

ВЯЖУЩИЕ ДЛЯ БЕЗУСАДОЧНЫХ КОМПОЗИЦИЙ, ТВЕРДЕЮЩИХ ПРИ ПОНИЖЕННЫХ ТЕМПЕРАТУРАХ

**Боечко О.Н., Зуйкова Е.М. - студенты гр. ПСК – 81
Научный руководитель - ассистент Музалевская Н.В.**

Как известно, твердение портландцемента сопровождается усадочными деформациями и приводит к трещинообразованию материалов на его основе. Факторами, способствующими расширению, являются: образование этtringита и/или гидроксида кальция. Исходя из этих условий, для получения расширяющихся цементов применяют различные материалы, основными из которых являются гипс и глиноземистый цемент, высококальциевая зола. Высококальциевая зола будет обеспечивать расширение за счет поздней гидратации «пережженного» оксида кальция, а комплекс «гипс + глиноземистый цемент» - за счет образования дополнительного количества этtringита. При этом в работе Й. Штарка [1] установлена зависимость степени расширения искусственного камня за счет образования этtringита при твердении расширяющихся цементов при различных температурах.

Поэтому целью данного исследования являлось выявление влияния режима твердения на собственные деформации золо-цементного вяжущего с дополнительными расширяющими добавками (гипсом и глиноземистым цементом).

В работе использовались следующие сырьевые материалы: цемент ПЦ500 Д0 Искитимского завода, высококальциевая зола Барнаульской ТЭЦ -3 с содержанием $\text{CaO}_{\text{св}}$ 2,8%, гипс марки Г3 производства ООО «Геркулес - Сибирь» г. Новосибирск, глиноземистый цемент М400 Д0 фирмы «Isidac» (Турция).

Для проведения эксперимента из теста нормальной плотности смешанного вяжущего формовались балочки размерами 2,5*2,5*28 см с реперами и кубики с размерами 2*2*2 см. В качестве контрольного состава использовалась смесь из 40% ПЦ и 60% высококальциевой золы. Вяжущее с дополнительными расширяющими компонентами: гипсом и/или глиноземистым цементом в количестве 5, 10, 15, 20 % готовили простым смешиванием. Твердение образцов происходило при температуре +3 °С и относительной влажности 80 – 90 %. Линейные деформации определялись на индикаторе часового типа в первые две недели через день, в последующем – через 2-3 дня. Прочностные характеристики определялись на 3, 7, 14 и 28 сутки.

Результаты исследований показали, что при пониженной температуре твердения с увеличением содержания гипса и глиноземистого цемента (до 20 %) линейные деформации расширения возрастают до 10 мм/м (рисунок 1), тогда как контрольный образец имеет усадку. При этом большое влияние на величину деформаций оказывает содержание гипса в составе вяжущего. Оценивая же прочностные характеристики данных составов, установлено, что прочность резко снижается при увеличении содержания расширяющих компонентов до максимальной величины (рисунок 2). Это объясняется образованием значительного количества этtringита и этtringитоподобных фаз, приводящим к деструкции образцам и медленным набором прочности при пониженной температуре.

Таким образом, введение дополнительных расширяющих компонентов в состав золо-цементного вяжущего в количестве 10-15 % обеспечивает линейное расширение 2-3 мм/м и максимальный набор прочности при сжатии при твердении при пониженной температуре.

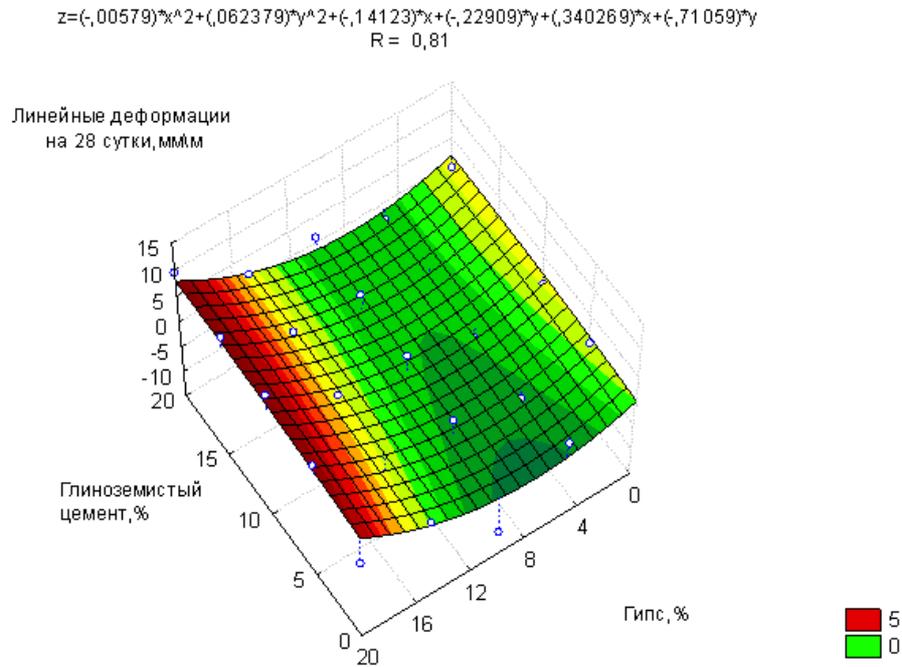


Рисунок 1 – Зависимость линейных деформаций искусственного камня от количества гипса и глиноземистого цемента в его составе при твердении при пониженной температуре

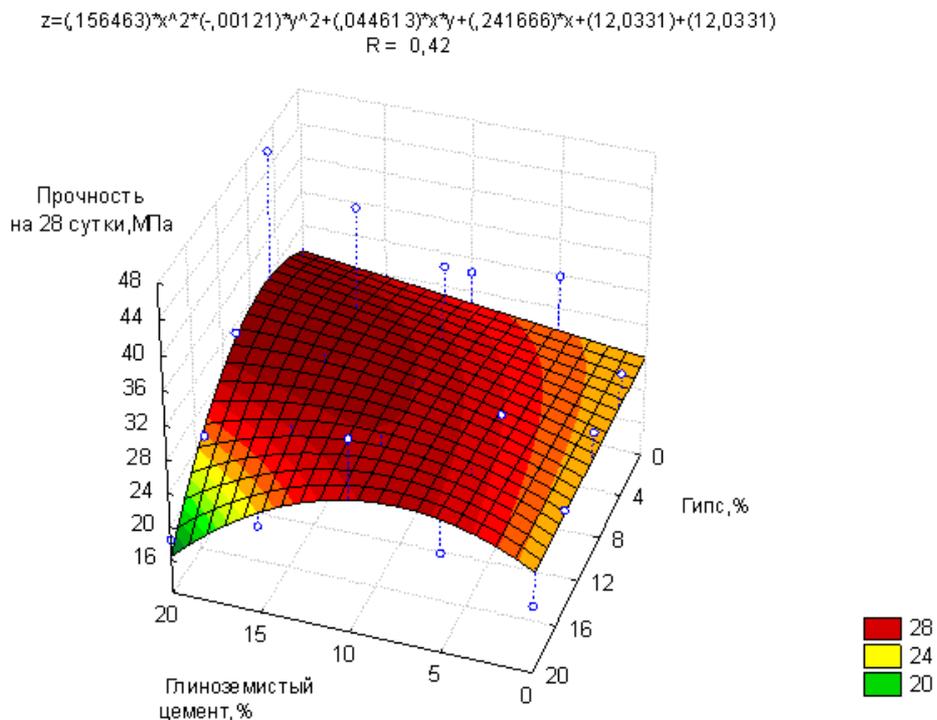


Рисунок 2 – Зависимость прочности при сжатии искусственного камня от количества гипса и глиноземистого цемента в его составе при твердении при пониженной температуре

Литература

1. Штарк Йохен, Вихт Бернд. Цемент и известь / Пер. с нем. – А. Тулаганова. Под ред. П. Кривенко – Киев, 2008 – 480 с.

ВЯЖУЩЕЕ ДЛЯ ПРОИЗВОДСТВА АВТОКЛАВНОГО ГАЗОБЕТОНА НА ОСНОВЕ ВЫСОКОКАЛЬЦИЕВОЙ ЗОЛЫ ТЭЦ

Гусына П.Е., Борисов М.А. – студенты гр. ПСК-81
Научный руководитель – к.т.н., Щукина Ю.В.
аспирант Чиженко С.И.

Применение высококальциевых зол в производстве автоклавных строительных материалов известно уже давно. Так имеется большой опыт изготовления автоклавных газобетонов из зол от сжигания сланца в Прибалтике. Близость химического состава пылевидных сланцевых зол к составу зол от сжигания Канско-Ачинских углей создаёт предпосылки для производства автоклавного газобетона в районах Западной Сибири, где используются эти угли как энергетическое топливо. Кроме этого материал с ячеистой структурой значительно смягчает деструктивные процессы при твердении и при эксплуатации материала за счет возможности гидратирующих фаз золы расширяться в поровом пространстве. Однако неотъемлемой особенностью проб высококальциевой золы является широкий разброс их по химическому и минералогическому составу, что и определяет значительные колебания свойств самих проб золы, а также свойств материала на их основе. Для уменьшения разброса свойств готового материала до уровня пригодности (удовлетворения требованиям ГОСТ) необходим дифференцированный подход, к использованию золы, т.е. гибкая технология, учитывающая свойства и состав сырья, которые определяют выходные параметры готового материала.

Поэтому целью данных исследований является разработка оптимальных составов для производства автоклавного газобетона на основе высококальциевой золы.

В работе использовались: высококальциевая электрофильтровой зола от сжигания бурого угля КАТЭКа на ТЭЦ-3 (БУЗ) с содержанием свободного $\text{CaO}_{\text{отк}}$ 3,21 %, $\text{CaO}_{\text{сум}}^{\text{своб}}$ 4,63 %; известь строительная с содержанием активных CaO и MgO 73,9 % (И), молотый песок Черемного месторождения с остатком на сите № 008 – 4 %.

Немолотую высококальциевую золу предварительно запаривали в автоклаве при давлении 10 атм и времени выдержки при постоянном давлении 4 часа. Образцы размером $2 \times 2 \times 2$ см с $V/T = 0,42$ изготавливали:

1) только на основе высококальциевой золы с применением химических добавок и извести,

2) молотым песком замещали предварительно автоклавированную золу от 10 до 50 %. К полученной смеси добавляли как химические добавки, так и молотую известь.

Изготовленные образцы помещаются в автоклав и подвергаются автоклавной обработке при давлении 10 атм и времени выдержки при постоянном давлении 10 часов.

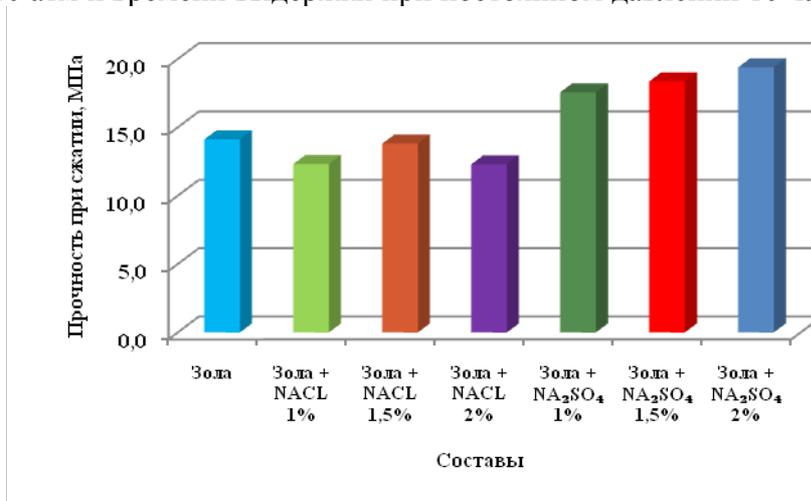


Рисунок 1 Зависимость прочности зольного камня от вида добавки ускорителя твердения

В результате эксперимента установлено, что введение добавки ускорителя твердения в виде сульфата натрия в количестве 1 – 2 % позволяет повысить прочность зольного камня на 25 – 40 % по сравнению с исходной золой (рисунок 1). Применение хлорида натрия в такой системе не эффективно.

Введение извести приводит к снижению прочности камня, появлению на образцах сетки мелких трещин, что связано с увеличением основности золы (т.е. увеличение содержания свободной извести в золе).

Введение корректирующей добавки в виде молотого кварцевого песка приводит к повышению прочности в среднем на 30 – 40 % по сравнению с контролем. Повышение прочности можно обосновать достижением оптимального коэффициента основности смеси, который находится в пределах от 0,7 до 1,0 (рисунок 2).

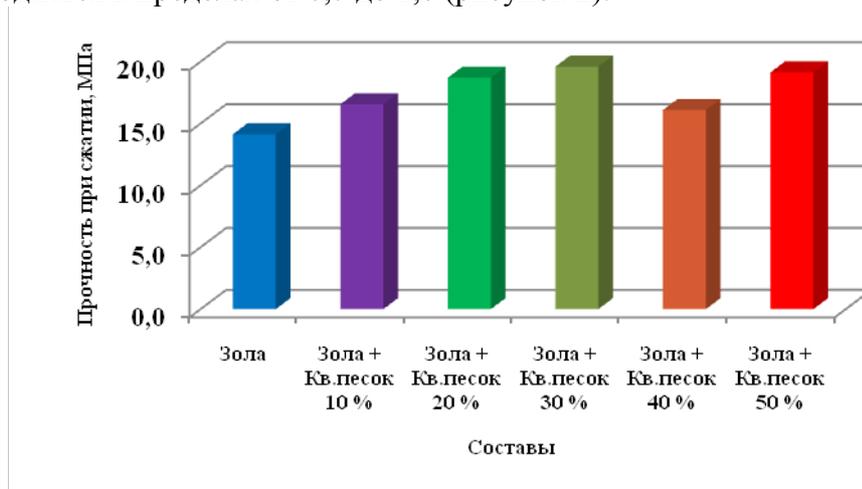


Рисунок 2 Зависимость прочности зольного камня от количества молотого песка

Совместное использование молотого кварцевого песка в количестве 40 % и добавки сульфата натрия 1,5 % позволяют повысить прочность в 2 раза по сравнению с исходной золой и в 1,5 % раза – исходный бездобавочный состав (рисунок 3).

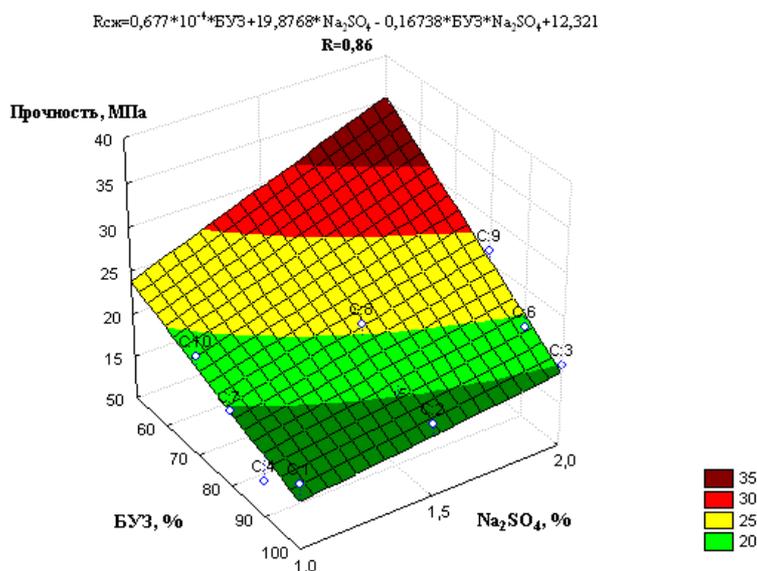


Рисунок 3 Зависимость прочности автоклавного камня от количества высококальциевой золы и сульфата натрия

Таким образом, в результате проведенного эксперимента установлено, что

1. Введение добавки ускорителя твердения Na_2SO_4 в количестве 1 – 2 % позволяет создать бездефектную структуру зольного камня и повысить прочность в среднем на 25 – 40 %. Коэффициент основности используемой золы ориентировочно составляет 0,42.

2. Дальнейшее увеличение Косн за счет введения молотой извести приводит к снижению прочности до 20 %.

3. Введение корректирующей добавки в виде молотого кварцевого песка повышает прочностные характеристики в среднем на 30 – 40 % по сравнению с контролем.

4. Совместное использование молотого кварцевого песка в количестве 40 % и добавки сульфата натрия 1,5 % позволяют повысить прочность в 2 раза по сравнению с исходной золой и в 1,5 % раза с исходным бездобавочным составом.

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ТОПЛИВНЫХ ОТХОДОВ В ПРОИЗВОДСТВЕ СИЛИКАТНОГО КИРПИЧА

Викторов А. В. – студент гр. ПСК-61

Научный руководитель – д. т. н., проф. Овчаренко Г. И.

На сегодняшний день весьма актуальной является проблема утилизации золы и других топливных отходов, их применение как основного материала в производстве силикатного кирпича и других автоклавных материалов, так как существует необходимость в доступных строительных материалах и в эффективном решении экологических проблем, вызванных тем, что огромные территории заняты под золоотвалы. Переработка зол и золошлаков в силикатный кирпич позволит решить сразу 2 проблемы - с недорогим строительным материалом реализовать различные государственные программы по строительству социального жилья и одновременно улучшить экологическую ситуацию в городах.

Целью работы являлось исследование свойств силикатного кирпича из кислых и высококальциевых зол и золошлаков ТЭЦ г. Барнаула.

В работе использовались: 3 пробы высококальциевой электрофильтровой золы от сжигания бурого угля КАТЭКа на ТЭЦ-3 (БУЗ), 1 проба электрофильтровой золы от сжигания кузнецких каменных углей марки Г на Новосибирской ТЭЦ-5 (КУЗ), 3 пробы золошлака (ЗШО) из отвала ТЭЦ-2, 1 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 строительная предприятия ООО «Алтайизвесть», двухводный гипс, песок полевошпатовый поймы реки Обь, песок кварцевый Власихинского карьера.

Эксперимент проводился на образцах-цилиндрах 50×50 мм (диаметр и высота). В качестве укрупняющей добавки в сырьевую смесь вводился песок (речной либо шлаковый ТЭЦ-3) в количестве 20 % от массы вяжущего. Сырьевая смесь предварительно увлажнялась до нормальной формовочной влажности (определялась органолептическим методом) и силосовалась при температуре 60 °С в течение 2-4 часов для гашения извести. После силосования сырьевая смесь при необходимости доувлажнялась до нормальной формовочной влажности. Из каждого состава формовалось по 3 цилиндра. Образцы прессовались при удельном давлении 20 МПа. Часть оставшейся смеси высушивалась до постоянной массы, чтобы определить нормальную формовочную влажность. Изготовленные цилиндры запаривались в автоклаве по режиму: 2 часа – подъем температуры, 6 часов – выдержка при давлении 10 атмосфер (1,0 МПа), затем постепенное остывание за 1,5- 2 часа. Извлеченные из автоклава образцы-цилиндры высушивались до постоянной массы в сушильном шкафу при температуре 100 °С. Высушенные образцы взвешивались, измерялись штангенциркулем (диаметр и высота) и испытывались на прессе при равномерной подаче нагрузки. Контрольный состав состоял из 10 % извести в пересчете на СаО и 90 % кварцевого песка Власихинского месторождения. Один контрольный состав из трех образцов-цилиндров формовался для каждой запарки в автоклаве. Для каждого образца, по полученным значениям массы, диаметра и высоты рассчитывалась средняя плотность. Составы с оптимальной прочностью испытывались на морозостойкость. Также исследовалось влияние ППП кислого сырья на прочность золосиликатного кирпича.

Результаты эксперимента представлены на рисунках 1-3.

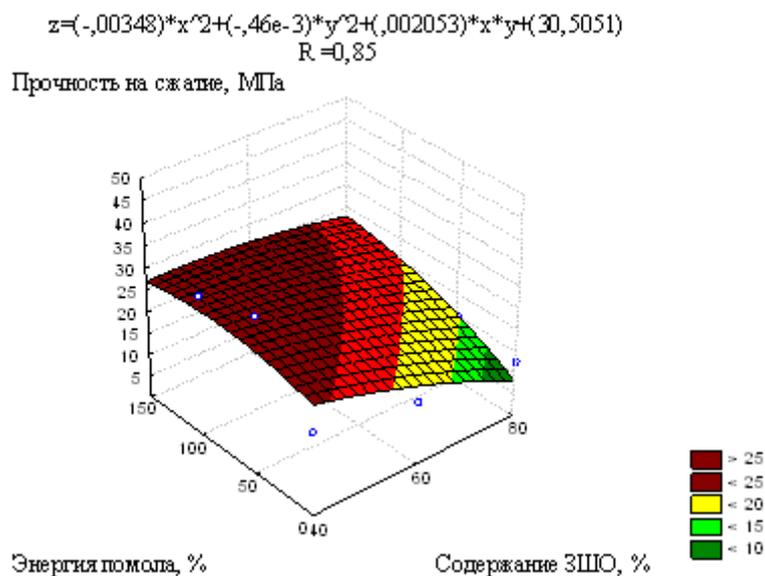


Рисунок 1 – График зависимости прочности на сжатие силикатных образцов-цилиндров от различной энергии помола и содержания ЗПО без добавок извести и гипса

Из рисунка 1 видно, как увеличивается прочность камня с уменьшением дозировки ЗПО (а значит – с возрастанием содержания ВКЗ) в немолотых составах, а также значительное влияние энергии помола на составы с большим содержанием ЗПО. И, наоборот, - незначительное влияние помола после энергии в 50 % для составов с высоким содержанием ВКЗ.

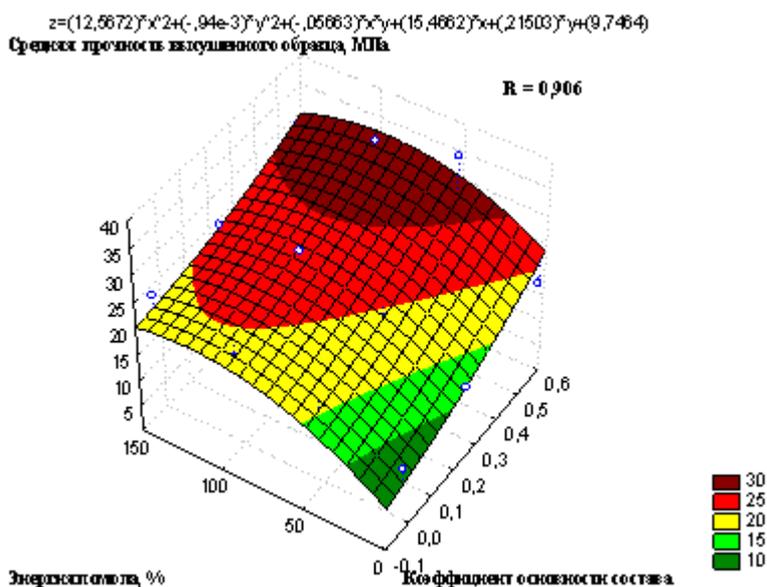


Рисунок 2 – Зависимость прочности при сжатии от энергии помола и коэффициента основности состава

На данном графике (рисунок 2) с достаточно высокой степенью достоверности просматривается тенденция увеличения прочности образцов-цилиндров при возрастании энергии помола и увеличении коэффициента основности состава. Это подтверждает теорию П. И. Боженова о важной роли коэффициента основности при подборе состава сырьевой смеси, а также тот факт, что для получения кирпича высокой марки сырьевую смесь необходимо помолоть. Достаточно будет энергии помола 50-100 %.

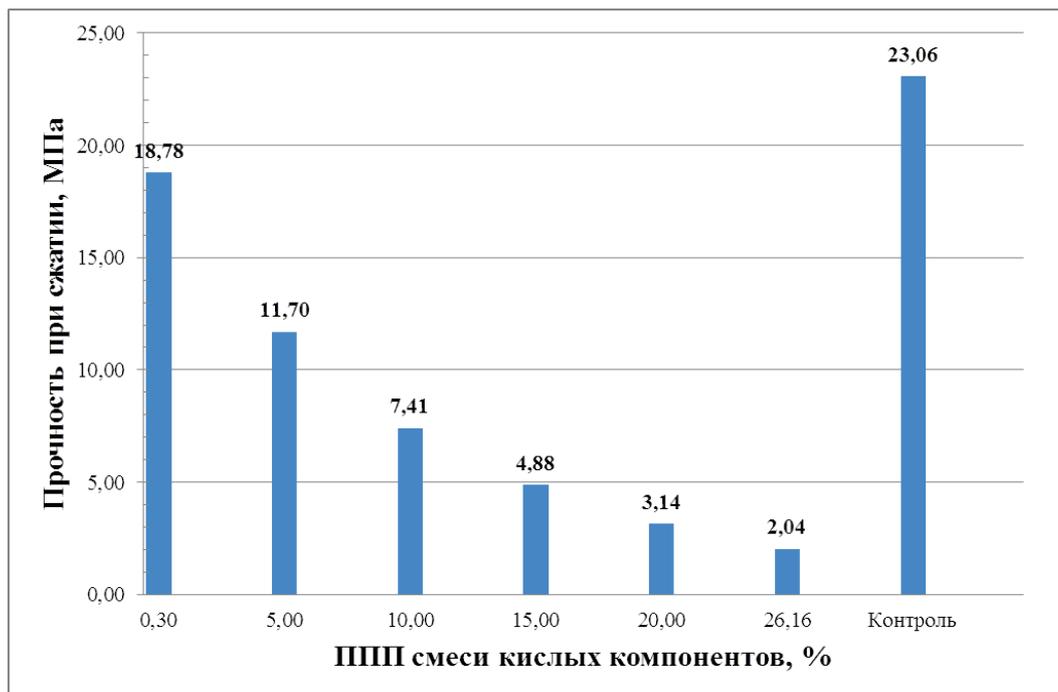


Рисунок 3 – Зависимость прочности при сжатии от ППП кислого компонента (составы с речным песком)

Как видно из данных, представленных на гистограмме (рисунок 3), наличие в сырьевой смеси недогоревших коксовых остатков значительно влияет на прочность силикатных образцов-цилиндров. Присутствие в смеси всего лишь 5 % ППП уже приводит к падению прочности в 1,6 раза. Эта тенденция сохраняется при дальнейшем увеличении ППП смеси.

Тонкость помола кислого шлака ТЭЦ-2 (с ППП = 0,30 %) характеризуется остатком 7,2 % на сите № 008. Кислые ЗШО ТЭЦ-2 проба 3 (с ППП = 26,16 %) не молот. Смеси этих компонентов не молот, просто смешивал.

В результате работы было выявлено, что:

1. Для максимально эффективного использования вяжущих свойств золошлаков необходим их помол совместно с известью, двуводным гипсом или другими используемыми при производстве кирпича добавками.

2. Кислые золы и золошлаки требуют обязательной добавки извести и гипса, они более значительно откликаются на измельчение, в то время как высокоосновные ВКЗ не показывают существенного увеличения прочности после помола и не требуют добавок извести или гипса.

3. Прочности композиций на основе кислых золошлаков и ВКЗ возрастают пропорционально коэффициенту основности (или содержанию ВКЗ) и энергии помола смесей. В составах с высоким содержанием ВКЗ добавка извести не требуется или её количество не должно превышать 5 %. И наоборот, добавка извести необходима для составов с высоким содержанием ЗШО. Добавка гипса желательна в высокоизвестковых составах и не требуется для составов с высоким содержанием ВКЗ.

4. При полном совместном использовании зол ТЭЦ-2 и ТЭЦ-3 их соотношение будет около 70:30 и поэтому 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.

ПОЛУЧЕНИЕ ТЕПЛОИЗОЛЯЦИОННОГО ПЕНОБЕТОНА С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ МИНЕРАЛЬНЫХ ДОБАВОК

**Власова И.Н., Иванова К.В. – студенты группы ПСК-61
Научный руководитель – к.т.н. Щукина Ю.В.
- аспирант Баев М.Н.**

При создании энергосберегающих и экологически чистых ограждающих конструкций должны использоваться нейтральные и долговечные строительные материалы, способные обеспечивать конструкциям надежность, безопасность и экономичность в эксплуатации, а также благоприятный микроклимат в помещениях. Указанным требованиям в большей мере удовлетворяет пенобетон средней плотности $400 \dots 600 \text{ кг/м}^3$ в однослойных конструкциях и $100 \dots 200 \text{ кг/м}^3$ в качестве эффективного утеплителя – в многослойных. Теплоизоляционный пенобетон при такой плотности, имея достаточную транспортную и монтажную прочность, при стабильном производстве способен конкурировать с пенополистерольными, пенполиуретановыми и минераловатными утеплителями, широко применяемыми в настоящее время в наружных стенных и плитах покрытий.

Стабильно получать неавтоклавный пенобетон средней плотностью ниже 150 кг/м^3 затруднительно из-за неустойчивости и расслаиваемости пеномассы даже при небольшой высоте формируемых изделий, тем более при монолитном бетонировании стен на всю их высоту. Прочность такого пенобетона недопустимо мала ($< 0,1 \text{ МПа}$). Для исключения технологических факторов при производстве пенобетона возникает необходимость разработки сухой строительной смеси. Сложность такой разработки состоит в том, что пенообразователь для пенобетона производится в жидком виде.

Целью данной работы было получение сухой смеси для производства неавтоклавного теплоизоляционного пенобетона. Для достижения поставленной цели необходимо решить следующие задачи: исследование влияния разных пенообразователей и минеральных добавок на плотность, структуру и прочностные характеристики пенобетона, выявить оптимальное сочетание пенообразователя и минеральной добавки; разработать состав сухого пенообразователя на основе минеральных носителей.

В научно-исследовательской работе были использованы следующие сырьевые материалы: ПЦ 400 Д 20 (Голухинского цементного завода), соответствующий требованиям ГОСТ; белковые пенообразователи Foamcem (Италия), Reniment SB 31 L (Германия); минеральные добавки (бентонит, каолин, мел).

Для испытаний на прочность при сжатии формировался массив пенобетона размерами $20 \times 30 \times 60 \text{ см}$, далее из него выпиливались образцы-кубы $10 \times 10 \times 10 \text{ см}$, которые твердели в нормальных условиях и испытывались на прочность через 3, 14, 28 суток.

На первом этапе оценивалось влияние белковых пенообразователей и минеральных добавок на свойства пенобетона. Лучшие результаты приведены на рисунке 1.

Из рисунка 1 видно, что образцы на основе ПЦ с пенообразующей добавкой Foamcem показывают наибольшие прочностные показатели к 28 суткам нормального твердения. Также следует отметить, что контрольные составы наряду с высокой прочностью обладают высокой степенью расслоения массива по средней плотности, имеют рыхлую структуру с крупными порами.

На втором этапе минеральные носители с оптимальной дозировкой смешивались с пеноконцентраатами и высушивались при температуре $60 \text{ }^\circ\text{C}$ для получения сухого пенообразователя.

В ходе исследования выявлено, что использование ПЦ в качестве минерального носителя делает невозможным получение теплоизоляционного пенобетона из-за низкой кратности получаемой пены, а применение каолина приводит к осаждению массива.

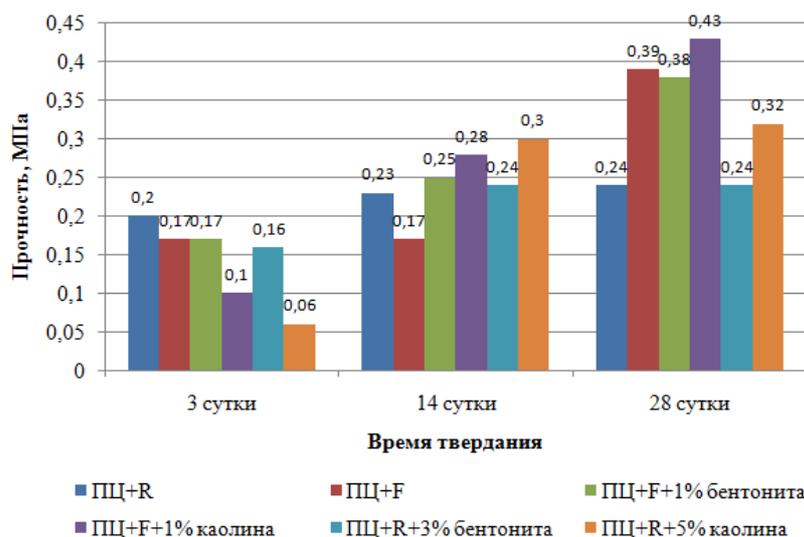


Рисунок 1 – Кинетика набора прочности неавтоклавного пенобетона плотностью 200 кг/м³ с добавками бентонита и каолина

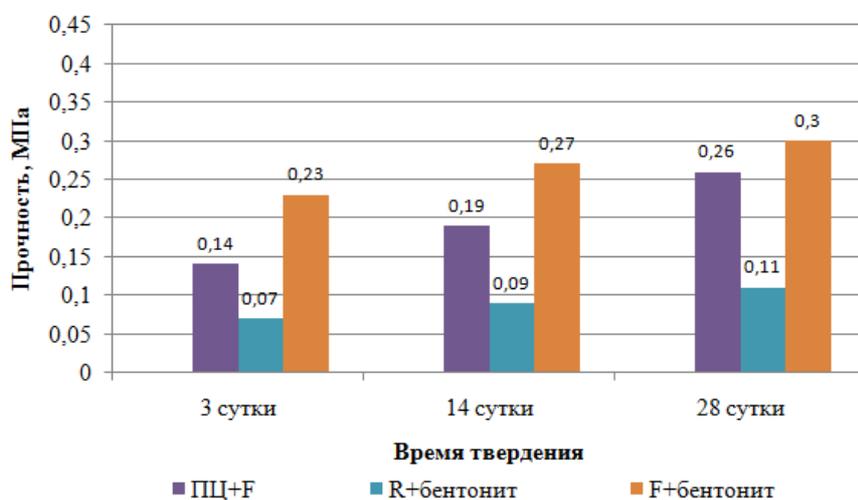


Рисунок 2 – Кинетика набора прочности теплоизоляционного неавтоклавного пенобетона, произведенного из сухого пенообразователя

На рисунке 2 представлена кинетика набора прочности теплоизоляционного неавтоклавного пенобетона, произведенного из сухого пенообразователя. В качестве контрольных составов показаны образцы изготовленные по классической технологии. Как видно из рисунка 2, пенобетон изготовленный из сухого пенообразователя на основе Foamsem и бентонита обладает высокой прочностью на ранних сроках твердения, а на поздних сроках практически не уступает контрольным составам. Данный состав позволяет полностью избавиться от всех негативных факторов и получать неавтоклавный теплоизоляционный пенобетон со стабильными технологическими характеристиками.

При обработке экспериментальных данных можно выделить следующее:

- для цементного вяжущего с пенообразователем Foamsem и Reniment установлен оптимум по минеральным добавкам, который составляет: для бентонита 1 % и 3 % по массе вяжущего соответственно; а для каолина 3 % и 5 % по массе вяжущего соответственно. При этих количествах минеральной добавки возможно получить пенобетон плотностью 200 кг/м³ с прочностью при сжатии на 28 суток твердения равной 0,4 МПа;

- разработан состав сухой смеси для производства неавтоклавного пенобетона с высокими технологическими характеристиками.

ПЕРЕРАБОТКА КИСЛЫХ ЗОЛ И ЗОЛОШЛАКОВ ТЭЦ г. БАРНАУЛА В СИЛИКАТНЫЙ КИРПИЧ

Гильмияров Д.И., Баландин И.С. - студенты гр. ПСК – 61
Научный руководитель – д.т.н., профессор Овчаренко Г.И.

На нынешнем уровне рыночных отношений собственники ТЭЦ рассматривают различные варианты снижения издержек. Поддержание систем гидрозолоудаления (ГЗУ) и золоотвалов требует больших затрат, поэтому частичная или полная переработка отходов теплоэнергетики дает возможность снижения издержек и получения конкурентно способного материала на строительном рынке. Установлено, что использование промышленных отходов позволяет покрыть потребности строительства в сырьевых ресурсах до 40 %, на 10 – 30 % уменьшить затраты на изготовление строительных материалов по сравнению с их производством из природного сырья, снизить капитальные вложения до 35 – 50 %.

Целью работы является разработка технологии силикатного кирпича на основе кислых зол и золошлаков ТЭЦ г. Барнаула с максимальным их использованием. В ходе эксперимента требовалось определить оптимальные составы для получения силикатного кирпича, не уступающего по физико – механическим характеристикам заводскому.

В работе использовались следующие сырьевые материалы: зола и шлак текущего выхода, а также три пробы золошлаковых отходов (ЗШО) из золоотвала ТЭЦ – 2 г. Барнаула (таблица 1); кальциевая известь с содержанием активных CaO и MgO около 70 %; гипсовый камень с содержанием $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ около 69 %; в качестве укрупняющей добавки использовался речной Обской песок для исследуемых составов и кварцевый песок Власихинского карьера – для приготовления контрольных известково-кварцевых составов, пески имели модули крупности соответственно 1,3 и 1,2 и относятся к очень мелким.

Таблица 1 – Химический состав использованных зол и ЗШО

Наименование материала	П.П.П.	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	CaO	MgO	SO ₃	Сумма
1.ЗШО ТЭЦ-2 проба 1	3,83	43,15	12,86	32,10	5,55	2,31	0,09	99,89
2.ЗШО ТЭЦ-2 проба 2	25,75	44,43	18,38	1,81	4,64	1,29	0,57	96,87
3.ЗШО ТЭЦ-2 проба 2 после прокаливания	-	54,38	26,28	6,87	5,16	1,36	0,57	95,16
4.ЗШО ТЭЦ-2 проба 3	25,12	46,28	18,97	1,18	2,94	0,73	0,41	95,63
5.ЗШО ТЭЦ-2 проба 3 после прокаливания	-	58,07	26,89	6,71	4,25	0,27	0,16	96,35
6.КУЗ ТЭЦ-2	8,32	56,10	21,16	6,06	4,38	0,90	0,98	97,90

В ходе эксперимента золы и золошлаковые отходы в естественном состоянии или после полного выжигания остатков угля при 750 – 800 °С, а также после дополнительного помола при 50, 100 или 150 % затрат энергии на стандартный помол клинкера на цемент, смешивались с предварительно молотыми известью и гипсом в количестве соответственно 5 – 20 и 2,5 – 7,5 %. В качестве гранулометрической добавки к золо-известковой массе добавлялся обской песок в количестве 20 %. Сырьевая смесь увлажнялась, герметизировалась в полиэтиленовых пакетах и силосовалась при 60 °С в течение 2 – 4 часов. После этого из массы формовались образцы-цилиндры диаметром и высотой 50 мм при удельном давлении прессования 20 МПа с равномерной подачей нагрузки, которые запаривались в автоклаве при 1,0 МПа и изотерме в 6 часов. Контрольные образцы изготавливались из молотой извести и кварцевого песка по той же методике и запаривались

$$z = (,360e-4) * x^2 + (-,06025) * y^2 + (-,00221) * x * y + (,057273) * x + (2,2803) * y + (-4,8905)$$

Прочность при сжатии, МПа

R = 0,93853135

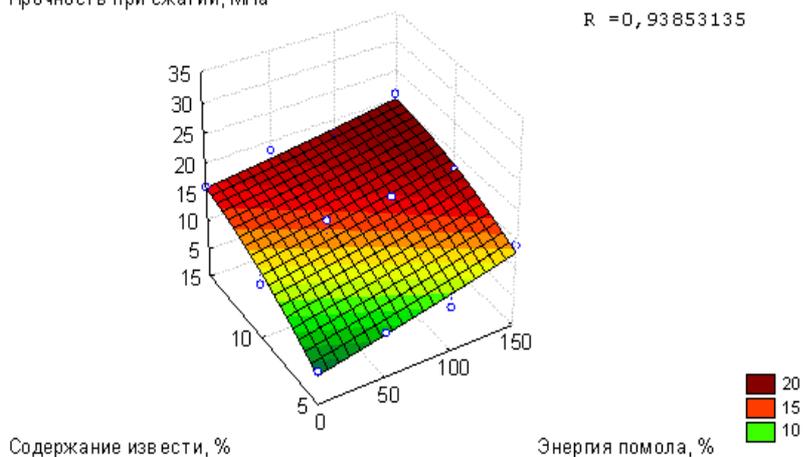


Рисунок 1 – Зависимость прочности составов из второй пробы ЗШО ТЭЦ-2 с содержанием ппп = 26,87 % от энергии помола и содержания извести

$$z = (-,99e-3) * x^2 + (-,18425) * y^2 + (,00159) * x * y + (,19502) * x + (4,69) * y + (-11,913)$$

Прочность при сжатии, МПа

R = 0,94147002

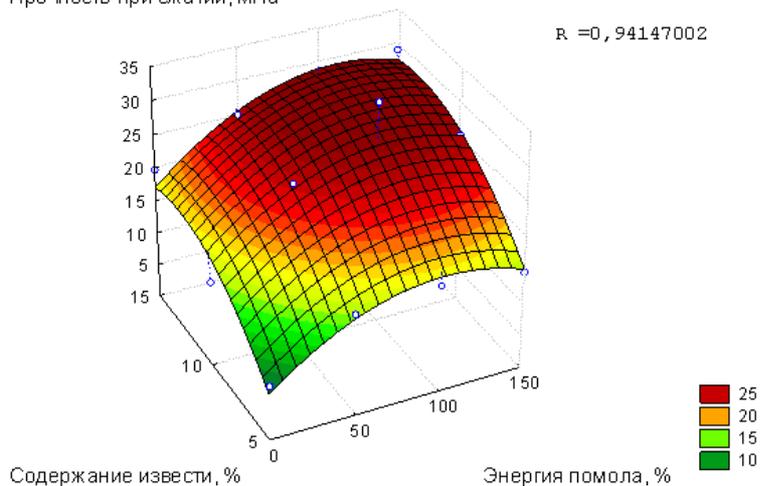


Рисунок 2 – Зависимость прочности составов из прокаленной второй пробы ЗШО ТЭЦ-2 с содержанием ппп = 26,87 % от энергии помола и содержания извести

силикатного кирпича минимальной марки, а при увеличении содержания извести до 10 % возможно получение кирпича марки М 125.

В результате проведенного эксперимента была установлена возможность получения силикатного кирпича на основе кислых зол и золошлаков с прочностными характеристиками не уступающими заводскому кирпичу. Получение высоких характеристик кирпича требует обязательного дожигания ЗШО и их помола, что так же даст возможность получения материала со стабильными свойствами.

при каждой автоклавной обработке для получения сравнительных характеристик. Переводной коэффициент от прочности лабораторных образцов к прочности кирпича заводского изготовления составляет 0,55.

В результате эксперимента установлено, что помол ЗШО значительно влияет на прочностные характеристики составов (рисунок 1). Увеличение содержания извести и энергии помола ведет к получению состава с наиболее высокими характеристиками. Уже при содержании извести 10 % и энергии помола 50 % возможно получение кирпича марки М 75. Как видно из рисунков 1 и 2 - большое содержание недогоревшего угля в ЗШО ведет к образованию менее прочной структуры по сравнению с составами содержащими прокаленные ЗШО. Влияние помола и содержания извести усиливается с уменьшением содержания недогоревшего угля. Уже при содержании извести 5 % и энергии помола 50 % возможно получение

ИССЛЕДОВАНИЕ СВОЙСТВ АВТОКЛАВНОГО ГАЗОБЕТОНА НА ОСНОВЕ ВЫСОКОКАЛЬЦИЕВОЙ ЗОЛЫ ТЭЦ

Казанцева С.В., Стародубов А.М. – студенты гр. ПСК-61
Научный руководитель - к.т.н., доцент Щукина Ю.В.
аспирант Гильмияров Р.И.

В производстве строительных материалов предусматривается преимущественное развитие технологий, обеспечивающих снижение стоимости, материалоемкости и трудоемкости строительства, а также повышение теплозащитных свойств получаемых материалов. С этих позиций развитие получают эффективные строительные материалы автоклавного твердения, такие как ячеистобетонные изделия. Автоклавная технология производства позволяет полностью или частично заменить постоянно возрастающие в цене традиционные вяжущие, такие как известь и, особенно, портландцемент, недефицитным сырьем – золами твердых топлив.

Возможность изготовления автоклавного газобетона только на основе высококальциевой золы показана в работах Волженского А.В., Боженова П.И., Галибиной Е.А., Овчаренко Г.И. и др. Применение высококальциевых зол в чистом виде в большинстве случаев затруднительно как из-за большой доли свободной пережженной извести, так и широкого разброса свойств зол, требующего постоянного изменения параметров технологии, подстраивания их под каждую новую партию золы. Поэтому нами предлагается изготовление золо-цементно-кварцевого газобетона. Преимуществами такой композиции является то, что полученный материал должен быть менее чувствителен к колебаниям свойств различных партий зол, иметь приемлемые свойства, позволяет экономить известь и уйти от проблем, связанных с ее производством на устаревшем оборудовании.

В работе были использованы следующие сырьевые материалы: портландцемент Голухинского цементного завода М400 Д20 (ПЦ); известь строительная с содержанием активных СаО и MgO 73,9 % (И); высококальциевые золы ТЭЦ-3 г. Барнаула (БУЗ), полученные путем сжигания бурых углей Канско-Ачинского месторождения с содержанием СаО_{отк} 2,93 %, СаО_{общ.} 3,54 (проба № 2) и СаО_{отк} 2,44 % и СаО_{общ.} 3,91 % (проба № 3); молотый песок Черемного месторождения с остатком на сите № 008 – 4 %.

В качестве контрольного был принят состав конструкционно-теплоизоляционного газобетона средней плотности 700 кг/м³ Барнаульского завода ячеистых бетонов (ЗЯБ) со следующим расходом сырьевых компонентов кг/м³: портландцемент – 130; известь – 135; молотый кварцевый песок в виде шлама – 380.

Учитывая, что при помоле свойства золы улучшаются, зола совместно с готовым портландцементом размалывалась в соотношении 50/50, 60/40 и 70/30 при энергии 75 % от затрат энергии помола клинкера на цемент. Полученным золопортландцементом (ЗПЦ) в составе газобетона замещались 100 % цемента и от 50 до 100 % извести. При этом при замене 100 % извести расход цемента был таким же, как и в контрольном составе, а вместо извести использовалась зола.

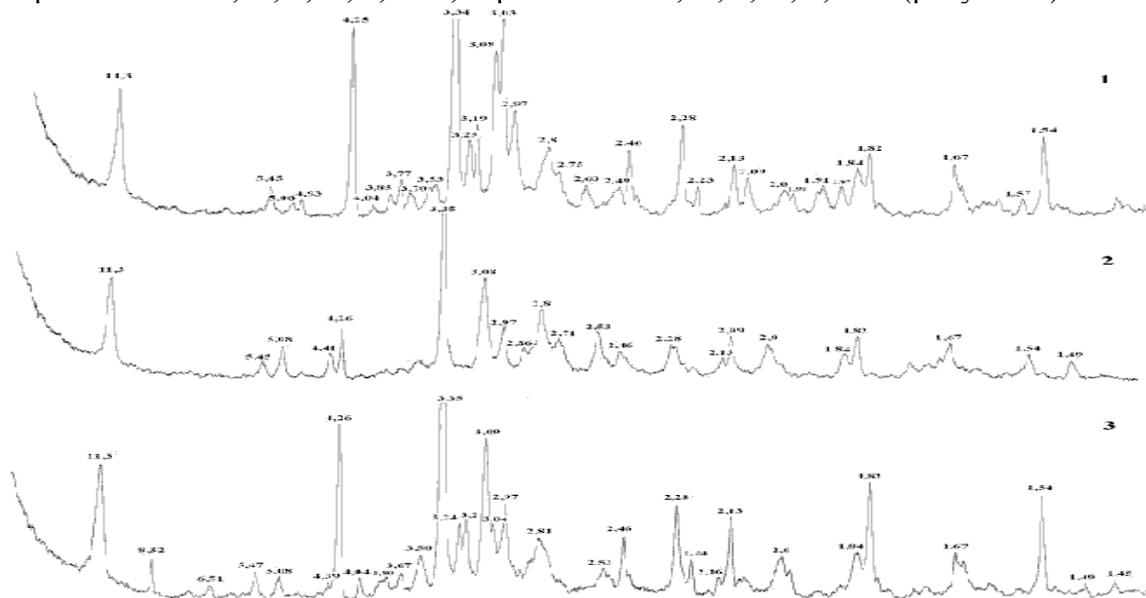
По проведенным ранее исследованиям были установлены оптимальные соотношения между сырьевыми материалами в составе газобетонной смеси, которые составляют БУЗ/ПЦ 50/50 и 60/40 с добавлением 10 % извести.

Смесь для газобетона плотностью 700 кг/м³ изготавливалась в лабораторных условиях и заливалась в формы размером 63*21*21 см. По достижению требуемой пластической прочности образцы запаривались в промышленном автоклаве на ЗАО «ЗЯБ». Из полученного массива выпиливались образцы-кубы размером 100*100*100 мм и балочки размером 40*40*160 мм.

Определение фазового состава золы, материалов на ее основе выполняли рентгенофазовым и дифференциально-термическим методами анализа. Идентификацию фаз осуществляли по общепринятым методикам.

Исследование фазового состава показывает, что автоклавированный камень из контрольной газобетонной массы, на основе извести, портландцемента и кварцевого шлама

по данным РФА содержит следующие основные фазы: 11,3 Å тоберморит d/n = 11,30; 2,97; 2,15; 2,00 Å, Ca(OH)₂ d/n = 4,93; 2,63; 1,93 Å, C-S-H (I) d/n = 3,079; 2,80; 1,82 Å, гидрогранаты d/n = 5,06; 3,34; 2,44 Å, гиролит d/n = 4,25; 3,85; 3,16 Å (рисунок 1).

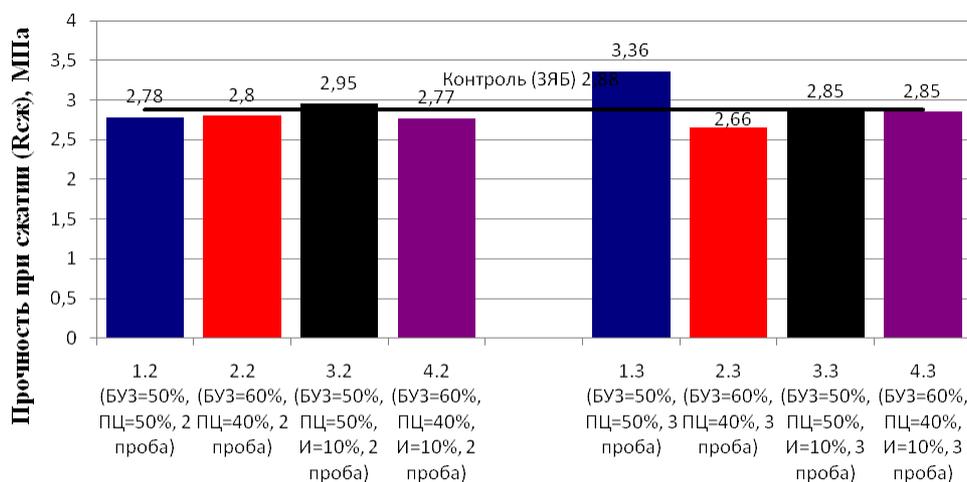


1 – известково-цементно-кварцевый камень; 2 - зольный камень; 3 - золо-цементно-известково-кварцевый камень

Рисунок 1 - Рентгенограммы продуктов гидратации автоклавного газобетона

При запаривании высококальциевой золы в камне по данным РФА в золе синтезируется дополнительное количество гидрогранатов d/n = 5,08; 4,4; 2,53; 2,27 Å.

При автоклавировании золо-цементно-известково-кварцевой газобетонной массы отмечается синтез тоберморита d/n = 11,30; 5,47; 3,52; 2,97; 2,16 Å, а также гидрогранатов d/n = 4,39; 3,35; 2,53 Å, гидросиликатов кальция d/n = 3,07; 1,82 Å, карбонатов кальция d/n = 3,03; 2,84; 2,28 Å и гиролита d/n = 3,83; 3,09; 2,85; 2,80 Å.



Составы

Рисунок 2 - Прочности автоклавного газобетона в зависимости от состава сырьевой смеси и пробы высококальциевой золы (проба № 2 и № 3)

По литературным данным при автоклавной обработке шлако- и золосодержащих систем в качестве алюминийсодержащих гидратных фаз могут образоваться гидрогранаты [1, 2]. Роль гидрогранатовой фазы в силикатных материалах не однозначна. С её синтезом связывают как повышение прочности в плотных материалах, так и снижение. В данной работе показано, что наличие гидрогранов в составе цементирующей связки автоклавного

газозобетона приводит к повышению прочности как при сжатии (рис.2), так и при изгибе. Кроме этого наличие этих продуктов гидротермального синтеза известково-цементно-зольных систем приводит к повышению не только прочности, но и морозостойкости газозобетона до F25.

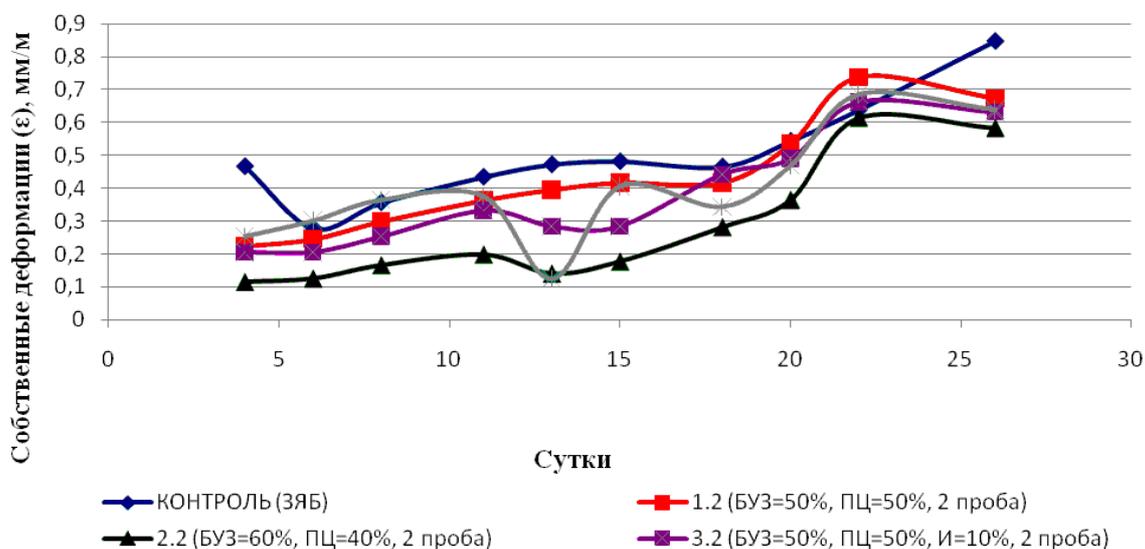


Рисунок 3 – Усадочные деформации автоклавного газобетона в зависимости от состава сырьевой смеси и пробы высококальциевой золы (проба № 2)

Наибольшей усадкой при высыхании (0,85 мм/м) при хранении в среде с $t=19...21$ °С и относительной влажностью 50 – 70 %, обладают изделия из контрольного заводского газобетона, цементируемые вещества которого представлены плохо закристаллизованной массой с относительно большим содержанием С-S-H (I). Увеличение количества тоберморита и гидрогранатов в новообразованиях золосодержащих газобетонов и улучшение их кристаллического состояния приводит к снижению усадки на 22 - 35 % по сравнению с контрольным составом газобетона (рис. 3). Полученные значения усадочных деформаций находятся в пределах 0,55 – 0,66 мм/м, что удовлетворяет требованиям ГОСТ

Экономическая эффективность автоклавного газобетона составляет 25 %.

Список литературы

1. Брусницкая, Л.М. Влияние фазового состава новообразований на прочность автоклавных материалов из известково-зольных смесей / Л.М. Брусницкая, С.М. Рояк, С.А. Кржеминский, В.П. Варламов // Сборник трудов ВНИИСтром: Автоклавные бетоны и изделия на их основе. – Москва, 1972. – С. 243-251.
2. Овчаренко, Г.И. Оценка свойств зол углей КАТЭКа и их использование в тяжелых бетона / Г.И. Овчаренко, Л.Г. Плотникова, В.Б. Францен. – Барнаул : Изд-во АлтГТУ, 1997. – 149 с.

ПРОЧНОСТЬ РАСТВОРОВ С ДОБАВКОЙ ВЯЖУЩЕГО НИЗКОЙ ВОДОПОТРЕБНОСТИ НА ОСНОВЕ ВЫСОКОКАЛЬЦИЕВОЙ ЗОЛЫ

Конюшенко Е. С., Костик М. В. – студенты группы ПСК-61
 Научный руководитель – д.т.н. Овчаренко Г. И.

ВНВ по сравнению с обычным портландцементом характеризуется высокой прочностью, дисперсностью и низкой водопотребностью.

Исследовалось влияние добавки ВНВ на прочность цементных растворов в зависимости от содержания количества суперпластификатора С-3 в ней.

В работе применялись цемент ПЦ М400 Д20, Голухинского цементного завода, высококальциевая зола Барнаульской ТЭЦ-3, суперпластификатор С-3, песок речной поймы

реки Обь. Добавка ВНВ изготавливалась путем совместного помола высококальцевой золы (ВКЗ) и 2 %, 6 % и 10 % суперпластификатора С-3 в стандартной лабораторной шаровой мельнице типа МБЛ – 5 при 50 % энергии помола. Из цементно-песчаного раствора состава 1:3, в котором часть массы песка заменялась на количество ВНВ 10 – 70 % взятое от ПЦ, формовались образцы - балочки размером 160 x 40 x 40 мм., которые хранились в нормальных условиях и испытывались на 3, 7, 14 и 28 сутки твердения. За контрольные были приняты бездобавочный цементно-песчаный раствор и состав в котором 10 % ПЦ заменялось на ВНВ, полученное путем помола ПЦ и соответствующего количества С–3.

Водопотребность раствора контролируется путем погружения стандартного конуса. В качестве требуемой подвижности были выбраны подвижности на 5 см и 15 см.

$$z = (.134e-3) * x^2 + (.942e-4) * y^2 + (.121e-3) * x * y + (-.0175) * x + (-.013) * y + (1.16185)$$

R = 0,99

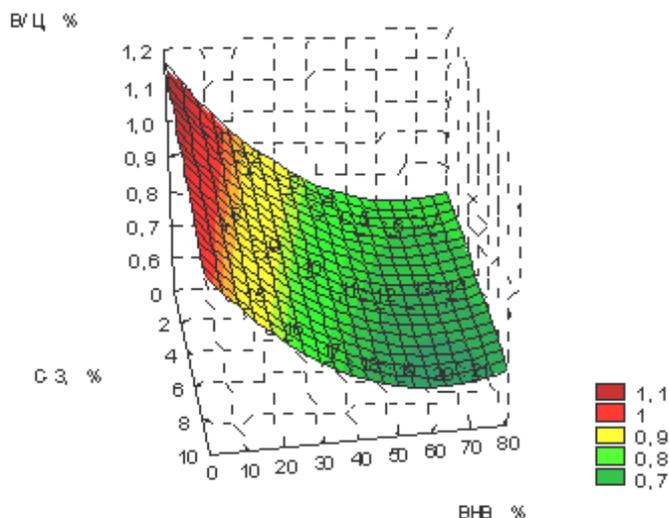


Рисунок 1 – влияние суперпластификатора и добавки ВНВ на В/Ц при погружении конуса на 15 см. (В/Ц K1=1,15, В/Ц K2=0,99)

$$z = x^2 * (-.26545) + y^2 * (-.00136) + x * y * (-.02662) + x * (3.74536) + y * (2.97446) + (-7.3932)$$

R = .741588267

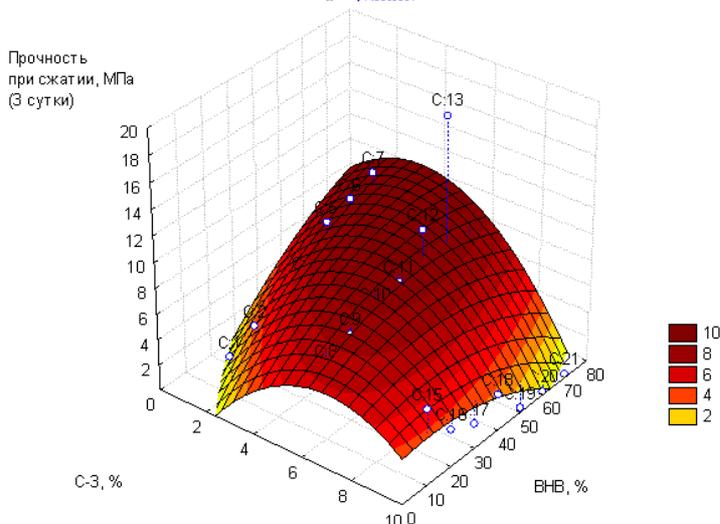


Рисунок 2 – Зависимость прочности от С-3 и ВНВ на 28 сутки при ПК=15 см (прочность контроля 18,47 МПа)

Анализ водопотребности растворов на вяжущем с добавкой ВНВ при погружении конуса на 5 см и 15 см. в сравнении с контрольными составами.

Все составы ВНВ обладают значительно сниженной водопотребностью по сравнению с контрольными составами, не содержащими добавки ВНВ.

Для растворов с подвижностью 5 см. при малых дозах С–3 зависимость В/Ц от ВНВ практически линейная. С увеличением содержания С–3 в составе ВНВ водоцементное отношение более очевидно с повышением доли ВНВ.

Для высокоподвижных растворных смесей (рисунок 1) зависимость В/Ц от количества ВНВ ярко выражена, как при малых дозировках С–3 так и при повышенных.

Закономерности снижения В/Ц от увеличения доли ВНВ наблюдается до его содержания 50 % - 60 %. Дальнейшее введение ВНВ на водоцементное отношение влияние не оказывает.

На ранние сроки оптимальным составом является состав, содержащий в добавке ВНВ 4-6% С-3. С увеличением доли ВНВ прочность раствора снижается, что возможно объясняется замедлением гидратации цементного вяжущего из-за чрезмерного количества С-3. При этом в оптимальных составах с

цементного вяжущего из-за чрезмерного количества С-3. При этом в оптимальных составах с

содержанием С-3 5% влияние добавки ВНВ на прочность незначительно. Для раствора с погружением конуса 15 см характер основных выявленных зависимостей сохраняется, и даже становится более выраженным: прочность сильно зависит от содержания С-3 и менее зависит от содержания добавки ВНВ. При сравнении закономерностей изменения прочности растворов разной подвижности видно, что влияние сказывается только на снижении прочности раствора, остальные зависимости остаются постоянными и для ПК=5 см, и для ПК=15 см.

На 28 сутки наблюдается зависимость прочности раствора от С-3 и от дозировки самой добавки ВНВ. При этом максимальную прочность показывают растворы с ВНВ 50 - 70% и количеством С-3 2 – 4 % (при погружении конуса на 5 см) и С-3 1 – 3% (при погружении конуса на 15 см). При ПК=5 см с увеличением С-3 прочность значительно снижается, при ПК=15 см (рисунок 2) с увеличением количества С-3 прочность снижается только после введения ВНВ более 20-30%.

Таким образом определены наиболее оптимальные составы. При ПК=5см максимальную прочность показывает состав с добавкой ВНВ 50-70 % и количеством С-3 1 – 3 %. При ПК=15 см оптимальным составом является раствор с количеством ВНВ 60 – 70 % и содержанием С-3 до 2 %.

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ВЫСОКОКАЛЬЦИЕВОЙ ЗОЛЫ В ПРОИЗВОДСТВЕ СИЛИКАТНОГО КИРПИЧА

**Климухина М.В., Ильина А.А. – студенты группы ПСК-81
Научный руководитель – д.т.н., профессор Овчаренко Г. И.**

В настоящее время повторное использование отходов в переработку очень перспективно. Зола от сжигания на электростанциях каменных и бурых углей благодаря своим свойствам, количеству и распространению является перспективным сырьём для производства различных строительных материалов. Одним из наиболее крупномасштабных потребителей зол может является производство силикатного кирпича.

Целью исследования является подбор оптимального состава силикатной массы.

В качестве сырьевых материалов использовали высококальциевую золу (ВКЗ) от сжигания бурых углей КАТЭКа на ТЭЦ-3; песок кварцевый Власихинского карьера; песок полевошпатовый поймы реки Обь.

Перед проведением эксперимента производим подготовку сырьевых материалов. Для устранения деструктивных явлений автоклавируем высококальциевую золу в автоклаве по режиму 2-6-2: 2 часа – подъем температуры, 6 часов – выдержка при давлении 10 атмосфер (1,0 МПа), затем постепенное остывание за 1,5- 2 часа. Производим помол кварцевого песка Власихинского месторождения и полевошпатного песка поймы реки Обь при энергиях помола 50, 100 и 150 % от энергии стандартного помола клинкера на цемент. Молотые пески и гашеная ВКЗ в количествах, обеспечивающих коэффициенты основности смеси 0,4; 0,6; 0,8; 1,0 и 1,2, перемешивали до однородной смеси.

Формуем образцы из золопесчаной смеси с соотношением компонентов в зависимости от коэффициента основности, высотой и диаметром 50 мм при удельном давлении 20 МПа. Затем полученные образцы подвергаем автоклавной обработке по режиму 2-6-2. После высушиваем образцы при 100⁰С до постоянной массы, проверяем на прочность.

Как видно из полученных моделей (рисунок 1,2) зависимости прочности золо-песчаного силикатного материала оптимальная энергия помола составляет около 100%, а прочность увеличивается с уменьшением коэффициента основности.

Как известно, оптимальная величина коэффициента основности для силикатных материалов равна 0,8 – 1,0.

Полученная зависимость прочности кирпича от коэффициента основности смеси может объясняться незавершенностью взаимодействия между ВКЗ и частицами песка с достаточно крупным размером.

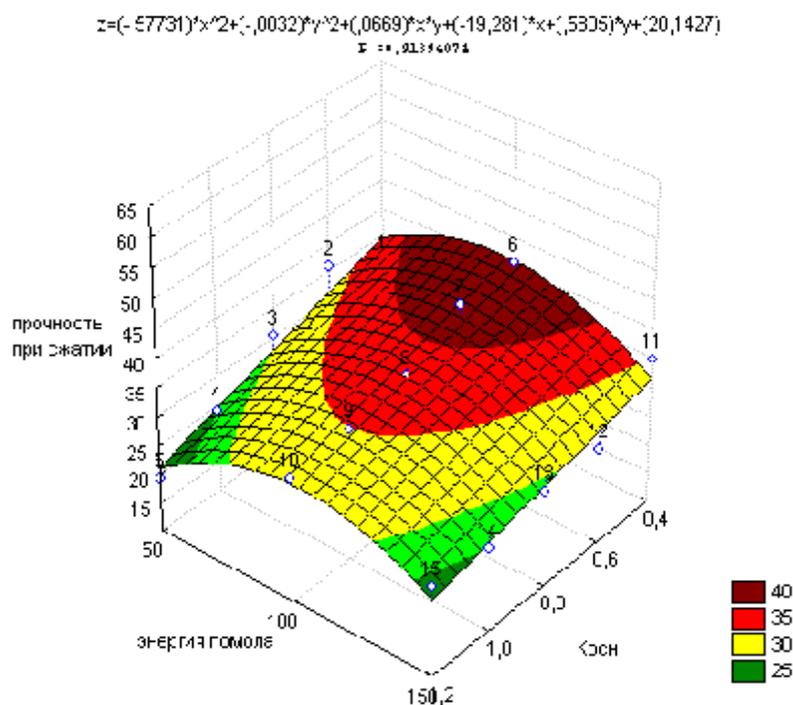


Рисунок 1 – Зависимость прочности при сжатии от энергии помола кварцевого песка и коэффициента основности

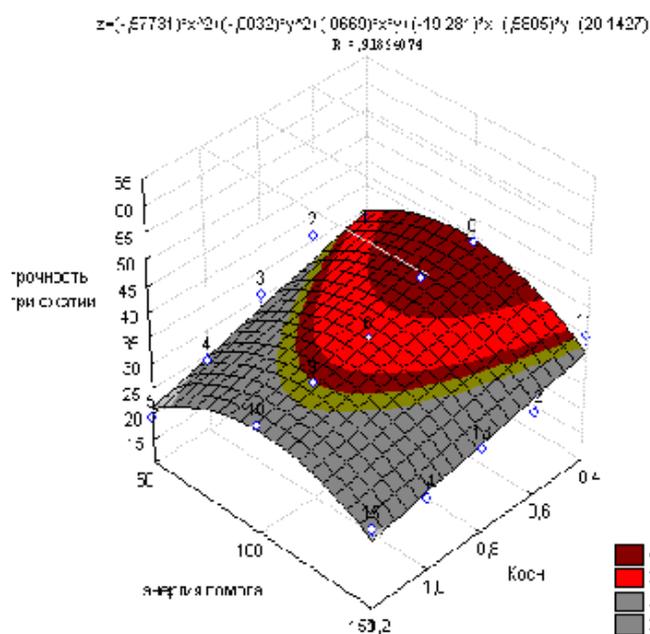


Рисунок 2 - Зависимость прочности при сжатии от энергии помола полевошпатового песка и коэффициента основности

При этом и кварцевый, и полевошпатовый пески в данных системах показывают примерно одинаковую прочность. Таким образом, на основе ВКЗ и молотых песков можно получать силикатный материал достаточно высокой прочности и требуемой морозостойкости для применения его в строительстве.

Проверка составов на морозостойкость показала, что для обеспечения более 15 циклов необходимо добавлять молотый песок до коэффициента основности меньше 0,8 с энергией помола более 50%.

СМЕШАННОЕ ВЯЖУЩЕЕ ДЛЯ БЕЗУСАДОЧНЫХ КОМПОЗИЦИЙ

Лифляндская О.А., Песоцкий А.В. – студенты гр. ПСК-81
Научные руководители – д. т. н., профессор Овчаренко Г.И.,
ассистент Музалевская Н.В.

Твердение портландцемента сопровождается усадочными деформациями, приводящими к трещинообразованию материалов на его основе. Применение смешанных вяжущих на основе высококальциевых зол (ВКЗ) ТЭЦ от сжигания бурых углей Канско-Ачинского бассейна способно решить проблему усадки. Однако получение вяжущих на основе ВКЗ сопряжено с определенными трудностями, обусловленными нестабильностью и широким диапазоном изменения состава и свойств зол. Большое влияние на собственные деформации материалов на основе золы оказывает содержащийся в ней свободный СаО. Проведённые ранее исследования [1] установили граничное значение количества СаО_{своб} в золе, приводящего к линейному расширению материалов и составляющему более 3,5 %.

Поэтому целью исследования являлась разработка состава смешанного вяжущего на основе высококальциевой золы ТЭЦ с содержанием СаО_{своб} менее 3,5 %, обеспечивающего как необходимые деформации расширения, так и прочностные характеристики сопоставимые с контрольным составом.

В данной работе применялись следующие сырьевые материалы: портландцемент М500 Д0 Голухинского цементного завода, высококальциевая зола Барнаульской ТЭЦ-3 с содержанием свободного СаО – 2,65 %, гипс ГЗАП производства ООО «Геркулес-Сибирь» (г. Новосибирск), глинозёмистый цемент ГЦ 40 производства фирмы «Isidas» (Турция).

Для проведения эксперимента формовались балочки размерами 2,5×2,5×28 см с реперами из теста нормальной густоты смешанного вяжущего для измерения собственных деформаций. Испытания проводились на индикаторе часового типа первые две недели через сутки, а затем через двое. Для определения прочности при сжатии (на 3, 7, 14 и 28 сутки) формовались образцы-кубики размером 2х2х2 см. Все образцы твердели в нормальных условиях. Вяжущее изготавливалось из 60 % ВКЗ и 40 % портландцемента с заменой 5, 10, 15, 20 % гипсом и/или глинозёмистым цементом. Контрольными являлись два состава: первый – 100 % ПЦ, второй – 60 % ВКЗ и 40 % ПЦ.

В ходе эксперимента исследовалось влияние добавления гипса и глинозёмистого цемента (ГЦ) на линейные деформации и прочность золоцементного вяжущего. При рассмотрении влияния данных добавок по отдельности, было выявлено, что введение гипса приводит к удлинению до 4,5 мм/м, в то время, как применение ГЦ - всего до 0,5 мм/м. Совместное же введение расширяющих компонентов (до 20 %) приводит к значительным линейным деформациям за счёт активного образования этtringита и этtringитоподобных фаз и позволяет достичь максимального удлинения равного 9,4 мм/м на 14 сутки и до 8,9 мм/м на 28 сутки (рисунок 1).

Однако для обеспечения безусадочности золоцементных композиций достаточно добиться линейного расширения 2-3 мм/м, которое не будет приводить к деструкции образца. Такое удлинение показывают составы, содержащие 10-15 % гипса и 0-20 % ГЦ (рисунок 1).

Оценивая прочностные показатели смешанных вяжущих установлено, что с увеличением содержания расширяющих компонентов прочность при сжатии снижается до 30,2 МПа вследствие нарушения структуры затвердевшего камня новообразованиями этtringита (рисунок 2). Составы, обеспечивающие необходимое расширение показывают прочность 47-52 МПа, при прочности контрольного золоцементного вяжущего 53 МПа.

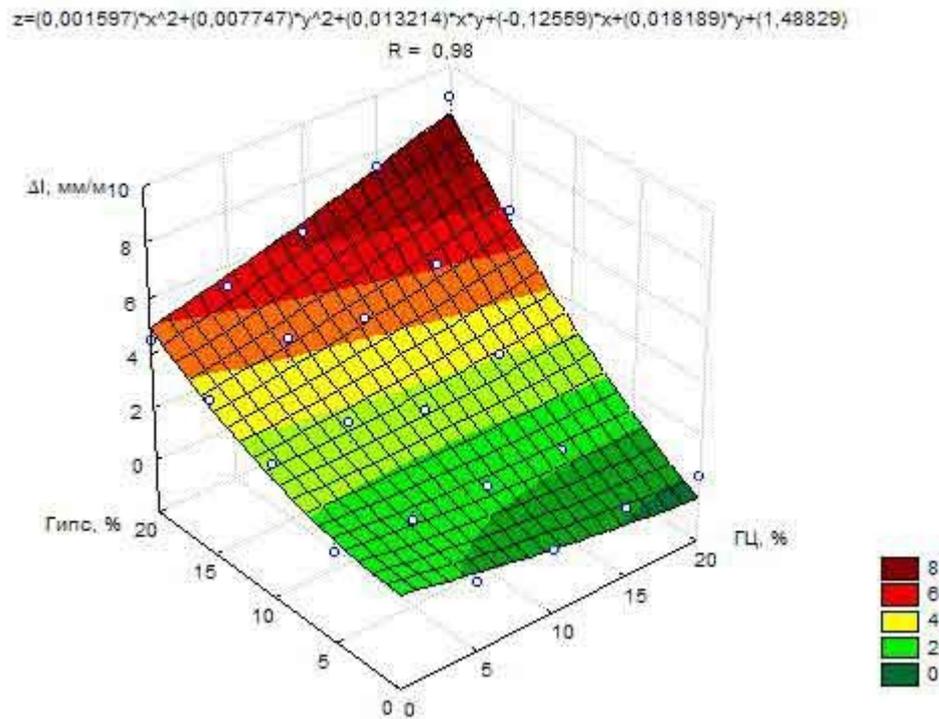


Рисунок 1 - Зависимость линейных деформаций золоцементной композиции на 28 сутки твердения в н. у. от содержания гипса и глинозёмистого цемента

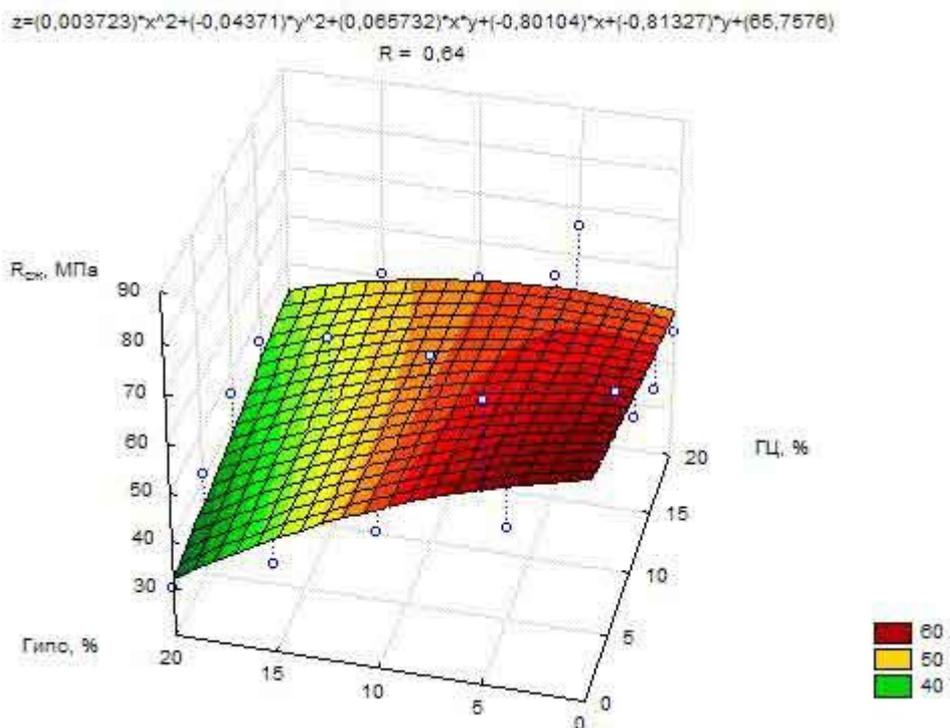


Рисунок 2 – Зависимость прочности при сжатии золоцементной композиции на 28 сутки твердения в н. у. от содержания гипса и глинозёмистого цемента

Таким образом, для получения необходимых удлинения 2-3 мм/м и прочности при сжатии целесообразно вводить в состав золоцементного вяжущего 10 % гипса и 0-10 % ГЦ (рисунок 3). Прочностные характеристики данных составов снижаются не более чем на 10 % от величины контрольного состава, но позволяют добиться безусадочного твердения композиции.

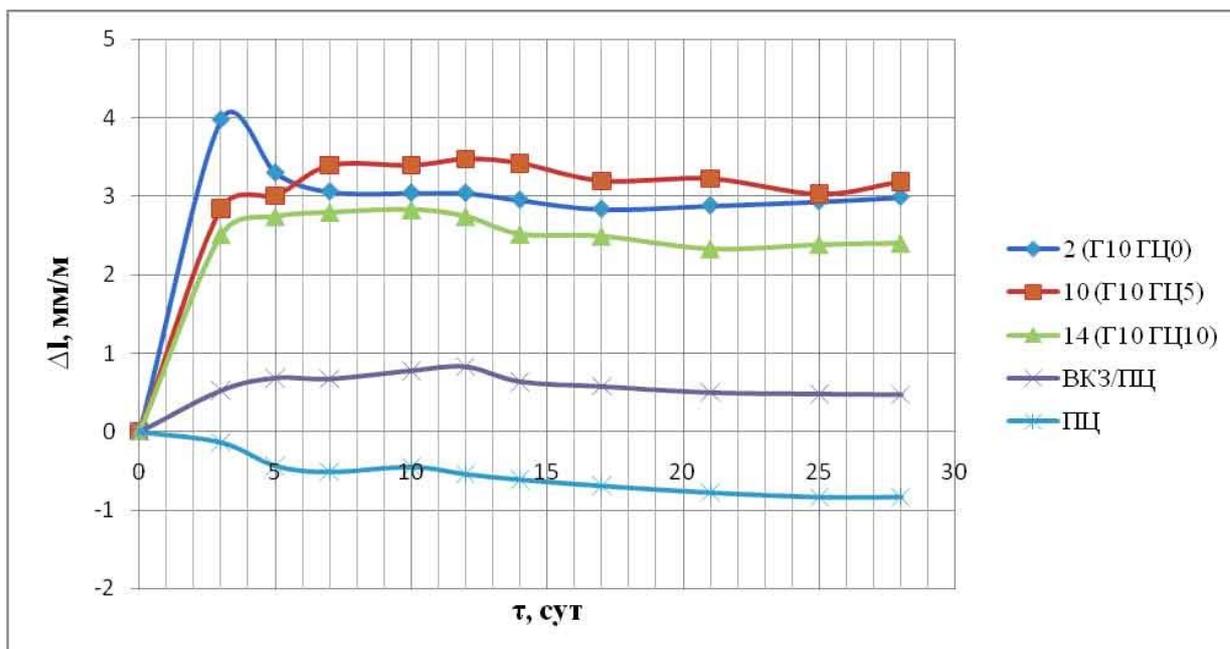


Рисунок 3 – Изменение линейных деформаций оптимальных составов во времени

Литература

- Музалевская Н.В., Хижинкова Е. Ю., Овчаренко Г. И., Алексеенко В. В., Балабаева Т. С. Применение высококальциевых зол ТЭЦ в составах стяжек для полов // Материалы Всероссийской научно-практической конференции «Строительное материаловедение сегодня: актуальные проблемы и перспективы развития». – Челябинск. – 2010. - С. 73-75.

ИССЛЕДОВАНИЕ СВОЙСТВ ЗОЛЫ, ПРИМЕНЯЕМОЙ В КАЧЕСТВЕ МИКРОНАПОЛНИТЕЛЯ В САМОУПЛОТНЯЮЩИХСЯ БЕТОНАХ

Махиня К. Г., Левченко А. А. – студенты гр. ПСК-81
 Научные руководители – к.т.н., Буйко О. В

С появлением новых строительных материалов всегда встает вопрос о том, как сделать их более эффективными и экономичными. Такой материал как самоуплотняющийся бетон (СУБ) не является исключением. Данный материал способен уплотняться под действием собственного веса, но это затруднительно без использования микронаполнителей.

Целью данного эксперимента являлось исследовать эффективность введения золы в цементно-песчаный раствор, являющийся матрицей самоуплотняющегося бетона. В эксперименте испытания проводились на образцах-балочках с использованием фракционированного песка (0,63-30%; 0,315-20%; 0,16-50%). В качестве вяжущего использовался портландцемент марки ПЦ500Д0 с добавлением негашеной и гашеной высококальциевой золы (ВКЗ). Отношение вяжущего к песку составляет 1:1,14. Гашение золы происходило при 10 атм. в течение 10 часов. Раствор изготавливался по методике и в соответствии с рекомендациями японского профессора Окамура.

Зола вводилась в раствор в качестве мелкодисперсного компонента в количестве: негашеная - 10, 30, 50%; гашеная – 25, 50, 100% от массы ПЦ с частичной его заменой. Исследование цементно-зольных систем проводилось с использованием пластифицирующих добавок Sika Visco Crete 5-800, “BASF” Glenium – 430 и “BASF” Glenium-505 в их оптимальной дозировке. Важным условием эксперимента было достижение каждым составом диаметра расплыва конуса Хегерманна равным 25 см. Образцы-балочки, размером 40*40*160 мм. твердели при тепловлажностной обработке по режиму 2 ч выдержка при t= 30°C + 3ч подъем до t= 75 °C + 4 ч выдержка при t= 75 °C+ 3 ч при отключенном паре. Балочки испытывались на прочность через два часа после ТВО.

Как видно из рисунка 1, В/В с добавлением золы увеличивается вследствие того, что зола является более дисперсным материалом, чем цемент, соответственно требует

повышенного количества воды затворения или использования пластифицирующего компонента.

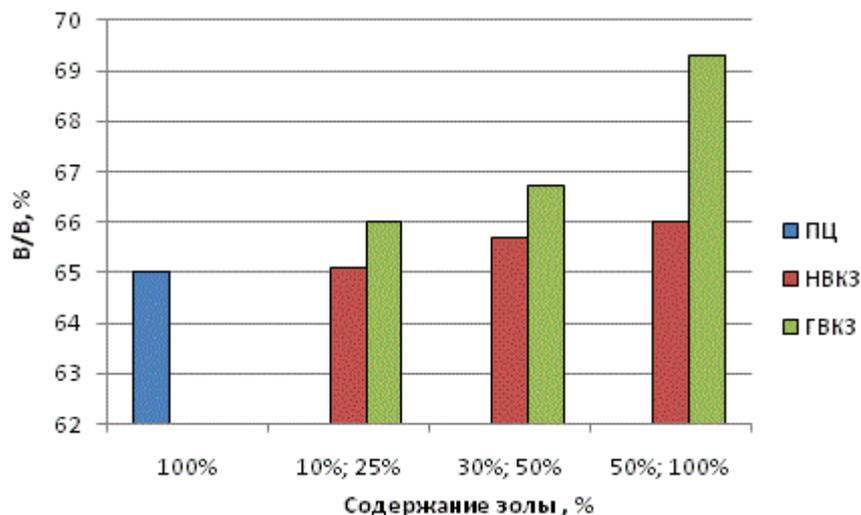


Рисунок 1- Диаграмма зависимости V/B от процентного содержания ВКЗ в составах без пластификатора

Известно, что негашеная зола обладает пластифицирующими свойствами, за счет наличия в ней стеклофазы. При увеличении в составе непластифицированного раствора количества негашеной ВКЗ от 0 до 50% водо-вяжущее отношение возрастает незначительно, на 1-1,5%. При использовании гашеной золы рост V/B более значителен – до 7% по сравнению с чисто цементным составом. Резкое увеличение V/B в растворах с гашеной золой объясняется раскрытием остеклованных зерен CaO при автоклавировании с образованием Ca(OH)₂.

$$R_{сж}, \text{ МПа} = (-17,95) \cdot x^2 + (-,00435) \cdot y^2 + (-,28155) \cdot x \cdot y + (46,0862) \cdot x + (-,02602) \cdot y + (16,2357)$$

R=0,99

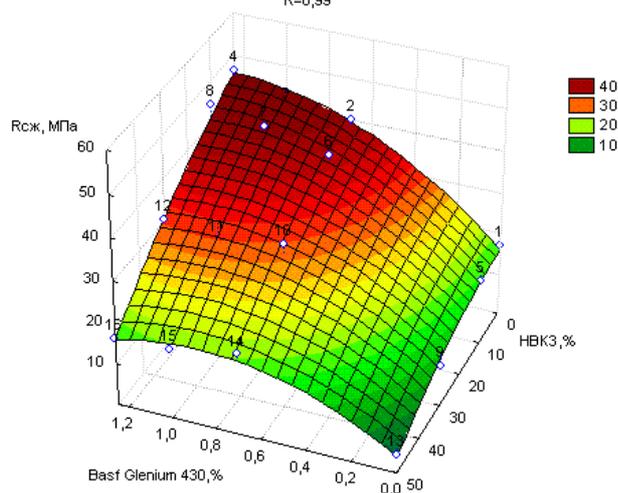


Рисунок 2-График зависимости прочности от содержания негашеной золы

Введение пластифицирующего компонента позволяет нивелировать резкое увеличение водо-вяжущего отношения при использовании в растворах золы, особенно в гашеном состоянии. Наибольший водоредуцирующий эффект наблюдается в зольных составах с добавкой “Basf” Glenium – 430: при использовании негашеной ВКЗ V/B снижается в 2 раза, а при использовании гашеной – на 25-30%.

Таблица 1

Наименование пластификатора	Дозировка, %	Прочность, МПа						
		10% НВКЗ	30% НВКЗ	50% НВКЗ	25% ГВКЗ	50% ГВКЗ	100%ГВ КЗ	100% ПЦ
Sika 5-600	0,7	37,7	31,1	18,	28,7	16,8	2,25	35,7
	1	34,1	27,5	19,6	29,2	18,4	2,4	35,7
	1,25	33,8	31,4	15,4	21,8	15,4	2,55	35,4
Glenium 505	0,7	31,8	24,2	11,9	24,	12,5	1,15	30,8
	1	30,2	15,55	5,95	23,2	10,3	1,02	30,2
	1,25	33,8	15,85	6,75	18,8	9,9	0,73	32,1
Glenium 430	0,7	38,1	30,75	19,4	33,9	18,6	4,7	40,2
	1	41,85	28,29	16,8	33,1	15,6	2,4	39,9
	1,25	44,5	30,33	16,23	34,4	15,3	1,35	46,2
Без добавок	—	15,5	9,72	4,45	10,4	4,2	2,1	17

Что касается прочности, то замена небольшой части ПЦ на негашеную золу (до 10%) положительно сказывается на прочности образцов – она либо возрастает, либо равна прочности беззолного состава (таблица 1).

Дальнейшее увеличение дозировки негашеной золы в составе вяжущего даже при использовании пластифицирующего компонента приводит к падению значений прочности (рисунок 2). А вот образцы с гашеной золой после пропаривания в камере ТВО показывали довольно низкую прочность при любом ее количестве в составе раствора и при использовании любого из исследованных пластификаторов (рисунок 3).

$$R_{сж}, \text{ МПа} = (-17,95) \cdot x^2 + (-0,00435) \cdot y^2 + (-28155) \cdot x \cdot y + (46,0862) \cdot x + (-0,02802) \cdot y + (16,2357)$$

$$R = 9,97901549, \text{ Контрольный образец } R=17,05 \text{ МПа}$$

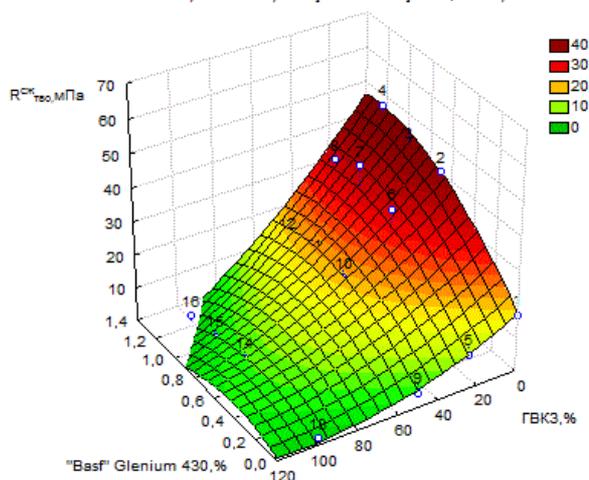


Рисунок 3- График зависимости прочности от содержания гашеной золы

Таким образом, из проведенных исследований можно сделать следующий вывод:

1. В качестве микронаполнителя для СУБ более эффективно использовать негашеную ВКЗ.
2. Использование в ПЦ составах негашеной ВКЗ совместно с “Basf” Glenium – 430 в ее оптимальной дозировке приводит к существенному снижению количества воды затворения и повышению значений прочности образцов.
3. Применение гашеной ВКЗ в качестве микронаполнителя для СУБ нецелесообразно, т.к даже совместно с пластифицирующим компонентом она приводит к незначительному снижению В/В, но резкому снижению прочности.

ЛИНЕЙНЫЕ ДЕФОРМАЦИИ РАСТВОРНОГО КАМНЯ НА ОСНОВЕ ЗОЛО-ЦЕМЕНТНОГО ВЯЖУЩЕГО

Лютцева Т.В., Сорокина А.С. – студенты гр. ПСК – 61
Научные руководители – д.т.н., проф. Овчаренко Г.И.,
ассистент Музалевская Н.В.

На сегодняшний день весьма актуальной является проблема устранения усадки цементно-песчаных растворов, так как безусадочные растворы обладают повышенной долговечностью, высокой прочностью, водонепроницаемостью, коррозионной стойкостью. Использование в растворах высококальциевой золы позволяет снизить расход цемента, благодаря фазовому составу зола обладает расширяющим действием, тем самым компенсирует усадку.

Целью данного исследования являлось изучение влияния добавки высококальциевой золы с разным содержанием свободного СаО на собственные деформации и прочность затвердевшего золо-цементно-песчаного раствора (стяжки для пола).

В работе применялись следующие сырьевые материалы: ПЦ М500 Д0 Искитимского цементного завода, высококальциевая зола ТЭЦ-3 г. Барнаула с содержанием суммарного (открытого и закрытого) свободного СаО_{св} – 0,5 ÷ 3,9 %, песок речной обской с Мкр=1,3.

Для проведения эксперимента изготавливались балочки 4x4x16 см с реперами из золо-цементно-песчаного раствора подвижности П-2 по ГОСТ 5802-86 с погружением конуса 10 см. В качестве контрольного состава формовались образцы из цементно-песчаного раствора в соотношении 1:3. Хранение образцов в течение 28 суток осуществлялось в нормальных условиях. Линейные деформации образцов измерялись на приборе с индикатором часового типа через каждые двое суток. Прочность образцов на изгиб и сжатие определялась на 3, 7, 14 и 28 сутки.

Проведенные исследования показали, что с увеличением как содержания ВКЗ в составе вяжущего, так и количества свободного оксида кальция в золе линейные деформации расширения возрастают и достигают максимальной величины на 14 сутки твердения. При этом введение высококальциевой золы в количестве 80 % (рисунок 1) позволяет достичь линейного расширения до 5,0 мм/м при максимальном содержании СаО_{св} в золе. Однако прочность на сжатие данных составов стяжек составляет 15 – 19 МПа, что на 30 % ниже прочности контрольного образца. Замена 40 % цемента золой приводит к усадочным деформациям.

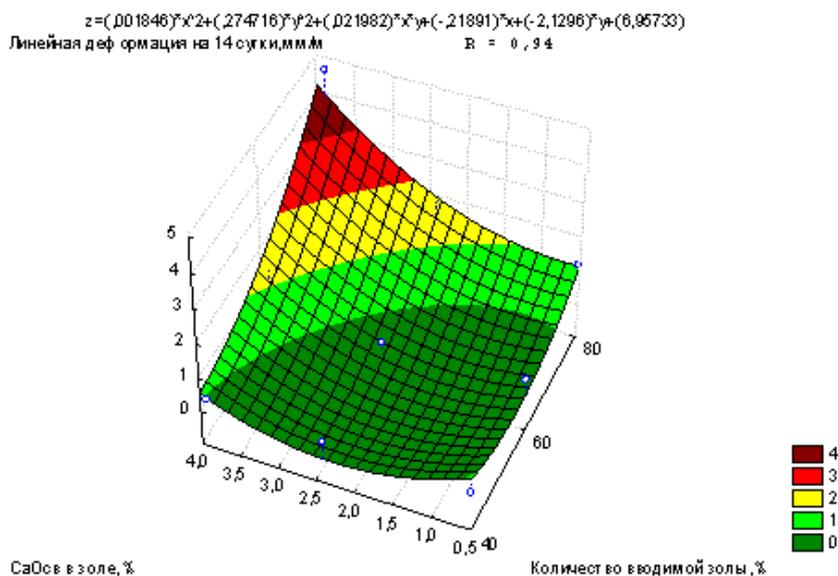


Рисунок 1 – Зависимость изменения линейных деформаций от количества вводимой золы и содержания СаО_{св} в золе

Величина линейного расширения, компенсирующая усадку цементного камня должна составлять 1 – 2 мм/м. Исходя из этого положения оптимальным является замена 60 %

цемента золой (рисунок 2), что обеспечивает удлинение до 0,6 мм/м и прочность при сжатии 20-25 МПа.

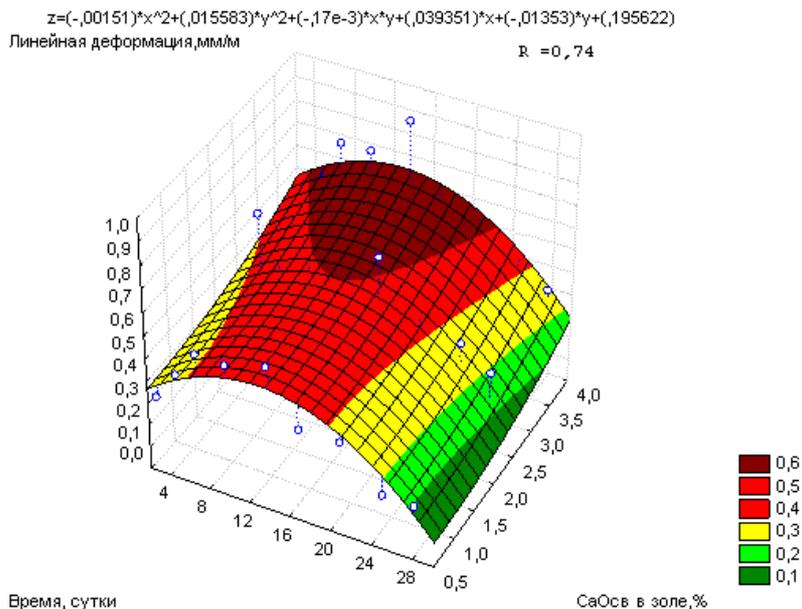


Рисунок 2 – Зависимость изменения линейных деформаций от времени твердения и содержания СаОсв в золе

Однако на величину линейных деформаций оказывает влияние содержание СаОсв в золе. Полученная математическая модель позволяет выявить золы, полностью компенсирующие усадку цементного камня по количеству свободной извести. При замене 60 % цемента золой в составе вяжущего содержание свободного оксида кальция должно составлять не менее 3 – 3,5 %.

Таким образом, введение высококальциевой золы с содержанием СаОсв более 3 % в количестве 60 % от массы вяжущего позволяет компенсировать усадку цементного камня и достичь прочностных характеристик раствора соответствующих М200.

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ ПЛАСТИФИЦИРУЮЩИХ ДОБАВОК НОВОГО ПОКОЛЕНИЯ В ЦЕМЕНТНО-ЗОЛЬНЫХ СИСТЕМАХ

Махиня К. Г., Левченко А. А. – студенты гр. ПСК-81
Научные руководители – к.т.н., Буйко О. В

Самоуплотняющийся бетон (СУБ) является в настоящее время одним из передовых материалов, которые с недавних пор все чаще применяются в строительстве. Использование таких невозможно без применения добавок нового поколения – гиперпластификаторов (ГП). Повышенная текучесть СУБ обеспечивается не только за счет пластифицирующих добавок, но и при их совместном действии с микронаполнителями. В качестве микронаполнителя большинство литературных источников предлагают использовать молотый карбонат кальция или каменную муку. Однако, этот компонент может быть заменен, например, высококальциевой золой (ВКЗ).

Целью исследования было определение эффективности ряда добавок нового поколения на растворах, содержащих буроугольную золу (БУЗ). В эксперименте испытания проводились на образцах из раствора вяжущего с фракционированным песком (0,63-30%; 0,315-20%; 0,16-50%). В качестве вяжущего использовался портландцемент марки ПЦ500Д0 с добавлением высококальциевой золы (ВКЗ) в количестве 10%, 30% и 50% от массы вяжущего. Раствор изготавливался по методике и в соответствии с рекомендациями японского профессора Окамура, который начал изучать самоуплотняющиеся бетоны одним из первых. Рекомендуемое для СУБ отношение вяжущего к песку составляет 1:1,14.

В работе проверялась эффективность добавок Sika Visco Crete 5-800, “BASF” Glenium – 430 и “BASF” Glenium-505, а также традиционного суперпластификатора С-3. В экспериментальные составы данные добавки вводились в количестве 0,7%, 1% и 1,25% от общей массы цемента и БУЗ. Важным условием эксперимента было достижение каждым составом диаметра расплыва конуса Хегерманна равным 25 см. Растворные образцы-балочки, размером 40*40*160 мм. твердели при тепловлажностной обработке по режиму 2 ч выдержка при $t = 30^{\circ}\text{C} + 3\text{ч}$ подъем до $t = 75^{\circ}\text{C} + 4\text{ч}$ выдержка при $t = 75^{\circ}\text{C} + 3\text{ч}$ при отключенном паре. Испытание на прочность проводилось через два часа после ТВО.

В ходе эксперимента было установлено, что исследуемые ГП в чисто цементных составах способны снижать В/В на 25-35% при дозировке 0,7-1,25% от массы вяжущего (рисунок 1). Однако, при частичной замене ПЦ на ВКЗ снижение В/В происходит лишь при небольших её количествах (5-10%). С увеличением содержания ВКЗ до 15-50% В/В возрастает на 1-3% по сравнению с беззольными образцами. Указанная тенденция

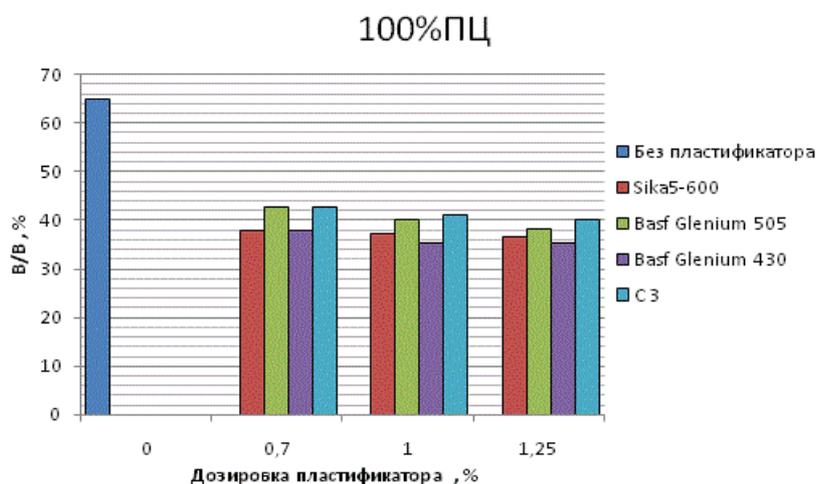


Рисунок 1- Диаграмма зависимости В/В от дозировки пластификатора в цементно-песчаном растворе

характерна для составов со всеми исследуемыми пластификаторами, включая С-3 и непластифицированные растворы (таблица 1). На рисунке 1 представлена зависимость В/В от дозировки пластификатора в цементно-песчаном растворе. Как видно из приведенных данных, исследуемые добавки пластификаторы в независимости от количества БУЗ в составе по своему водоредуцирующему эффекту расположились в следующем порядке. На первом месте “BASF” Glenium – 430, затем

Sika Visco Crete 5-800, “BASF” Glenium – 505 и С-3. При этом оптимальной дозировкой является 0,7-1% от массы вяжущего как в зольных, так и в беззольных системах.

Таблица 1

Наименование пластификатора	Дозировка, %	Значение В/В, %			
		10% ВКЗ	30% ВКЗ	50% ВКЗ	100% ПЦ
Sika 5-600	0,7	38,8	39,3	40	38
	1	37,3	37,8	38,4	37,1
	1,25	34,1	34,7	35,1	36,7
Glenium 505	0,7	41,3	42	42,6	42,6
	1	39,7	40	40	40
	1,25	37,1	38,6	38,8	38,3
Glenium 430	0,7	36,7	37,1	37,4	37,8
	1	35	35,3	35,7	35,4
	1,25	33,7	34,4	38,8	35,3
С-3	0,7	42,6	44	46,1	42,8
	1	41,1	41,4	42	41,4
	1,25	40	40,3	41,5	40
Без добавок	—	65,1	65,7	66	65

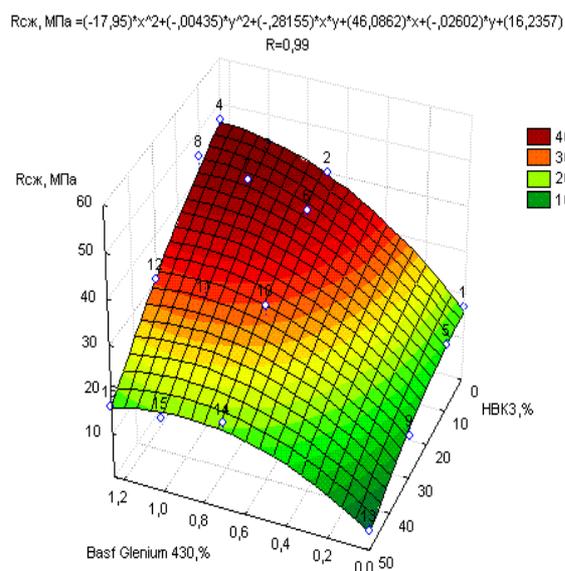


Рисунок 2 – График зависимости прочности от содержания добавки “BASF” Glenium – 430 и ВКЗ.

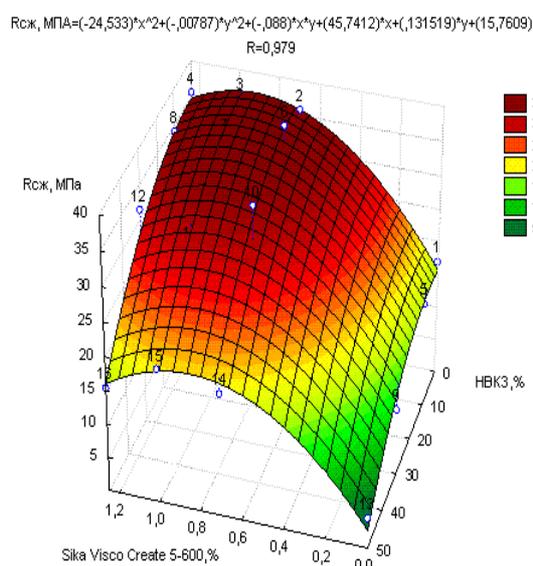


Рисунок 3- График зависимости прочности от содержания добавки “BASF” Glenium – 505 и ВКЗ.

Значительное снижение водо-вяжущего отношения за счёт использования ГП положительно сказывается на прочности образцов. При малом содержании воды снижается количество пор в образцах, а значит, увеличивается прочность.

Например, цементные образцы с добавкой “BASF” Glenium – 430 достигали прочность после пропаривания в камере ТВО равную 46,2 МПа, в то время как аналогичные образцы без добавки показывали прочность в 17,05 МПа (рисунок 2). Из графика видно, что наибольшее значение прочности приходится на максимальную дозировку добавки. А вот образцы с добавкой Sika Visco Crete 5-800 имеют явно выраженный оптимум прочности при дозировке 1% (рисунок 3). Набор прочности составов с добавкой “BASF” Glenium-505 аналогичен составам с добавкой “BASF” Glenium – 430.

Таким образом, введение добавок Sika Visco Crete 5-800, “BASF” Glenium-505 и С-3 при оптимальной дозировке 0,7-1% и “BASF” Glenium – 430 при дозировке 1-1,25% позволяет снижать В/В беззольных и зольных ПЦ растворов на 25-35%. При этом обеспечивается увеличение прочности образцов на 15-30 МПа. Исходя из этого можно сделать вывод, что комплексное использование исследованных добавок с БУЗ возможно при изготовлении самоуплотняющихся бетонов.

ВЛИЯНИЕ ГИПСА ДОННЫХ ОТЛОЖЕНИЙ НА СВОЙСТВА РАЗЛИЧНЫХ МАТЕРИАЛОВ

Мошкина С.С., Соловьева В.С. – студенты гр. ПСК-81

Научный руководитель – д.т.н., профессор Овчаренко Г.И.

Известно, что основным сырьем для производства гипсовых вяжущих является природный гипсовый камень. В нашей стране имеется много гипсовых месторождений, однако некоторые экономические районы страны не имеют достаточно богатых месторождений гипса. В обширные районы Западной и Восточной Сибири, а также Дальнего Востока вынуждены завозить сырье из европейской части страны. В связи с этим вопросы сырьевой базы в развитии гипсовой промышленности становятся главными.

Алтайский край не обладает богатыми месторождениями природного гипсового камня, здесь расположен преимущественно *аморфный гипс* современного озерного происхождения. Значительные запасы гипса такого типа найдены на месторождениях Джиринском и озере Дунай. Поэтому цель испытания – изучить влияние гипса донных отложений на свойства наиболее распространенных строительных материалов: силикатного кирпича и портландцемента.

В научно-исследовательской работе были использованы следующие сырьевые материалы: кварцевый песок Власихинского месторождения с модулем крупности 1,27; клинкер Голухинского цементного завода; высококальциевая зола от сжигания бурых углей КАТЭКа на ТЭЦ-3 (г. Барнаул) с содержанием СаО открытого 3,1 % и СаО суммарного – 6,6 %; низкокальциевая зола ТЭЦ-5 (г. Новосибирск); гипс донных отложений Джиринского месторождения с содержанием двухводного гипса 87,64 %; строительная известь с содержанием активных СаО и MgO 89,85 % и количеством непогасившихся зерен 0,77 %; двухводный гипс, полученный из строительного гипса ОАО «Аракчинский гипс» (г. Казань).

Гипс донных отложений и двухводный гипсовый камень вводились в качестве добавки в количестве 0 %, 2,5 %, 5 %; и 7,5 % в силикатный кирпич, в том числе с использованием кислых и высококальциевых зол. В качестве контрольных изготавливались образцы из известково-кварцевого вяжущего в соотношении 88,88 % песка и 11,12 % извести, что соответствовало силикатной массе с содержанием активного СаО – 10 %. Сырьевая смесь, состоявшая из заранее помолотых и тщательно смешанных компонентов, увлажнялась водой (10 % от общей массы), упаковывалась в герметичный пакет и ставилась в сушильный шкаф для силосования при температуре 60° С в течение 2-4 часов. После силосования смесь дополнительно увлажнялась. Далее из сырьевой смеси прессовались образцы цилиндрической формы диаметром и высотой 50 мм при 20 МПа. Затем образцы проходили автоклавную обработку при 10 ат (1 МПа) в течение 8 часов: 2 часа – подъем температуры, 6 часов – выдержка, затем постепенное остывание в течение 1,5-2 часов. После чего образцы высушивались до постоянной массы в сушильном шкафу при температуре 100 °С и испытывались на прочность.

Аморфный гипс также добавлялся при помоле к портландцементному клинкеру в количестве 0 %, 2,5 %, 5 %; и 7,5 %. Контрольный цемент изготавливался путем помола 95 % клинкера и 5 % кристаллического гипсового камня.

Известково-кварцевые автоклавные материалы типа силикатного кирпича производят, как правило, без добавления гипса. Однако в случае замены кварцевого песка на золы и золошлаковые отходы ТЭЦ двухводный гипс по данным Волженского [1] является эффективным активизатором твердения и рекомендуется к применению в таких композициях. Нами исследовалось влияние гипса донных отложений озера Джиринского и двухводного гипса, полученного из строительного гипса ОАО «Аракчинский гипс» (г. Казань). Прочность автоклавных образцов приведена на рисунке 1, из которого видно, что добавление до 2,5 % обоих гипсов увеличивает прочность известково-кварцевых смесей на 15-18 %. Увеличение добавки гипсов приводит к пропорциональному снижению прочности и более значительному с добавкой гипса донных отложений.

Роль гипса в известково-зольных композициях аналогична для золы кислого состава, но прочность здесь увеличивается на 18-23 %. Для высококальциевых зол видна общая тенденция снижения прочности с увеличением добавки гипса. Таким образом, гипс донных отложений в небольших количествах может применяться в качестве активизатора твердения автоклавных материалов как на основе песка, так и кислых зол и золошлаков.

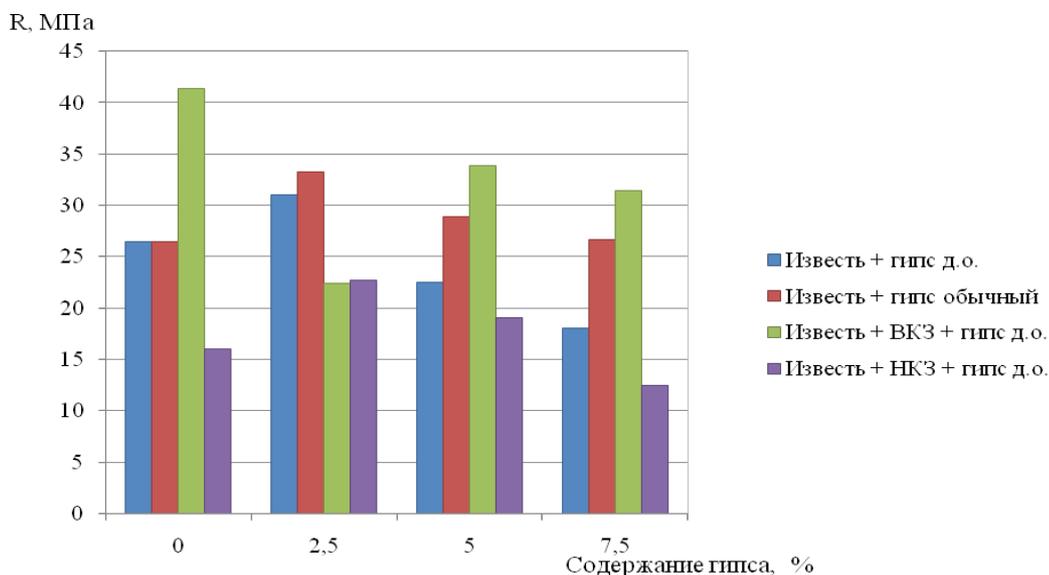


Рисунок 1 – Зависимость прочности при сжатии силикатного кирпича от количества вводимой добавки гипса

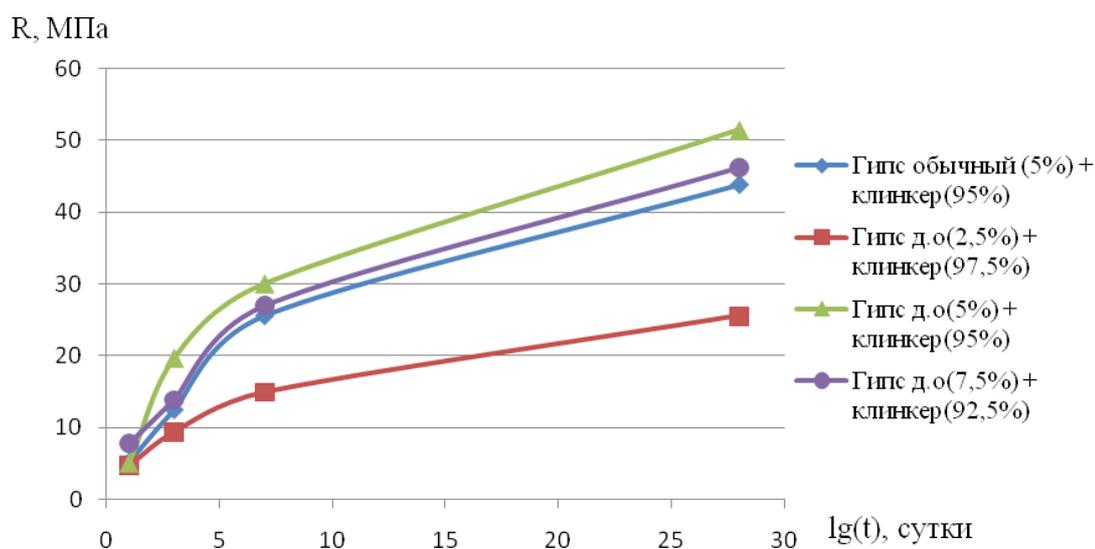


Рисунок 2 – Кинетика набора прочности цементов

Известно, что портландцемент представляет собой тонкомолотую смесь клинкера и двуводного гипса в количестве, как правило, не более 5 %. Исследование гипса донных отложений в таких композициях на основе клинкера Голухинского цементного завода показало, что он является более эффективной добавкой по сравнению с обычным (рисунок 2). Более быстрый набор прочности в смесях с гипсом донных отложений может объясняться влиянием солей, содержащихся в отложениях на кинетику твердения.

Список литературы

1) Волженский, А. В. Минеральные вяжущие вещества: технология и свойства [Текст] : учебник для вузов / А. В. Волженский, Ю. С. Буров, В. С. Колокольников – М. : Стройиздат, 1979. – 476 с.

ВЛИЯНИЕ ХИМИЧЕСКИХ И МИНЕРАЛЬНЫХ ДОБАВОК НА ПРОЧНОСТНЫЕ СВОЙСТВА СИЛИКАТНОГО КИРПИЧА

Овчинников С.П., Ситников А.А. – студенты гр. ПСК-81
Научный руководитель – д.т.н, профессор Овчаренко Г.И.

В настоящее время в Алтайском крае силикатный кирпич является одним из приоритетных стеновых материалов, и в связи с этим актуальным является улучшение его прочностных свойств, упрощение технологической схемы производства и удешевление стоимости кирпича. Одним из решений данной задачи является использование техногенных отходов промышленности и теплоэнергетики. Поэтому применение низкокальцевых зол в технологии силикатного кирпича является достаточно перспективным направлением. Наряду с этим улучшение строительно-технических свойств кирпича затруднительно без применения химических добавок. Целью исследования является анализ влияния различных солей и гипса на прочность силикатного кирпича на основе низкокальцевой золы.

В качестве сырьевых материалов были использованы: кварцевый песок Власихинского месторождения с модулем крупности 1,27, низкокальцевая зола ТЭЦ-5 (г. Новосибирск), двухводный гипс, полученный из строительного гипса ОАО «Аракчинский гипс» (г. Казань), комовая негашеная известь.

Эксперимент заключался в добавлении солей NaOH, Na₂SO₄, NaCl в количестве 0,5 %; 1 %; 1,5 % и двухводного гипса (CaSO₄*2H₂O) в количестве 2,5 %; 5 %; 7,5 % в золосиликатный кирпич с процентным содержанием извести: 5 %; 10 %; и 15 %. Низкокальцевую золу предварительно прокаливалась при температуре 700-800 °С для удаления органических соединений. Далее производился помол золы и комовой негашеной извести в шаровой мельнице с энергией E=50%, что соответствует 22,5 минуты работы мельницы.

К молотому составу добавляют песок в качестве заполнителя, затворяют раствором добавки с нужным ее процентом и силосуют в сушильном в течении 2 часов для полной гидратации извести. После силосования смесь доувлажняют для формовочной влажности. Далее формируют образцы-цилиндры 5*5 на прессе под давлением 40кН (20МПа). Процесс твердение образцов происходит в автоклаве, со следующим режимом работы: подъем температуры и давления до 10 атмосфер (1 МПа), выдержка в течении 6 часов и медленное охлаждение автоклава и сброс пара. После процесса автоклавирования образцы сушатся в сушильном шкафу до постоянной массы. Испытание образцов проводится на сопротивление сжатию, с предварительным замером и взвешиванием образца.

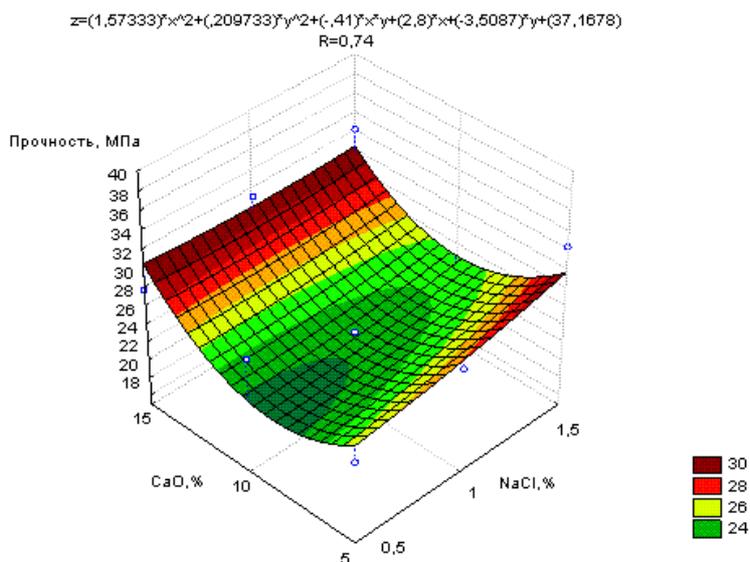


Рисунок 1 – Зависимость прочности силикатного кирпича от процента добавки NaCl и CaO

В системе на основе кислой золы, как показал эксперимент, достаточно 5% извести. При этом, влияние добавок таково, что NaCl повышает прочность от 24 до 30 Мпа (рисунок 1), а Na₂SO₄ (рисунок 2) и NaOH (рисунок 3) ведут себя неоднозначно. Na₂SO₄ лишь немного увеличивает прочность силикатного кирпича, в то время как при добавлении NaOH прочность уменьшается с увеличением процента добавки.

При 10 % содержании извести в силикатном кирпиче все вышеперечисленные добавки оказывают

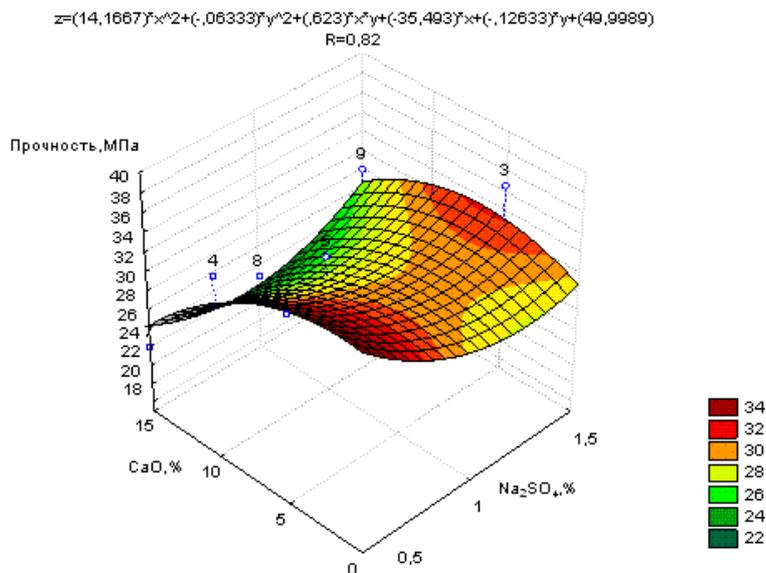


Рисунок 2 – Зависимость прочности силикатного кирпича от процента добавки Na_2SO_4 и CaO

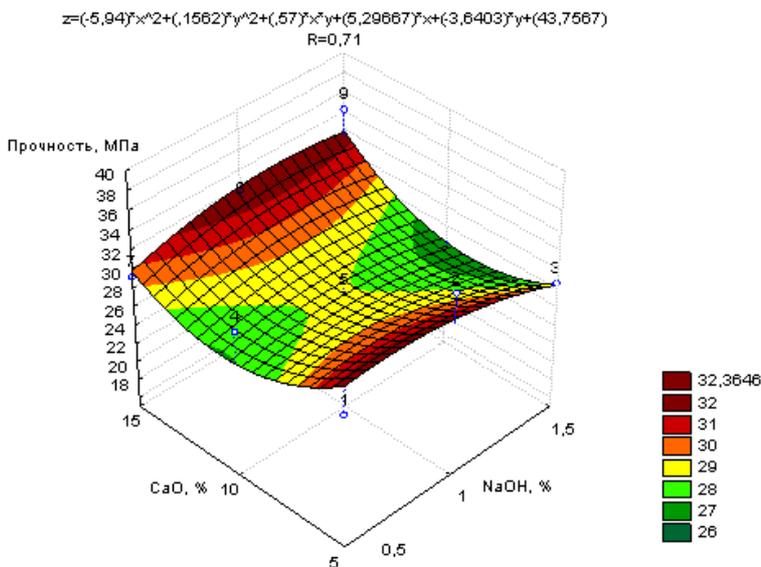


Рисунок 2 – Зависимость прочности силикатного кирпича от процента добавки NaOH и CaO

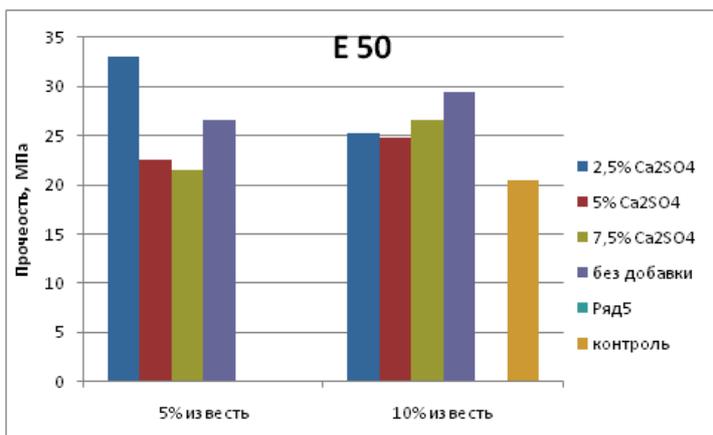


Рисунок 2 – Зависимость прочности силикатного кирпича от процента добавки CaSO_4 и CaO

отрицательное влияние на прочностные характеристики, либо незначительно увеличивают их.

При 15 % содержании извести NaOH , Na_2SO_4 и NaCl увеличивают прочность, но не так интенсивно, как при 5 % содержании извести.

Также установлено, что при добавлении в силикатный кирпич с содержанием CaO 5 % двуводного гипса ($\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$) в процентном содержании 2,5 %; 5 % и 7,5 % (рисунок 4) только лишь 2,5 % -ная дозировка показывает желаемый результат.

Прочность увеличивается с 27 до 33,5 МПа. При введении 5 % и 7,5 % прочность силикатного кирпича снижается на 5-6 МПа.

При содержании извести в количестве 10 % двуводный гипс ведёт себя несколько иначе. Прочность образцов при любой дозировке ($\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$) падает на 3-4 МПа.

В результате проведенного эксперимента была установлена возможность использования золы в качестве мелкого заполнителя. Также возможно применение соли NaCl для увеличения прочностных характеристик силикатного кирпича с 5 % содержанием извести и двуводного гипса ($\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$) в количестве 2,5 % . Экономический эффект заключается в снижении стоимости силикатного кирпича, за счёт разницы в цене низкокальцевой золы и кварцевого песка. Цена одной тонны кварцевого песка в среднем равна в среднем 1200 рублей, в то время как одна тонна золы стоит 600 рублей за тонну.

ОПТИМИЗАЦИЯ СТРУКТУРЫ НЕАВТОКЛАВНОГО ПЕНОБЕТОНА

Пензева Н.В., Старовойтова Д.С. – студенты группы ПСК-81

Научный руководитель – к.т.н. Щукина Ю.В.

- аспирант Баев М.Н.

В настоящее время отмечается интенсивный рост производства пенобетона и появление на рынке его разнообразных технологий. Такому успешному становлению способствует наличие большого количества различных эффективных пенообразователей, благодаря которому производство пенобетона весьма востребовано. Неавтоклавный пенобетон является многофункциональным строительным материалом, получаемым из недорогого и доступного сырья. Его используют в качестве легкого теплоизоляционного и стенового материала в основном по монолитной технологии, а так же в виде легкого строительного раствора при проведении кладочных работ.

Основными технологическими проблемами производителей неавтоклавного пенобетона остается неравномерность распределения свойств по высоте отливки и низкая устойчивость пены в цементном тесте, особенно при монолитной технологии. Для решения этих проблем возможно введение различных добавок, которые будут положительно влиять на свойства и позволит получить сухой пенообразователь со стабильными характеристиками.

Поэтому целью данной работы является оптимизация структуры неавтоклавного пенобетона, для достижения которой необходимо решить следующие задачи:

- повысить качественные характеристики пен путем перевода пенообразователя на минеральный носитель;
- повысить прочность межпоровой перегородки введением пластификаторов;
- изучить влияние пластификатора на стойкость в цементном тесте.

В научно-исследовательской работе были использованы следующие сырьевые материалы: портландцемент М400 Д20 (Голухинского цементного завода), соответствующий требованиям ГОСТа; белковые пенообразователи Foamset (Италия), Reniment SB 31L (Германия); добавки (микрокремнезем, мел, кислая каменноугольная зола (ТЭЦ-5 Новосибирск), каолин, бентонит).

Для определения качественных характеристик пены 30 г пенообразователя и 24 г добавки-минерализатора смешивают и высушивают при температуре 60 °С до постоянной массы. Полученный сухой пенообразователь измельчают и для образования пены взбивают с 1470 мл воды 3,5 минуты. Одновременно с взбивающим механизмом включают секундомер для отсчета времени. Затем определяют плотность, кратность, устойчивость и стойкость пены в цементном тесте.

Для определения влияния пластификаторов на прочность межпоровой перегородки готовят цементное тесто с добавлением пластификаторов дозировками 0,3 %, 0,45 %, 0,6 % от массы цемента. Для определения количества воды затворения измеряют расплыв лепёшки цементного теста с помощью вискозиметра Суттарда. При водоцементном (В/Ц) отношении 0,4 расплыв лепёшки составил 115 мм, который принимают за контроль. Соответственно, для остальных составов подбирают такое В/Ц отношение, при котором расплыв лепёшки равен контрольному. Из полученного теста формируют образцы-кубы со стороной 2 см, которые твердеют в нормальных условиях. Затем определяют прочность при сжатии на 1, 3, 7 и 28 сутки. По полученным качественным характеристикам пенообразователей выбирают добавку-минерализатор, с которой пена обладает лучшей устойчивостью и стойкостью в цементном тесте.

В ходе эксперимента было установлено, что введение добавки-минерализатора бентонита в 1,5 раза увеличивает устойчивость пены по сравнению с контролем (рисунок 1). Применение других добавок-минерализаторов приводит к увеличению плотности пены в среднем на 5 %, при этом устойчивость ниже, чем у контрольных составов. Кроме этого на плотность пены и её стойкость в цементном тесте влияют не только добавки-минерализаторы, но и вид пенообразователя. Таким образом, при оценке качественных

характеристик пенообразователей и добавок-минерализаторов были установлены оптимальные составы сухого пенообразователя - Foamcem и Reniment на основе бентонита.

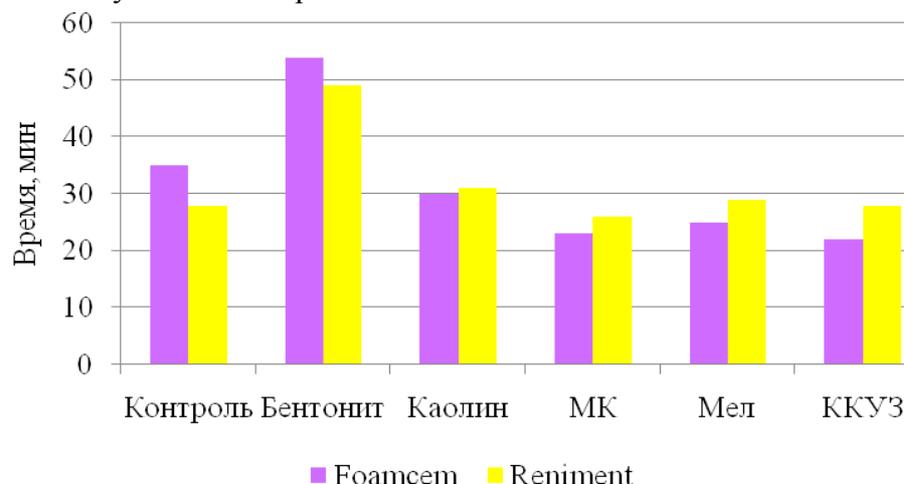


Рисунок 1 - Устойчивость пены

Изготовление пенобетона по классической технологии требует повышенного расход воды, что негативно сказывается как на структуре, так и на прочности материала. Поэтому актуальным становится уменьшение В/Ц отношения без потери подвижности смеси. Снижение В/Ц отношения возможно за счет использования пластифицирующих добавок. Так с их введением происходит увеличение прочности межпоровой перегородки в среднем в 2 раза, при этом В/Ц отношение снижается до 20 %. Максимальную прочность показали образцы с добавками Sika ViscoCrete 5-600 и Sika ViscoCrete 5 Neu. При введении этих пластификаторов на 1 сутки твердения образцы показывают 40 % от марочной прочности (через 28 суток).

В результате проведенного эксперимента установлено, что стойкость в цементном тесте зависит от концентрации пластифицирующих добавок и их вида. С увеличением концентрации стойкость пены в цементном тесте резко снижается. Наименьшее влияние на данное свойство оказывают пластификаторы Sika ViscoCrete 5-600 и Sika ViscoCrete 5 Neu (рисунок 2).

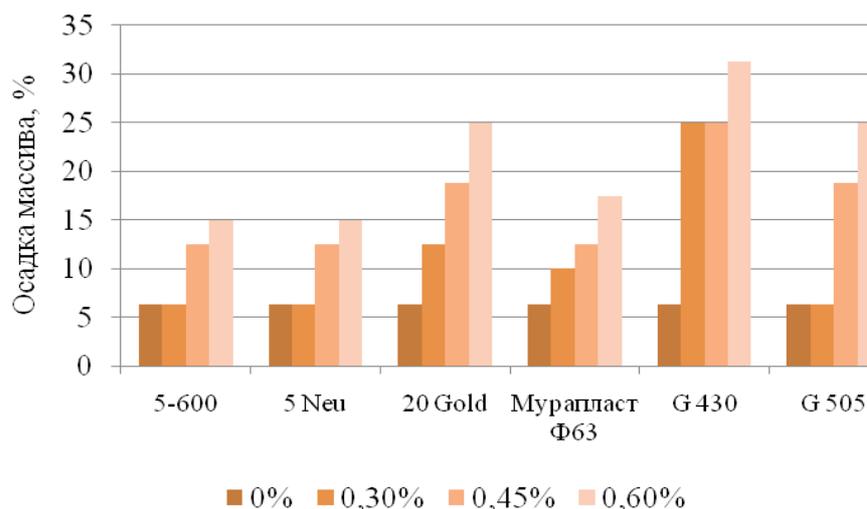


Рисунок 2 - Стойкость в цементном тесте с пенообразующей добавкой Reniment

Таким образом, в ходе работы была установлена возможность получения сухого пенообразователя на минеральном носителе бентонит, что обусловлено адсорбцией пенообразователя и минерализацией пены. Введение пластифицирующей добавки Sika ViscoCrete 5 Neu позволяет снизить В/Ц отношение на 20 %, повысить прочность межпоровой перегородки 2 раза, при этом стойкость пены в цементном тесте не отличается от контроля.

РАЗРАБОТКА И ОПТИМИЗАЦИЯ СОСТАВОВ САМОУПЛОТНЯЮЩИХСЯ БЕТОНОВ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ МЕСТНЫХ МАТЕРИАЛОВ

Казарян Г.П., Пискунов М.И. – студенты гр. ПСК – 61
Научный руководитель – к.т.н., доцент Буйко О. В.

Появление новых амбициозных проектов в сфере строительства повысило требования к тяжелым бетонам. При воплощении этих проектов было необходимо использование самоуплотняющихся бетонных смесей (СУБ) в большом объеме. В определении СУБ говорится, что это бетон, который способен уплотняться под действием собственного веса, полностью заполняя форму даже в густоармированных конструкциях. Однако, сырьевые материалы, входящие в состав бетона зарубежных исследователей, отличаются от сырьевых материалов, поставляемых на Барнаульские заводы ЖБИ. Это стало основной причиной для проведения исследований на тему разработки оптимального состава СУБа из доступных сырьевых материалов и исследование его свойств. Разработка подобного состава позволит решить проблему сокращения времени и трудозатрат на уплотнение обычной бетонной смеси при производстве ЖБИ по кассетной технологии.

Основными отличиями СУБов от традиционных бетонных смесей является наличие в них тонкодисперсной реологически активной матрицы и наличие гиперпластификатора, обеспечивающего гравитационную растекаемость под действием собственного веса. Эти два фактора существенно облегчают процесс формирования железобетонных изделий.

Целью данного исследования являлась разработка оптимального состава самоуплотняющегося бетона с использованием гиперпластификаторов - полимеров нового поколения на основе поликарбоксилатов и разными видами микронаполнителя.

В работе применялись следующие сырьевые материалы: ПЦ М500 Д0 Искитимского цементного завода; ПЦ М400 Д20 Голухинского цементного завода; высококальциевая зола ТЭЦ-3 г. Барнаула с содержанием суммарного (открытого и закрытого) свободного $\text{CaO}_{\text{св}}$ – 5,4 %; КУЗ ТЭЦ-5 г. Новосибирска; активированный минеральный порошок МП-1 производства ЗАО «Инертник» г. Гурьевска Кемеровской области; обской песок с $M_{\text{кр}}=1,2$; отсев фракции 0-5 мм Бийского ГПК; щебень фракции 5-20 мм Бийского ГПК.

Испытания проводились на бетонных образцах с размером ребра 10x10x10 см, которые твердели при тепловлажностной обработке по режиму: 2 ч выдержка при $t=23^{\circ}\text{C}$ + 3ч подъем до $t=75^{\circ}\text{C}$ + 10 ч понижение температуры до 23°C при отключенном паре. Заводские составы для кассетных изделий, содержащие УП-2 и РЕЛАМИКС, были приняты за контроль, имели ОК 10-15 см и уплотнялись с помощью вибрации. Гиперпластифицированные составы СУБ с распылом конуса 65-75 см являются высокоподвижными смесями класса SF2 по классификации Шуттера. Самоуплотняющийся бетон не подвергался уплотнению. Образцы - кубы испытывали на прочность через два часа после ТВО и через 28 суток дополнительного твердения после ТВО.

В качестве пластифицирующего компонента СУБ были взяты следующие добавки: GLENIUM Sky 430 фирмы BASF, SIKА ViscoCrete 5-800 и SIKА ViscoCrete 5-600. По результатам исследований и GLENIUM Sky 430 и SIKА показали лучшие результаты по водоредуцирующему эффекту и приросту прочности. Однако, в связи с достаточно высокой стоимостью GLENIUMa, в работе применялась пластифицирующая добавка SIKА.

Исследования показали, что для увеличения объема тонкодисперсной реологической матрицы необходимо вводить в бетонную смесь значительное количество микронаполнителя, заменяя им избыточную долю цемента (до 50%) в литом бетоне. Образующаяся в малощебеночном бетоне матрица, кардинально меняющая состав и структуру бетона, обеспечивает свободное перемещение частиц песка в минерально-водно-цементной системе.

Не всякий микронаполнитель может быть использован для увеличения объема реологической матрицы. Он должен быть реологически активным в суспензии с пластификатором и обеспечивать более высокую гравитационную растекаемость (текучесть под действием собственного веса), чем чисто цементная суспензия. Реологические свойства

такой суспензии должны обеспечивать высокий водоредуцирующий эффект с сохранением текучести смеси и прочности бетона.

В качестве микрозаполнителей в исследовании применялись активированный и неактивированный минеральные порошки МП-1 для производства асфальтобетонных смесей, ВКЗ ТЭЦ-3 г. Барнаула, КУЗ ТЭЦ-5 г. Новосибирска. Все микрозаполнители имели остаток при просеивании на сите 008 5-15%, что соответствует тонкости помола портландцемента.

В качестве крупного заполнителя для СУБ зарубежными источниками рекомендуется применять щебень с размерами зерен 4-8 и 8-16 мм. Изначально в исследовании применялся рядовой щебень фракций 5-10 и 10-20 мм, позднее фракции заполнителя были максимально приближены к рекомендуемым и составляли 5-10 и 10-15 мм. Использование щебня с размерами зерен 5-10 и 10-15 мм дало увеличение подвижности бетонной смеси за счет получения большей ее однородности без снижения прочности бетона. При этом стало возможным использование блокировочного кольца в качестве имитации арматуры при определении расплыва конуса Абрамса.

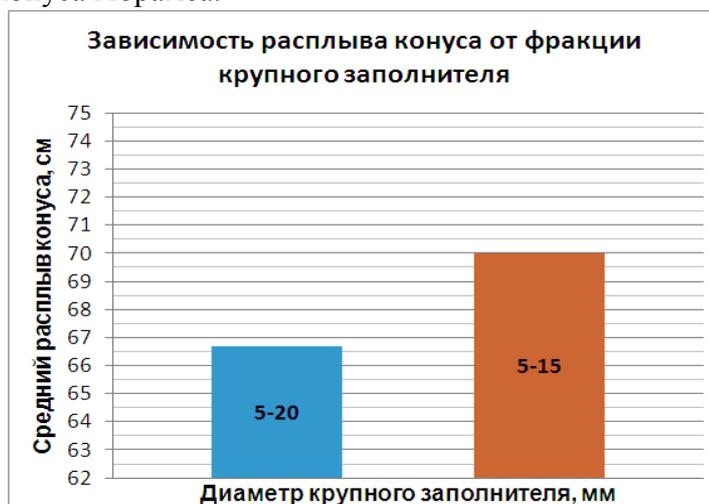


Рисунок 1 – Среднее значение расплыва конуса в зависимости от фракции крупного заполнителя в СУБ

На рисунке 1 приведена зависимость среднего расплыва конуса составов с разными фракциями заполнителя. Из него видно, что с приближением размера зерен крупного заполнителя к рекомендуемым расплыв конуса увеличивается примерно на 5%. В результате можно снизить расход пластификатора, тем самым уменьшив себестоимость, оставаясь в пределах требуемого класса по подвижности SF2.

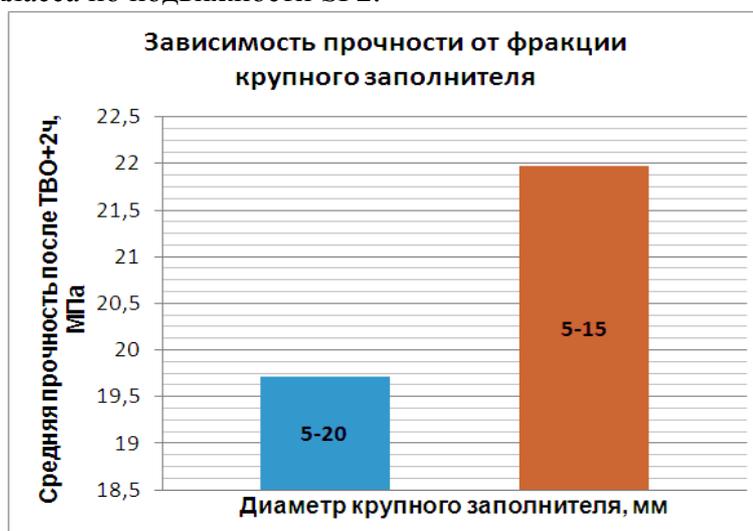


Рисунок 2 – Зависимость прочности от фракции крупного заполнителя

Рисунок 2 демонстрирует, что с заменой фракции 10-20 мм на 10-15 мм средняя прочность образцов не только не упала, но и выросла более чем на 10%.

По рекомендации профессора Окамуры модуль крупности мелкого заполнителя должен быть равен 3,4-3,6. Применение в СУБ нефракционированного Обского песка является нецелесообразным из-за пониженного модуля крупности ($M_{кр}=1,2$). Исследования показали, что использование этого песка влечет за собой увеличение водоцементного отношения, а это негативно отражается на прочности бетонных образцов. Для увеличения $M_{кр}$ был использован отсев фракции 0-5 мм с $M_{кр}=3,8$, который фракционировался на ситах 0,63 и 1,25 мм в соотношении 30/70 % соответственно для создания идеальной матрицы в бетоне. Однако результаты исследований показали, что из отсева достаточно убрать только фракции более 5 мм. Это уменьшает трудозатраты при производстве бетона и снижения потенциальной себестоимости СУБ. При этом, как показали исследования, наблюдается прирост прочности составов (рисунок 3).



Рисунок 3 – Зависимость прочности от мелкого заполнителя

Таблица 1 – Сравнительная характеристика традиционных и самоуплотняющихся бетонов

Вид бетона	ПЦ 400 Д20, кг	ПЦ 500 Д0, кг	Минеральный порошок, кг	Песок Обской, кг	Отсев 0-5мм, кг	Щебень 5-20мм, кг	Щебень 5-15мм, кг	Добавка, кг	Вода, л	ОК/Р, см	Пр-ть, МПа
Традиционный 1	350	-	-	740	-	1010	-	2,45	235	ОК14	20,1
Традиционный 2	390	-	-	700	-	1090	-	1,95	210	ОК12	24,3
СУБ 1	-	311	325	-	776	-	697	5,29	225	Р72,5	24,0
СУБ 2	361	-	282	-	776	-	697	5,29	225	Р71	23,1

В таблице 1 приведены составы подвижных бетонных смесей, уплотняемых вибрацией и составы СУБ. Содержание вяжущего и в тех и в других смесях находится примерно на одном уровне. Однако, за счет использования в СУБ оптимально подобранных минерального наполнителя, мелкого и крупного заполнителя, а также поликарбоксилатной добавки они не требуют уплотнения вибрацией, а их прочность не ниже прочности традиционных бетонов.

Таким образом, результаты исследования показали реальную возможность получения самоуплотняющихся бетонов на основе поликарбоксилатных пластификаторов последнего поколения с использованием местных материалов в качестве заполнителей и микрозаполнителя, за счет их рационального подбора. Именно это позволяет применять СУБ не только в монолитном строительстве, но и на заводах ЖБИ, существенно повышая качество изделий.

ПЕРЕРАБОТКА ВЫСОКОКАЛЬЦИЕВЫХ ЗОЛ И ШЛАКОВ ТЭЦ-3 г. БАРНАУЛА В СИЛИКАТНЫЙ КИРПИЧ

Самсонов А.Ю., Стрельцов И.А. - студенты гр. ПСК – 61
Научный руководитель – д.т.н., профессор Овчаренко Г.И.

Известно, что из высококальциевых зол ТЭЦ от сжигания бурого угля Канско-Ачинского Бассейна после их предварительной автоклавной обработки можно получить силикатный кирпич требуемых марок. Однако из предыдущих исследований не известно влияние изменения основности как самой золы, так и смесей на её основе на свойства материала

Целью данной работы является исследование влияния основности композиций на основе высококальциевых зол ТЭЦ-3 г. Барнаула и энергии их помола на прочность силикатного кирпича. В ходе эксперимента требовалось определить оптимальные составы для получения силикатного кирпича, не уступающего по физико-механическим характеристикам традиционному.

В работе использовались следующие сырьевые материалы: три пробы золы-уноса и шлаковый песок ТЭЦ – 3 г. Барнаула (таблица 1); полевошпатовый Обской песок; песок Власихинского карьера с модулями крупности соответственно 1,3 и 1,2 и относятся к очень мелким.

Таблица 1 – Химический состав использованных зол и шлаков

Наименование материала	п.п.п.	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	CaO	MgO	SO ₃	Сумма	Кк	Косн	CaO _{св} откр
1.ВКЗ проба 1	4,19	28,84	7,27	9,32	39,86	8,06	1,56	99,10	1,91	1,45	3,42
2.ВКЗ проба 2	5,94	26,99	6,89	11,57	36,73	8,42	1,72	98,26	1,93	1,42	5,41
3.ВКЗ проба 4	3,23	36,45	10,95	8,06	30,78	6,88	1,57	97,92	1,33	0,80	2,41
4.Шлаковый песок ТЭЦ-3	-	31,78	5,78	18,00	35,88	8,18	0,11	99,73	1,57	1,15	-

В ходе эксперимента зола подвергалась предварительному гашению в автоклаве при 10 атмосферах и изотерме в 6 часов, а также после дополнительного помола при 50, 100 или 150 % затрат энергии на стандартный помол клинкера на цемент. Все компоненты состава перемешиваются до однородного состояния. В качестве укрупняющей добавки использовался полевошпатовый или шлаковый песок в количестве 20 % от массы вяжущего. Далее полученная смесь увлажняется до нормальной формовочной влажности и из неё формируются образцы-цилиндры размером 50*50 мм под удельным давлением 20 МПа. Часть оставшейся смеси высушиваются до постоянной массы, чтобы определить нормальную формовочную влажность. 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 за 1,5- 2 часа. Извлеченные из автоклава образцы-цилиндры высушиваются до постоянной массы в сушильном шкафу при температуре 100 °С. Высушенные образцы взвешиваются, измеряются штангенциркулем (диаметр и высота) и испытываются на прессе при равномерной подаче нагрузки. Контрольный состав состоит из 10 % извести в пересчете на CaO и 90 % кварцевого песка Власихинского месторождения. Переводной коэффициент от прочности лабораторных образцов к прочности кирпича заводского изготовления составляет 0,55.

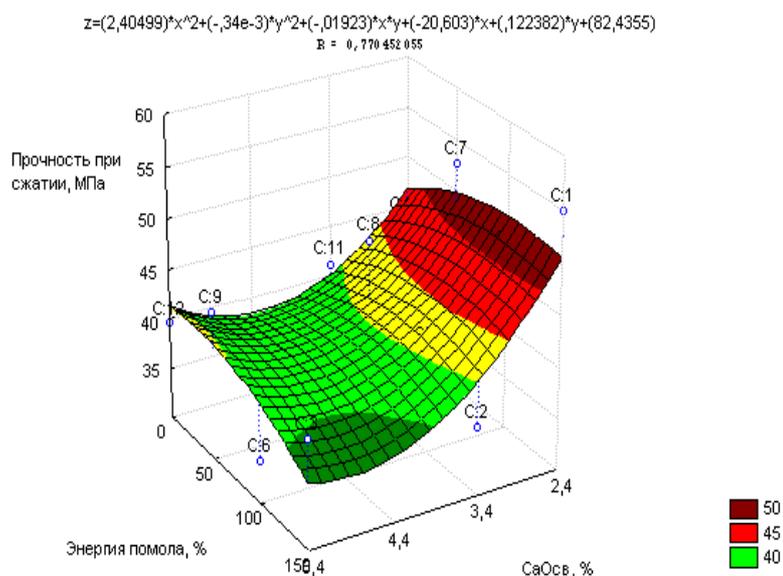


Рисунок 1 – Зависимость прочности образцов-цилиндров, полученных совместным помолом ВКЗ и полевошпатового песка, от энергии помола и СаО свободного в золе (в качестве укрупняющей добавки – обской песок 20% от вяжущего)

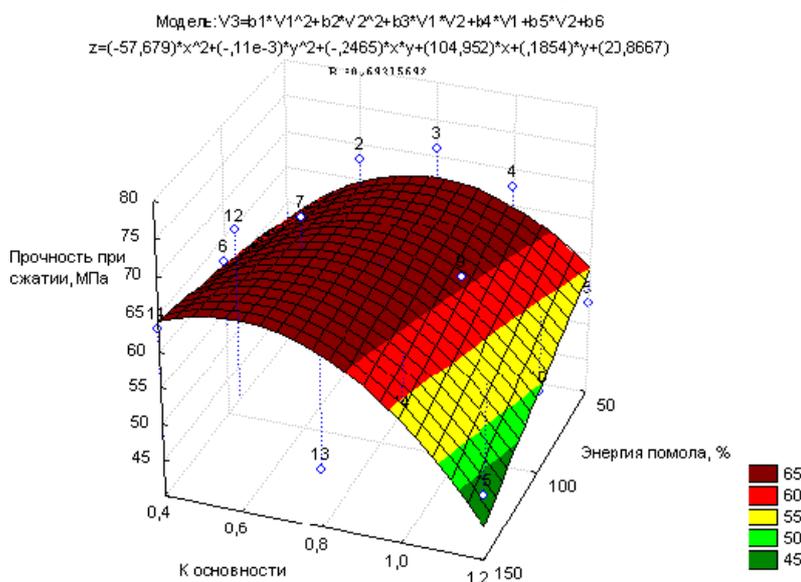


Рисунок 2 – Зависимость прочности образцов-цилиндров, полученных совместным помолом из ВКЗ ($CaO_{\text{своб}}=5,4\%$) и полевошпатового песка, от энергии помола и коэффициента основности смеси вяжущего (в качестве укрупняющей добавки – обской песок 20% от вяжущего)

В результате эксперимента установлено, что помол золы-уноса не значительно влияет на прочностные характеристики составов (рисунок 1). Увеличение основности золы (т.е. увеличение содержания свободной извести в золе) приводит к снижению прочности камня. Следовательно, необходимо оптимизировать коэффициент основности смеси. Это, в частности, обеспечивается добавлением кислого компонента, что отражено на рисунке 2. Оптимальный коэффициент основности вяжущего находится в пределах от 0,8 до 1,0 для состава, подвергнутого помолу с 50 % энергии.

С экономической точки зрения не целесообразно осуществлять совместный помол золы и песка, в связи с большими энергетическими затратами, поэтому принято решение осуществлять помол только кислого компонента. Так как существует проблема утилизации шлаков ТЭЦ-3 принято решение использовать шлаковый песок в виде укрупняющей добавки, взамен обского.

СОБСТВЕННЫЕ ДЕФОРМАЦИИ РАСТВОРОВ С ДОБАВКОЙ ВЯЖУЩЕГО НИЗКОЙ ВОДОПОТРЕБНОСТИ НА ОСНОВЕ ВЫСОКОКАЛЬЦИЕВЫХ ЗОЛ.

Тафинцев Н.Е, Хлыбов С.А.– студенты гр. ПСК-81

Научный руководитель – Хижинкова Е.Ю.

Физико-химические процессы схватывания и твердения обычных цементов сопровождаются суммарной усадкой, выражающейся в уменьшении внешнего объема твердеющего цемента на протяжении длительного периода. Усадочные трещины в сооружениях приводят к коррозии арматуры предварительно напряжённых конструкций, подвергающихся атмосферным воздействиям. Использование высококальциевых зол (ВКЗ) помогает решить эту проблему.

Целью данной работы являлось исследование собственных деформаций растворов с добавкой вяжущего низкой водопотребности на основе высококальциевых зол.

В работе применялись цемент ПЦ М400 Д20 Голухинского цементного завода, высококальциевая зола Барнаульской ТЭЦ-3, суперпластификатор С-3, песок речной поймы реки Обь. Добавка ВНВ изготавливалась путем совместного помола высококальциевой золы (ВКЗ) и 2 %, 6 % и 10 % суперпластификатора С-3 в стандартной лабораторной шаровой мельнице типа МБЛ – 5 при 50 % энергии помола. Из цементно-песчаного раствора состава 1:3, в котором часть массы песка заменялась на количество ВНВ 10 – 70 % взятое от массы ПЦ, формовались образцы - балочки размером 160x40x40 мм, которые хранились в нормальных условиях. Собственные деформации измерялись на тензомере с механизмом часового типа в течении месяца через день, после месяца через каждые два дня. За контрольные были приняты бездобавочный цементно-песчаный раствор (контроль) и состав в котором 10 % ПЦ заменялось на ВНВ, полученное путем помола ПЦ и соответствующего количества С-3 (контроль №2). Водопотребность раствора контролируется путем погружения стандартного конуса. В качестве требуемой подвижности были выбраны подвижности 5 см и 15 см.

Для обеспечения безусадочности цементно-зольных композиций достаточно добиться линейного расширения или усадки не более 0,5 мм/м, которое не будет приводить к деструкции образца.

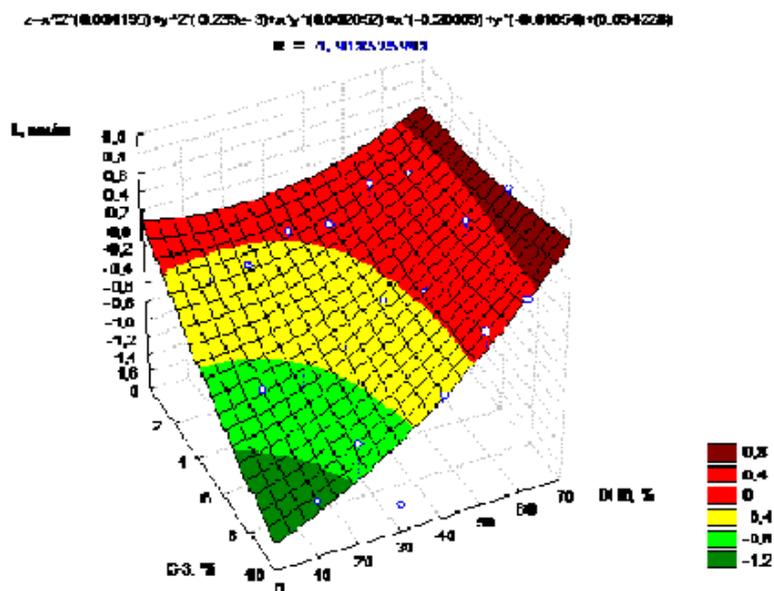


Рисунок 1 - Зависимость линейных деформаций цементно-зольных композиции от содержания добавки ВНВ и С-3, при подвижности растворных смесей 5 см на 28 сутки твердения в н. у.

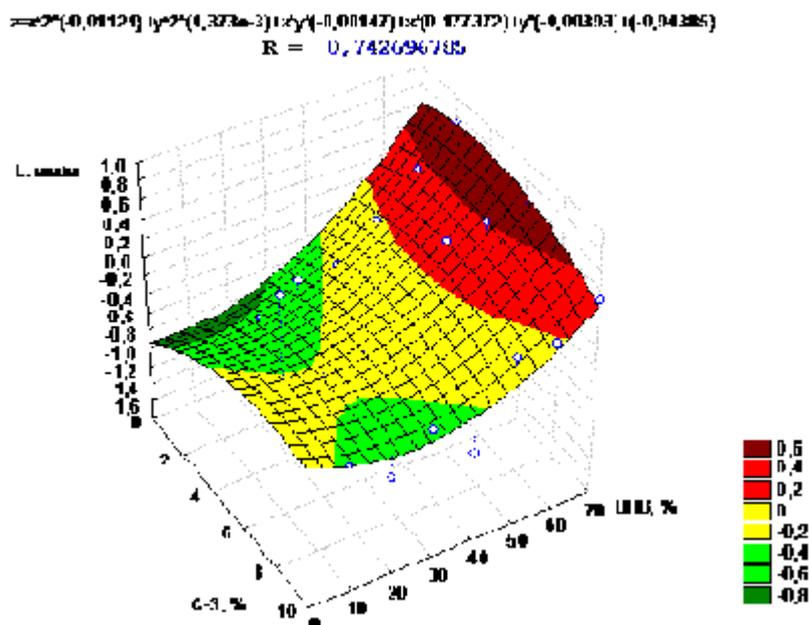


Рисунок 2 – Зависимость линейных деформаций цементно-зольных композиции от содержания добавки ВНВ и С-3, при подвижности растворов смесей 15 см на 28 сутки твердения в н. у.

По результатам эксперимента видно, что на 28 сутки нормального твердения контрольные растворные смеси и составы, в которых 10-40 песка заменялось на добавку ВНВ, дают усадку до 1,5 мм/м (рисунок 1). Увеличение в составе композиции вяжущего низкой водопотребности, содержащем высококальциевую золу, выше 50 % позволяет получить безусадочные растворы с величиной собственных деформаций около 0,5мм/м. Наибольшее расширение дают составы с максимальным количеством ВНВ, причем содержание пластификатора С-3 в составе вяжущего низкой водопотребности оказывает меньшее воздействие на линейные деформации, чем собственно высококальциевая зола.

Анализируя рисунок 2, можно прийти к выводу, что для растворов с добавкой ВНВ на основе ВКЗ с ПК=15 см, так же как и с ПК=5 см расширяющий эффект ВКЗ виден нагляднее чем расширяющий эффект С-3.

Таким образом, с точки зрения безусадочности для растворов с погружением конуса 5 см и 15 см оптимальным является содержание добавки ВНВ 50-70 % с количеством в ней С-3 2-6 %.

ИЗУЧЕНИЕ ВЛИЯНИЯ ШЛАКОВ ТЭЦ-3 И МИНЕРАЛЬНЫХ ДОБАВОК НА СВОЙСТВА СИЛИКАТНОГО КИРПИЧА

Тятюхина Д. Д., Зяблицкая Я. В. - студенты гр. ПСК – 61
 Научный руководитель - д. т. н., проф. Козлова В.К.

Силикатный кирпич является в настоящее время одним из самых распространенных стеновых материалов в России. Он широко применяется в строительстве наряду с керамическим кирпичом, однако его нельзя использовать для кладки фундаментов и цокольной части зданий ниже гидроизоляционного слоя в связи с недостаточной водостойкостью. Недостатком этого материала является также пониженная воздухоустойчивость (стойкость по отношению к действию агрессивных компонентов газовой среды), следствием этого может быть высолообразование, а также снижение прочности в процессе службы.

С целью повышения показателей прочности сырца, прочности готового кирпича, водостойкости и морозостойкости в известково-песчаную смесь для получения силикатного кирпича вводят различные добавки, в том числе добавки вяжущих веществ, химические добавки, а также добавки, представляющие собой отходы промышленности. Главным

достоинством используемых добавок должна быть их технологичность, дешевизна и доступность. С этой точки зрения наиболее перспективными являются минеральные добавки искусственного и природного происхождения. В литературе большое внимание уделено вопросам использования в производстве силикатного кирпича низкокальциевых и высококальциевых зол тепловых электростанций, шлаков, нефелинового шлама и др.

Целью данной работы является исследование влияния минеральных добавок различного происхождения на основные строительно-технические свойства силикатного кирпича и на показатели свойств, характеризующих долговечность этого материала.

В эксперименте использовались известь 1 сорта производства ОАО «Алтай-Известь», кварцевый песок – боровой п.Власиха, в качестве золошлаковых отходов были использованы шлаки, образующиеся при факельном сжигании Канско-Ачинских бурых углей, в качестве карбонатной породы был использован доломит Таензинского месторождения.

На основе извести и песка сухим помолом в шаровой мельнице готовилось известково-кремнезёмистое вяжущее, количество подготовленного вяжущего, песка и добавки подбирались из расчета общей активности массы – 8,0 %. Тонкомолотая добавка вводилась одновременно с песком. Полученная сырьевая смесь увлажнялась до влажности 8,0 %, перемешивалась и выдерживалась в течение 4 часов в условиях, моделирующих выдерживание сырьевой смеси в силосах при заводском изготовлении силикатного кирпича. После выдерживания масса тщательно перемешивалась, доувлажнялась и из неё формовались образцы-цилиндры ($d=h=5$ см) при давлении 20 МПа. Образцы подвергались тепловлажностной обработке в лабораторном автоклаве при давлении 0,9 МПа по режиму 2+8+2. Зависимость прочности силикатного кирпича от состава сырьевой смеси показана на рисунке 1.

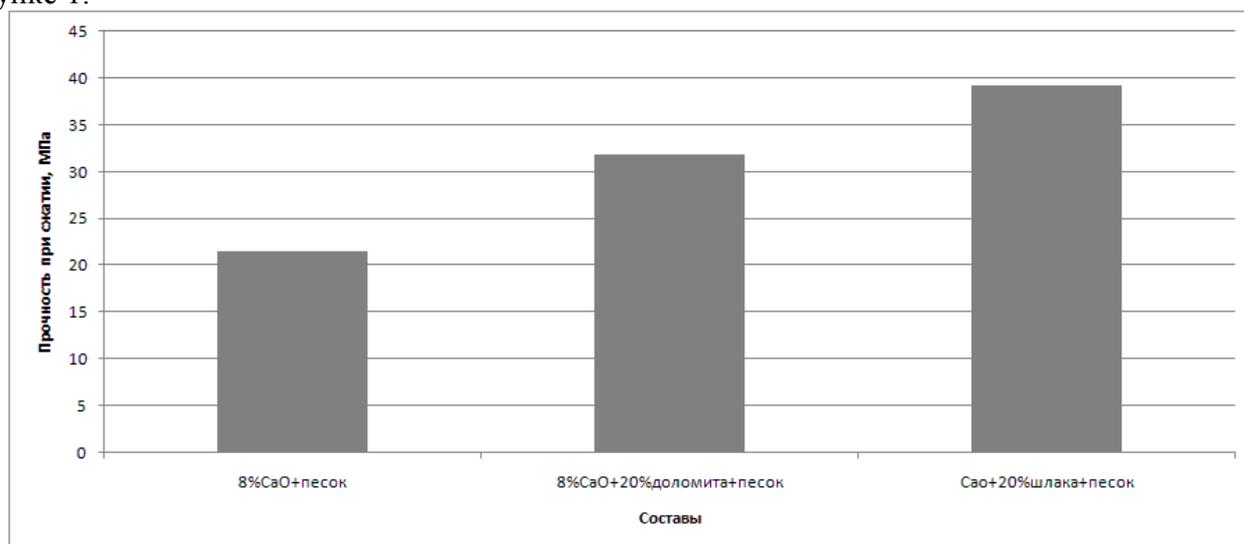


Рисунок 1 – Влияние минеральных добавок на прочностные свойства силикатного кирпича.

С учетом значительного повышения прочности силикатного кирпича при замене части песка в сырьевой смеси тонкомолотыми минеральными добавками, при получении кирпича, соответствующего марке контрольного состава, возможно на 25 – 50 % сократить расход известкового вяжущего.

Водостойкость силикатного кирпича оценивалась по величине коэффициента размягчения, значения прочности образцов показаны на рисунке 2. Введение в сырьевую смесь рассматриваемых добавок обеспечивает значительное повышение водостойкости, так коэффициент размягчения образцов контрольного состава составляет 0,59, а для образцов с добавками его значение изменялись от 0,78 до 0,87.

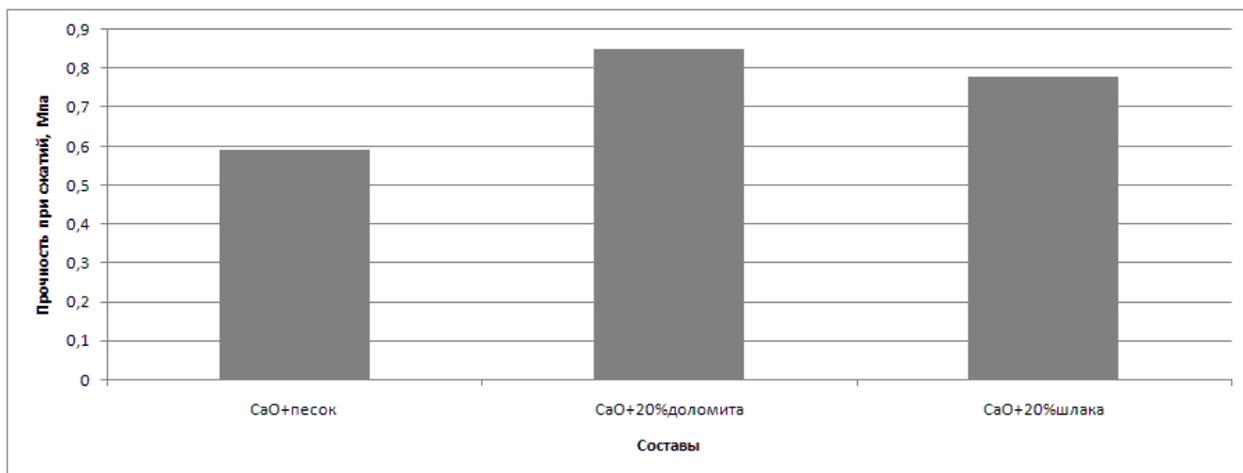


Рисунок 2 – Влияние минеральных добавок на водостойкость силикатного кирпича

На основании приведенных результатов можно заключить, что частичная замена песка в сырьевых смесях предлагаемыми минеральными добавками приводит к значительному повышению прочностных характеристик.