, 1997. – 149 с.

*Вебер А.В. - магистр, Брыкина Л.С. - студент, Гаин О.А. - студент, Веригин Ю.А. – д.т.н., профессор, Алтайский государственный технический университет, E-mail: 584orvb@mail.ru.*

УДК 666.952.2

## О ВОЗМОЖНОСТИ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ СМЕСИ КИСЛЫХ И ВЫСОКОКАЛЬЦИЕВЫХ ЗОЛ ТЭЦ В ПРОИЗВОДСТВЕ АВТОКЛАВНОГО КИРПИЧА

А.В. Викторов, В.Б. Францен, А.С. Денисов, В.Ф. Хританков

*Показано, что из смеси кислых (от сжигания кузбасских каменных углей) и высококальциевых (от сжигания бурых углей Канско-Ачинского Бассейна) зол ТЭЦ после предварительной автоклавной обработки ВКЗ можно получить силикатный кирпич относительно высокой прочности. Однако для обеспечения повышенной прочности и морозостойкости материала необходимо оптимизировать основность вяжущего.*

*Ключевые слова: высококальциевые золы ТЭЦ, кислые золы ТЭЦ, силикатный кирпич, основность вяжущего.*

#### ВВЕДЕНИЕ

Как известно, в зарубежных странах более 60% зол и ЗШО перерабатывается в полезный продукт. В СССР же переработке подвергалось только 4-5% топливных отходов [1], в современной России – около 11%.

Одна из главных проблем при переработке кислых ЗШО в строительные материалы – это наличие в составе большого количества недогоревших коксовых остатков (очень часто более 10%). По этой причине кислые ЗШО сами по себе, без добавок и какой-либо дополнительной обработки, являются низкокачественным сырьем для производства СМ (большое количество ППП резко снижает прочность и морозостойкость золосиликатного камня) [2].

В некоторых регионах Сибири имеются как кислые ЗШО от сжигания каменного угля, так и высококальциевые золы – от сжигания бурых углей КАТЭКа. Основным недостатком ВКЗ при использовании их в качестве сырья для производства СМ является наличие в их составе значительного количества свободно-

го «пережженного» оксида кальция. СаОсв, если его не погасить или не связать, приводит к развитию деструктивных процессов в структуре СМ. Основным материал, в который следует перерабатывать ЗШО и ВКЗ – аналог силикатного кирпича, т.к. это очень компактный материал, что выгодно как для применения в строительстве и при осуществлении ликвидации золоотвалов.

#### СЫРЬЕВЫЕ МАТЕРИАЛЫ

В качестве сырьевых материалов использовались: 3 пробы высококальциевой электрофильтровой золы от сжигания бурого угля КАТЭКа на ТЭЦ-3 (БУЗ), одна проба электрофильтровой золы от сжигания кузнецких каменных углей марки Г на Новосибирской ТЭЦ-5 (КУЗ), 3 пробы золошлака (ЗШО) из отвала ТЭЦ-2, одна проба кислой золы из шлама после скруббера ТЭЦ-2 от сжигания кузнецкого угля марки СС (КУЗ), одна проба кислого шлака из-под котла ТЭЦ-2 от сжигания кузнецкого угля, одна проба высококальциевого шлака из-под котла ТЭЦ-3, известь

## О ВОЗМОЖНОСТИ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ СМЕСИ КИСЛЫХ И ВЫСОКОКАЛЬЦИЕВЫХ ЗОЛ ТЭЦ В ПРОИЗВОДСТВЕ АВТОКЛАВНОГО КИРПИЧА

строительная предприятия ООО «Алтайиз-весть», двуводный гипс, песок полевошпатовый поймы реки Обь, песок кварцевый Вла-сихинского карьера. Характеристики и хими-ческий состав зол и ЗШО приведены в табли-цах 1 и 2.

### МЕТОДИКА ЭКСПЕРИМЕНТА

Все компоненты состава перемешива-ются до однородного состояния. Далее полу-ченная смесь увлажняется до нормальной формовочной влажности (определяется ор-ганолептическим методом – смесь держит свою форму после сжатия рукой). Формовоч-ная влажность может колебаться в пределах 4–22%. Точное её значение определяют по-сле формования по параллельной пробе ме-тодом потери воды при высушивании. Рав-

номерно увлажненную массу высыплют в по-лиэтиленовые мешки, после чего подвергают силосованию в сушильных шкафах при тем-пературе 60°C в течение 2–4 часов для гаше-ния извести.

По истечении времени силосования смесь доувлажняется, так как вследствие гидратации извести, часть воды связалась в Ca(OH)<sub>2</sub>. Далее отвешивается необходимое количество приготовленной массы для полу-чения образца-цилиндра размером 50x50 мм. Порция смеси засыпается в пресс-форму и под удельным давлением 20 МПа с равно-мерной подачей нагрузки прессуется обра-зец. Из каждого состава формируется по 3 ци-линдра. Часть оставшейся смеси высушива-ют до постоянной массы, чтобы определить нормальную формовочную влажность.

Таблица 1 - Свойства использованных высококальциевых зол ТЭЦ-3 г. Барнаула

№ про-бы	ТНГ, %	Сроки схватывания		Тонкость помола		ППП, %	Δt, °C	Содержание СаОсв, %			Ос-нов-ность Косн.
		Начало, минуты	Конец, минуты	Оста-ток на сите 008, %	Суд, см <sup>2</sup> /г			откр.	закр.	сумм.	
1	25,3	11	22	5,6	2978,5	0,235	4	3,42	1,60	5,02	1,42
2	24,6	7	19	8,7	3344,7	0,385	6,5	5,41	0,22	5,63	1,45
4	23,9	21	28	5,8	3501,2	0,891	2,5	2,41	0,91	3,32	0,80

Таблица 2 - Химический состав зол, золошлаков и шлака ТЭЦ-2 и ТЭЦ-3 г. Барнаула

Наименование материала	ППП	SiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	CaO	MgO	SO <sub>3</sub>	Сумма	Кк	Косн
1. ВКЗ проба 1	4,19	28,84	7,27	9,32	39,86	8,06	1,56	99,10	1,91	1,45
2. ВКЗ проба 2	5,94	26,99	6,89	11,57	36,73	8,42	1,72	98,26	1,93	1,42
3. ВКЗ проба 4	3,23	36,45	10,95	8,06	30,78	6,88	1,57	97,92	1,33	0,80
4. Шлаковый ще-бень ТЭЦ-3	-	31,17	5,64	16,92	36,66	9,51	0,08	99,98	1,66	1,26
5. Шлаковый пе-сок ТЭЦ-3	-	31,78	5,78	18,00	35,88	8,18	0,11	99,73	1,57	1,15
6. ЗШО ТЭЦ-2 проба 1	3,83	43,15	12,86	32,10	5,55	2,31	0,09	99,89		
7. ЗШО ТЭЦ-2 проба 2	25,75	44,43	18,38	1,81	4,64	1,29	0,57	96,87		
8. ЗШО ТЭЦ-2 проба 2 после прокаливания	-	54,38	26,28	6,87	5,16	1,36	0,57	95,16		
9. ЗШО ТЭЦ-2 проба 3	25,12	46,28	18,97	1,18	2,94	0,73	0,41	95,63		
10. ЗШО ТЭЦ-2 проба 3 после прокаливания	-	58,07	26,89	6,71	4,25	0,27	0,16	96,35		
11. КУЗ ТЭЦ-2	8,32	56,10	21,16	6,06	4,38	0,90	0,98	97,90		
12. Шлак ТЭЦ-2	0,30	62,12	23,21	9,28	3,53	1,06	0,30	99,80		
13. КУЗ Новоси-бирской ТЭЦ-5	3,29	61,87	23,73	5,0	4,38	1,29	0,33	99,89		

*Примечание: Коэффициент качества Кк определен по ГОСТ 3476-74 «Шлаки доменные и электро-термофосфорные для производства цемента»; коэффициент основности Косн. – по П.И. Боженову [4].*

Изготовленные цилиндры помещаются в автоклав и запариваются по заданному режиму: 2 часа – подъем температуры, 6 часов – выдержка при давлении 10 атмосфер (1,0 МПа), затем постепенное остывание. Извлеченные из автоклава образцы-цилиндры высушиваются до постоянной массы в сушильном шкафу при температуре 100°C. Высушенные образцы взвешиваются, измеряются штангенциркулем (диаметр и высота) и испытываются на прессе при равномерной подаче нагрузки. Средняя прочность каждого состава выражается в натуральной величине (МПа).

Контрольный состав состоит из 10% извести в пересчете на СаО и 90% кварцевого песка Власихинского месторождения. Один контрольный состав из трех образцов-цилиндров формуется для каждой запарки в автоклаве. Для каждого образца, по полученным значениям массы, диаметра и высоты рассчитывается средняя плотность. В качестве укрупняющей добавки в каждый исследуемый состав (кроме контрольного) вводился речной песок в количестве 20% от массы вяжущего. Вяжущее для контрольного состава помолу не подвергалось. Остальные исследуемые составы подвергались помолу при энергии 50, 100 или 150% (от энергии, необходимой для помола клинкера на цемент).

## РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

Как показывает практика, использование кислых зол и золошлаков от сжигания Кузбасских каменных углей для изготовления золосиликатного кирпича в чистом виде нежелательно, т.к. получаемые изделия имеют невысокую механическую прочность. Это объясняется наличием значительного количества недогоревших коксовых остатков в составе кислых зол, что снижает прочность (рисунок 1).

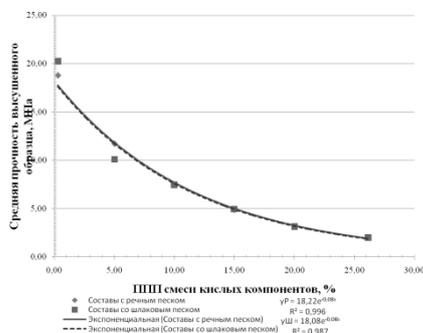


Рисунок 1 - Зависимость прочности силикатного кирпича из золошлаков от содержания в них недогоревших коксовых остатков (потери при прокаливании)

Кроме того, даже при незначительном содержании ППП в составе кислых зол и золошлаков они имеют низкий коэффициент основности, и как следствие – полученный кирпич имеет относительно невысокую прочность на сжатие. Можно добиваться повышения коэффициента основности зол путем введения различных добавок (например, извести и/или двуводного гипса) [3]. Нами рассматривалась возможность получения золосиликатного кирпича с относительно высокой прочностью из смеси кислых и высококальциевых зол и золошлаков ТЭЦ. При этом считалось, что введение в сырьевую смесь ВКЗ для повышения коэффициента основности смеси является наиболее рациональным путем использования топливных отходов; кроме того, при этом получается дешевый стеновой материал, что является актуальным на сегодняшний день.

Композиция № 1: ВКЗ с СаОсв = 3,42% и ЗШО с ППП = 9,57%

На графике (рисунок 2) с достаточно высокой степенью достоверности просматривается тенденция увеличения прочности золосиликатного камня при увеличении коэффициента основности состава и возрастании энергии помола. Это говорит о том, что для получения кирпича высокой марки сырьевую смесь необходимо помолоть. Достаточно энергии помола 50-100%. Однако для получения сырьевой смеси с  $K_{осн} = 0,5-0,7$  необходимо введение в ее состав значительного количества ВКЗ (более 70%).

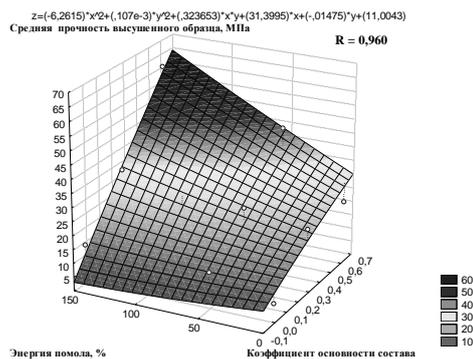


Рисунок 2 – Зависимость прочности при сжатии от энергии помола и коэффициента основности состава (без добавок извести и гипса)

Поэтому была исследована также возможность увеличения коэффициента основности составов путем введения добавки товарной извести (в пересчете на активный оксид кальция). Анализ данных, представлен-

## О ВОЗМОЖНОСТИ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ СМЕСИ КИСЛЫХ И ВЫСОКОКАЛЬЦИЕВЫХ ЗОЛ ТЭЦ В ПРОИЗВОДСТВЕ АВТОКЛАВНОГО КИРПИЧА

ных на рисунке 3, позволяет сделать следующий вывод: чем выше коэффициент основности состава и чем меньше при этом содержание в нем товарной извести (в пересчете на активный оксид кальция), тем прочность данного состава выше.

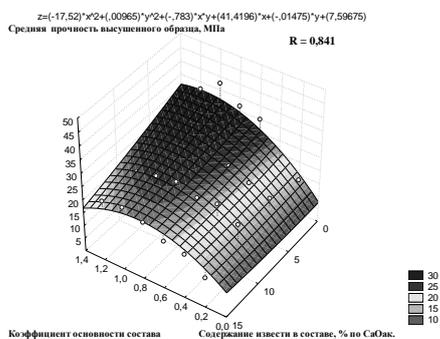


Рисунок 3 – Зависимость прочности при сжатии от содержания товарной извести и коэффициента основности состава на золе с  $K_{осн} = 1,42$  (укрупняющая добавка – речной песок)

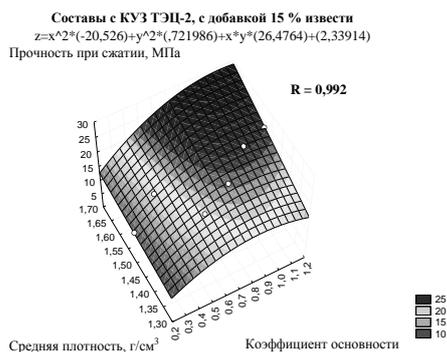


Рисунок 4 – Зависимость прочности при сжатии от средней плотности золосиликатного камня и коэффициента основности состава

Однако увеличение добавки извести несколько повышает прочность низкоосновных композиций. Прочность составов с более высокими коэффициентами основности, наоборот, снижается по сравнению с прочностью тех же составов, но без добавки извести. Такое падение прочности можно объяснить тем, что наличие в составе избыточной извести приводит к образованию при автоклавной обработке гидросиликатов кальция большей основности, но меньшей прочности. Это сказывается и на прочности готового камня. Максимальная прочность (более 30 МПа) наблюдается на основе ВКЗ у безизвестковых составов с  $K_{осн} = 0,8-1,2$ . Если говорить о том, за счет чего повышается прочность золосиликатного камня при повышении коэффициента основности смеси, то помимо того, что

образующиеся при автоклавной обработке соединения имеют высокую механическую прочность сами по себе, немаловажную роль играет также увеличение средней плотности камня. Эта тенденция наглядно отражена на рисунке 4. Проведенные исследования показали, что морозостойкость золосиликатного кирпича из смеси кислых и высококальциевых зол ТЭЦ составляет 15-25 циклов.

### ВЫВОДЫ

В некоторых регионах Сибири на ТЭЦ сжигают как бурые угли КАТЭКа, так и кузбасские каменные угли. Поэтому совместная переработка кислых и высококальциевых зол в различные стройматериалы и в т.ч. в силикатный кирпич позволит решить важную экопроблему устранения золоотвалов, а также снизит стоимость строительства, т.к. промышленные отходы дешевле, чем природное сырье для производства стройматериалов.

В г. Барнауле при полном совместном использовании зол ТЭЦ-2 (кислых) и ТЭЦ-3 (высококальциевых) их соотношение будет  $\approx 70:30$  и потребует дополнительной добавки извести как минимум 5% в случае высокоосновных зол и возможно гипса, а также - обязательного помола при энергии как минимум в 50% от затрат энергии на помол клинкера на цемент. Соблюдение отмеченных выше принципов обеспечит получение в заводских условиях кирпича марок М100-М150. Морозостойкость кирпича при данном соотношении компонентов будет 15-25 циклов.

### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Оямаа, Э.Г. Строительные детали из сланцевых автоклавных бетонов. – М.: Стройиздат, 1964. – 140 с.
2. Волженский, А.В., Буров, Ю.С., Виноградов, Б.Н. Бетоны и изделия из шлаковых и зольных материалов. – М.: Стройиздат, 1969. – 392 с.
3. Овчаренко, Г.И. Зола углей КАТЭКа в строительных материалах. Изд-во Красноярского ун-та, 1991. – 180 с.
4. Боженов, П.И. Технология автоклавных материалов / П.И. Боженов. – Л.: Стройиздат, 1978. – 378 с.

**Викторов А.В.** - аспирант, E-mail: [artem.viktorov2011@yandex.ru](mailto:artem.viktorov2011@yandex.ru), **Францен В.Б.** – к.т.н., доцент, E-mail: [egogo1980@mail.ru](mailto:egogo1980@mail.ru), Алтайский государственный технический университет; **Денисов А.С.** – д.т.н., профессор, **Хританков В.Ф.** – д.т.н., профессор, Новосибирский государственный аграрный университет.

