

ления на оптимизацию выпуска ряда строительных материалов, модернизацию основных фондов предприятий, снижение энергоемкости строительных материалов.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Постановление Администрации Алтайского края от 19.02.2013 №77 «Об утверждении краевой программы «Развитие предприятий промышленности строительных материалов и индустриального домостроения в Алтайском крае до 2020 года».
2. Статья «Основные сведения о строительных процессах». Электронный ресурс: <http://>

www.bibliotekar.ru/spravochnik-161-stroitelnye-tehnologii/2.htm.

3. Алтайкрайстат, Управление по строительству и архитектуре Алтайского края, статья «В Алтайском крае индивидуальное жилищное строительство продолжает расти» 15 ноября 2011 г. Режим доступа: <http://www.doc22.ru/information/2009-01-13-08-16-47/2612-2011-11-15-01-29-42>.

Швецов Г.И. – д.г.-м.н, профессор; Бесклубова С.А. – аспирант, E-mail: beskclubova.svetl@mail.ru, Алтайский государственный технический университет.

УДК 691.316:666.952.2

СИЛИКАТНЫЙ КИРПИЧ ИЗ НЕ ГАШЕНОЙ ВЫСОКОКАЛЬЦЕВОЙ ЗОЛЫ ТЭЦ

О.В. Бортникова, М.В. Климухина, А.В. Викторов, А.С. Денисов, В.Ф. Хританков

Показана возможность получения силикатного кирпича из смеси кислых золошлаковых отходов (ЗШО) от сжигания каменных углей и предварительно не гашеной высококальцевой золы ТЭЦ (ВКЗ) от сжигания бурых углей КАТЭКа путем затворения раствором хлорида натрия и автоклавирования. Для составления рациональных смесей, обеспечивающих необходимую прочность, требуется оптимизация состава смеси по коэффициенту основности. Предложена технологическая схема производства кирпича.

Ключевые слова: высококальцевая зола ТЭЦ, золошлаковые отходы ТЭЦ, хлорид натрия, золосиликатный кирпич.

ВВЕДЕНИЕ

На данный момент во всем мире достаточно остро стоит проблема накопления в отвалах миллиардов тонн зол уноса и шлаков, образующихся на теплостанциях при сжигании угля. Китай, США и большинство стран Западной Европы проводят государственную политику, стимулирующую использование этих отходов (объем переработки достигает 40-100% от текущего выхода).

Широкое использование ЗШО ТЭЦ в России сегодня становится все более актуальной задачей, т.к. перевод энергетического комплекса на рыночные отношения заставляет собственников ТЭЦ снижать тарифы на электрическую и тепловую энергию, а значит снижать многочисленные издержки, в том числе по содержанию систем ГЗУ, золоотвалов, оборотного водоснабжения, «экологическим» выплатам и т.п.

Один из наиболее очевидных путей решения данной проблемы, при увеличении объема жилищного строительства в настоящее время – использование зол и золошла-

ковых отходов для производства силикатного кирпича.

Золы и золошлаковые отходы в регионах Сибири условно можно разделить на две основные группы в зависимости от природы исходного сырья: кислые ЗШО от сжигания каменных углей и высококальцевые золы от сжигания бурых углей КАТЭКа. Главной причиной малого использования кислых ЗШО в качестве сырья для строительных материалов является высокое содержание недогоревших коксовых остатков (до 25-30%), что резко снижает прочность и морозостойкость золосиликатного камня, и только полное выжигание угольных остатков при 800°C и дополнительный помол прокаленных золошлаков позволяет получить материал с высокими строительными – техническими свойствами [3].

Возможности использования ВКЗ в стеновых материалах и опыт внедрения прослеживаются давно [2], но основным сдерживающим фактором для массового применения ВКЗ до сих пор остается неоднородность состава, в частности, высокое процентное содержание свободной извести и оксидов Са и

Mg, находящихся в «пережженном» состоянии, что приводит к деструктивным явлениям в готовом материале с течением времени.

Существует два наиболее заслуживающих внимание способа решения этой проблемы: предварительное гашение извести и периклаза в ВКЗ и «связывание» СаОсв в процессе использования высокоактивных добавок.

Разработанная технологическая схема по переработке высококальциевой золы и шлака ТЭЦ в качественный силикатный кирпич с обезвоживанием шлака из системы ГЗУ и предварительной автоклавной обработкой (гашением) сухой ВКЗ, а также проведенные эксперименты по определению оптимальных параметров предварительного гашения свободной извести золы при запаривании [4] показывают эффективность и целесообразность первого способа.

В данной работе поставлена задача выбора способа переработки смешанного состава зол и ЗШО ТЭЦ в золосиликатный кирпич с использованием высококальциевой золы без предварительной обработки.

СЫРЬЕВЫЕ МАТЕРИАЛЫ

В эксперименте использовались близкие по химическому составу электрофильтовая зола от сжигания кузнецких каменных углей марки Г Новосибирской ТЭЦ-5 и ЗШО от сжигания кузнецких каменных углей марки СС Барнаульской ТЭЦ-2, 9 проб зол от сжигания бурых углей КАТЭКа Барнаульской ТЭЦ-3 (таблицы 1, 2). Для повышения активности и удаления недожженных частиц угля (потери при прокаливании – п.п.п.) кислые золошлаковые отходы ТЭЦ-2 подвергались прокаливанию при $t = 800^{\circ}\text{C}$ и помолу.

Кальциевая известь содержала около 89% активных СаО и MgO и по основным показателям соответствовала извести второго сорта по ГОСТ 9179-77.

МЕТОДИКА ЭКСПЕРИМЕНТА

Сырьевая смесь из высококальциевых зол, предварительно активированных ЗШО и добавок (при необходимости) увлажнялась, герметизировалась в полиэтиленовых пакетах и подвергалась силосованию при 60°C в течение 2-4 часов. Далее при удельном давлении прессования 20 МПа из массы формировались образцы цилиндрической формы диаметром и высотой 50 мм, которые запаривались в автоклаве при 1 МПа с изотермической выдержкой 8 часов. После этого, высушенные до постоянной массы образцы подвергались испытаниям на прочность.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

Анализ результатов эксперимента показал, что добавление в ВКЗ 20% кислых прокаленных и активированных ЗШО, как активной минеральной добавки, позволяет значительно снизить деструктивные явления, а добавка 30% ЗШО полностью их исключает (рисунки 1, 2).

Добавление 5-7% извести с целью упрочнения камня и противодействия напряжениям из-за расширения пережженной извести при гашении не дает бездеструктивного твердения материала (рисунок 3). Это говорит о том, что составы с 80-70% ВКЗ уже сами по себе являются высокоосновными композициями и при введении большего количества извести реакция гидротации СаО св. золы в закрытой форме происходит более медленно и не полностью.

Известно, что добавление к ВКЗ NaCl приводит к химическим взаимодействиям, в результате которых свободная известь золы превращается в СаCl₂, который в дальнейших реакциях гидратации взаимодействует с алюмоинатной и алюмоферритной фазами золы.

Таблица 1 – Химический состав зол и ЗШО от сжигания кузнецких каменных углей

| Наименование материала | ППП | SiO ₂ | Al ₂ O ₃ | Fe ₂ O ₃ | CaO | MgO | SO ₃ | Сумма |
|------------------------------|-------|------------------|--------------------------------|--------------------------------|------|------|-----------------|-------|
| ЗШО ТЭЦ-2, г. Барнаул | 25,12 | 46,28 | 18,97 | 1,18 | 2,94 | 0,73 | 0,41 | 95,63 |
| ЗШО ТЭЦ-2 после прокаливания | - | 58,07 | 26,89 | 6,71 | 4,25 | 0,27 | 0,16 | 96,35 |
| Зола ТЭЦ-5, г. Новосибирск | 3,29 | 61,87 | 23,73 | 5,0 | 4,38 | 1,29 | 0,33 | 99,89 |

Таблица 2 – Свойства использованных высококальциевых зол ТЭЦ-3 г. Барнаула

| № пробы | ТНГ, % | Сроки схватывания | | Тонкость помола | | Δt, °С | Содержание CaO _{св} , % | | |
|---------|--------|-------------------|---------------|------------------------|---------------------------------------|--------|----------------------------------|-------|-------|
| | | Начало, минуты | Конец, минуты | Остаток на сите 008, % | S _{уд.} , см ² /г | | откр. | закр. | сумм. |
| ВКЗ №1 | 25,3 | 11 | 22 | 5,6 | 2979 | 4 | 3,42 | 1,6 | 5,02 |
| ВКЗ №2 | 24,6 | 7 | 19 | 8,7 | 3345 | 6,5 | 5,41 | 0,22 | 5,63 |
| ВКЗ №3 | 23,9 | 21 | 28 | 5,8 | 3501 | 2,5 | 2,41 | 0,91 | 3,32 |
| ВКЗ №4 | 24,5 | 19 | 35 | 13,22 | 2725 | 7 | 3,70 | 0,54 | 4,24 |
| ВКЗ №5 | 25,3 | 14 | 27 | 13,36 | 2810 | 7 | 4,28 | 0,40 | 4,67 |
| ВКЗ №6 | 24,8 | 15 | 22 | 9,1 | 2754 | 7 | 3,20 | 0,08 | 3,28 |
| ВКЗ №7 | 26,5 | 10 | 16 | 8,3 | 2988 | 4 | 2,55 | 0,56 | 3,10 |
| ВКЗ №8 | 26,7 | 11 | 15 | 9,3 | 2593 | 4 | 2,29 | 0,51 | 2,80 |
| ВКЗ №9 | 25,1 | 9 | 17 | 10,8 | 2622 | 3,5 | 2,29 | 0,79 | 3,08 |



Рисунок 1 – Образцы силикатного кирпича с содержанием ВКЗ 100, 90%

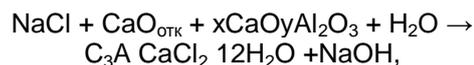


Рисунок 2 – Образцы силикатного кирпича с содержанием ВКЗ 80, 70%



Рисунок 3 – Образцы силикатного кирпича на основе ВКЗ и ЗШО с добавкой извести

При этом будет ускоряться гидратация CaO_{св} золы, и высвобождаться щёлочь NaOH



которая является активизатором автоклавных процессов, способствует повышению прочности камня и обеспечивает твердение без деформации.

Известно также, что гидроксид кальция отличается малой растворимостью, которая резко падает с ростом температуры. Так растворимость Ca(OH)₂ в воде составляет 1,23 г/л при 20°C, а при 100°C – 0,49 г/л. В то же время растворимость кремнезема с ростом температуры резко возрастает, при этом усиливается образование гидросиликатной связ-

ки силикатных изделий. При добавлении до 3% таких солей как NaCl, концентрация ионов кальция в жидкой фазе вяжущих систем растет. Максимальная растворимость гидроксида кальция наблюдается в растворе, содержащем 60 г/л NaCl.

Результаты нашего исследования подтверждают эту теорию для зольных систем и показывают, что прочность запаренного кирпича без предварительного гашения высококальциевой золы с добавкой NaCl увеличивается пропорционально содержанию в ВКЗ свободной извести СаОсв (рисунки 4, 5).

Добавление к данной композиции товарной извести в количестве 5% значительно повышает прочность бездефектного материала, и она может достигать в заводских условиях (с учетом коэффициента пересчета 0,55) 10-15 МПа при 50% ВКЗ и 10 МПа при 25% ВКЗ (рисунок 6)

Статистические исследования устойчивости данной технологии, проведенные на 9 пробах ВКЗ, показали, что для составления рациональных смесей нужно оптимизировать их по коэффициенту основности.

При использовании сырья с $K_{осн} > 1$ необходима кислая, а при $K_{осн} < 1$ – основная корректирующая добавка [2].

На графике (рисунок 7) просматривается тенденция увеличения прочности золосиликатного камня при увеличении коэффициента основности состава и возрастании энергии помола, из чего следует, что для получения кирпича высокой марки достаточно 50-100% энергии помоласырья.

Однако для получения сырьевой смеси с $K_{осн} = 0,5-0,7$ необходимо введение в её со-

став ВКЗ около 70%, а для сырьевой смеси с $K_{осн} = 1$ – более 80%. Поэтому была исследована возможность увеличения коэффициента основности составов путем введения добавки товарной извести (рисунок 8).

Исходя из проведенных исследований, также можно сказать, что чем выше коэффициент основности состава и чем меньше при этом в нем товарной извести (в пересчете на активный оксид кальция), тем прочность данного состава выше.

Для полученного золосиликатного кирпича автоклавного твердения была разработана технологическая схема, которая включает в себя пять этапов:

1. Переработка ЗШО ТЭЦ из ГЗУ и золотвалов с их обезвоживанием и дожиганием коксовых остатков в котлах кипящего слоя и последующим помолом.
2. Помол комовой извести.
3. Подготовка золошлаковой смеси по традиционной технологии производства силикатного кирпича.
4. Добавка раствора хлорида натрия.
5. Производство золошлакового кирпича по методу автоклавного твердения.

ВЫВОДЫ

Показано, что на основе смеси активированных кислых ЗШО и высококальциевой золы ТЭЦ без предварительного гашения в ней свободной извести, можно получить прессованный запаренный материал с уменьшенной деструктивностью.

Еще большего уменьшения ее деструктивности за счет поздней гидратации свобод-

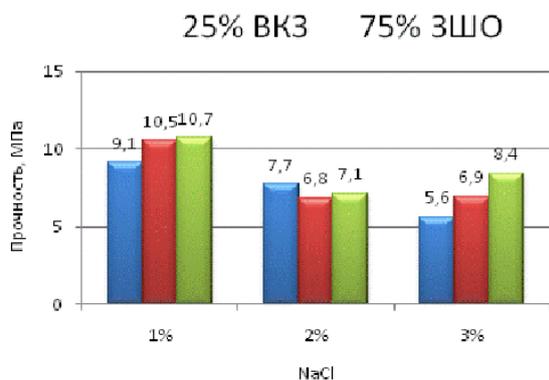


Рисунок 4 – Зависимость прочности золосиликатного кирпича от содержания добавки NaCl в массе и различных проб ВКЗ в составах 25% ВКЗ и 75% ЗШО

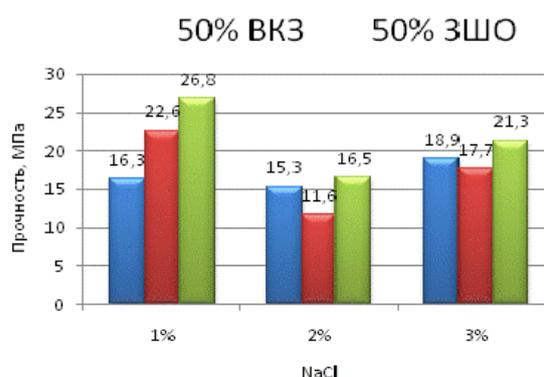


Рисунок 5 – Зависимость прочности золосиликатного кирпича от содержания добавки NaCl в массе и различных проб ВКЗ в составах 50% ВКЗ и 50% ЗШО

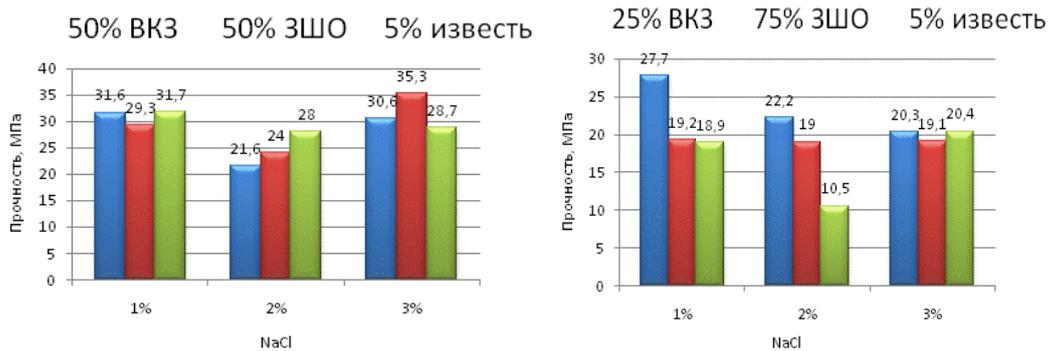


Рисунок 6 – Зависимость прочности золосиликатного кирпича от содержания добавки NaCl в массе и различных проб ВКЗ с добавлением 5% товарной извести

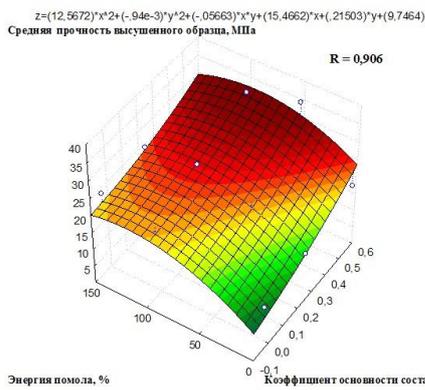


Рисунок 7 – Зависимость прочности при сжатии от энергии помола и коэффициента основности состава на золе с Коэф. = 1,45 (без добавки извести)

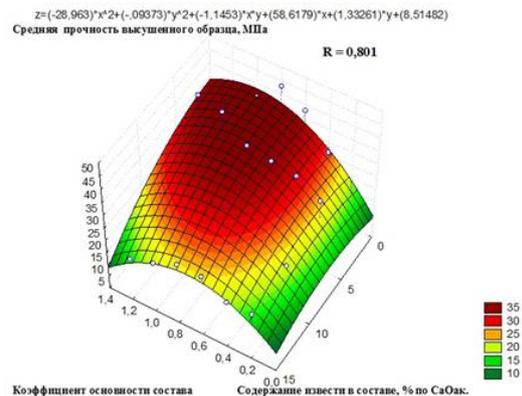


Рисунок 8 – Зависимость прочности при сжатии от содержания товарной извести и коэффициента основности состава на золе с Коэф. = 1,45 (укрупняющая добавка – шлаковый песок)

ной извести ВКЗ с повышением прочности материала можно обеспечить дополнительной добавкой NaCl.

Полученный материал типа силикатного кирпича имеет приемлемую прочность.

Оптимальные смеси кислой и высококальциевой зол подчиняются правилам составления композиций по коэффициенту основности П.И. Боженова.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Овчаренко, Г.И. Золой углей КАТЭКа в строительных материалах. Изд-во Красноярского ун-та, 1991. – 180 с.
2. Боженов, П.И. Технология автоклавных материалов. – Л: Стройиздат, 1978. – 378 с.
3. Овчаренко, Г.И. Новая технология переработки кислых золошлаковых отходов ТЭЦ в строительные материалы [Текст] / Г.И. Овчаренко,

Д.И. Гильмияров, А.В. Викторов, Н.А. Фок // Известия вузов. Строительство. – 2012. – № 10. – С.14-19.

4. Овчаренко, Г.И. Технология переработки высококальциевой золы и шлака ТЭЦ в силикатный кирпич [Текст] / Г.И. Овчаренко, Ю.Ю. Фомичев // Известия вузов. Строительство. – 2012. – № 11-12. – С. 47-53.

Бортникова О.В. – ассистент, Институт архитектуры и дизайна Алтайского государственного техни-ческого университета; **Климухина М.В.** – студент; **Викторов А.В.** – аспирант, E-mail: kafCM@bk.ru, Алтайский государственный технический университет; **Денисов А.С.** – д.т.н., профессор, **Хританков В.Ф.** – д.т.н., профессор, Новосибирский государственный аграрный университет, г. Новосибирск.