

## ВЛИЯНИЕ СОЛЕЙ НА ДОЛГОВЕЧНОСТЬ БЕТОНА

Студенты гр. ПСК-71 – Агашкина Е.Е., Демченко А.О.

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

На сегодняшний день весьма актуальной является задача повышения эксплуатационных свойств бетона, определяющих его долговечность. Одним из главных таких свойств является пористость, снижение которой может быть достигнуто кольматацией пор специальными составами.

Целью исследования являлось сравнение воздействия на свойства бетона с микрокремнеземом добавок солей, введенных внутрь и нанесенных в виде раствора на его поверхность.

В работе использовались: портландцемент Голухинского цементного завода М500 Д0, песок из поймы реки Обь с  $M_{кр}=1,44$ . В качестве добавок были использованы: микрокремнезем, отвечающий ТУ 5743-048-02495332-96 и соли ( $CaCl_2$ ,  $Na_2SO_4$ ,  $NaCOOH$ ,  $Al_2(SO_4)_3$ ,  $NaNO_3$ ).

Испытания проводились на образцах-балочках размером 4\*4\*16 см из цементно-песчаного раствора 1:3 с содержанием микрокремнезема 10 % от массы цемента. Цементно-песчаный раствор изготавливался с погружением стандартного конуса 5 см и 15 см. В одну партию образцов, соль вводилась внутрь, как добавка в соответствующих процентах от массы цемента. На другую партию образцов наносились растворы таких же солей в качестве обмазки. Контрольным являлся состав, изготовленный из цементно-песчаного раствора 1:3 с содержанием микрокремнезема 10 %. Образцы твердели 28 суток в нормальных условиях. После этого одна часть образцов испытывалась на морозостойкость, а другая часть на атмосферостойкость. Испытания на прочность при изгибе и сжатии проводились после каждых 10 циклов замораживания-оттаивания и водонасыщения-высушивания.

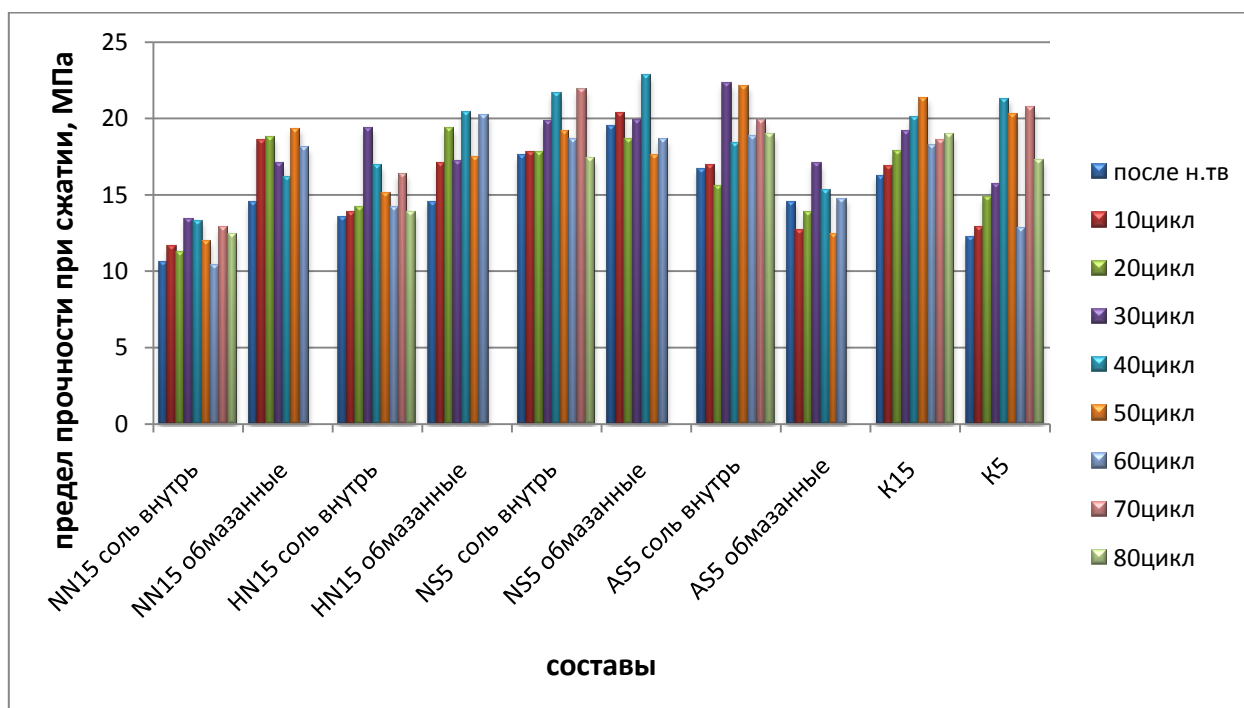


Рисунок 1 – зависимость предела прочности при сжатии от циклов попеременного замораживания-оттаивания цементно-песчаных образцов с добавками солей

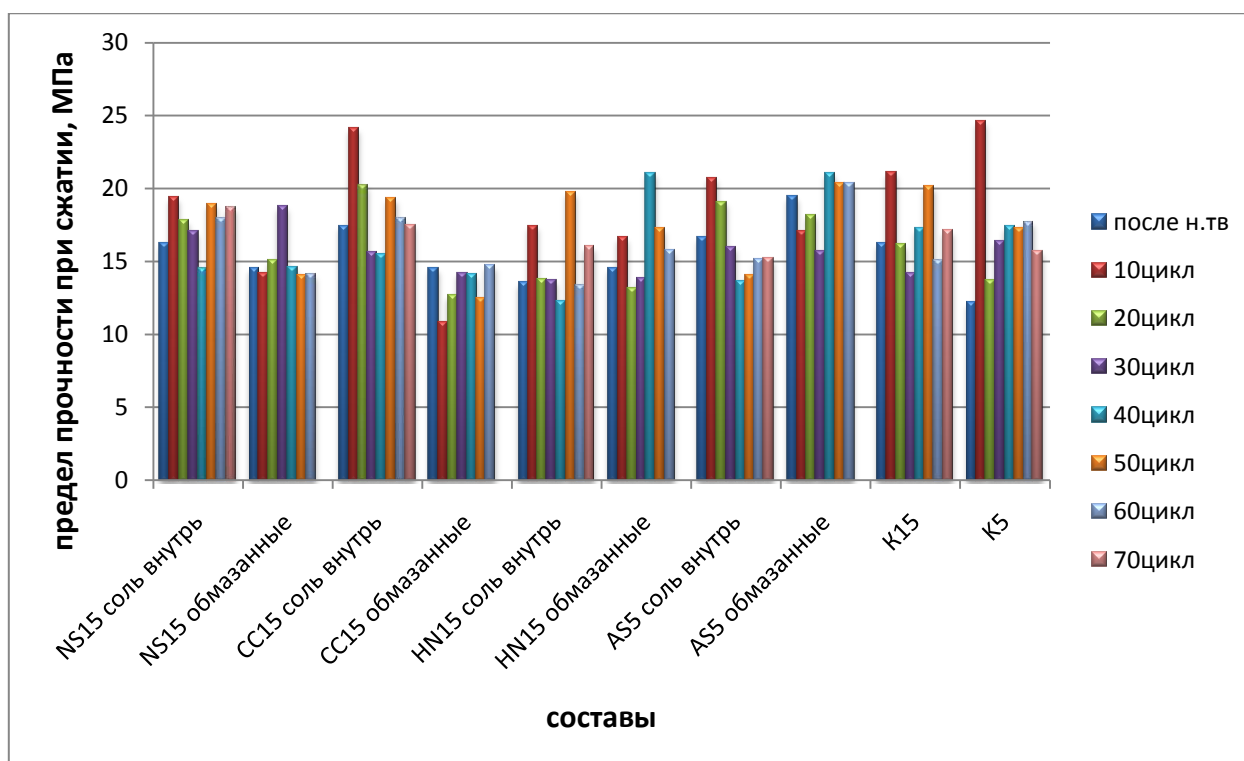


Рисунок 2 – зависимость предела прочности при сжатии от циклов попеременного водонасыщения-высушивания цементно-песчаных образцов с добавками солей

По полученным данным (рисунки 1, 2) можно сделать вывод о том, что применение не всех растворов солей одинаково эффективно. Также мы видим, что прочностные характеристики зависят от способа введения раствора соли в бетон и от подвижности смеси. Использование некоторых растворов солей в качестве проникающей гидроизоляции либо введением раствора внутрь позволяет повысить морозостойкость и атмосферостойкость, а также увеличить прочностные характеристики или сохранить их на том же уровне, в сравнении с контрольными составами. Это можно объяснить тем, что при взаимодействии солей с компонентами бетонной смеси происходит образование труднорастворимых гидросиликатов, гидроалюминатов и гидросульфалюминатов кальция, которые частично заполняют поры и тем самым повышают плотность и прочность бетона.

Применение некоторых солей крайне не эффективно, т.к происходит полное либо частичное разрушение бетона. Так, например, образцы из раствора при погружении конуса 15 см с добавлением соли  $Al_2(SO_4)_3$  внутрь начали давать снижение прочности уже после 20 цикла замораживания-оттаивания. Возможно, это вызвано образованием таумасита или большого количества эттрингита, которые нарушают структуру бетона и приводят к его разрушению. Образцы такого же состава, подвергавшиеся испытаниям на атмосферостойкость также показали снижение прочности, относительно контрольного состава, однако не такое значительное.

Добавление соли  $NaNO_3$  внутрь для образцов из растворной смеси с погружением конуса 15 см также носит отрицательный результат при испытаниях на морозостойкость и атмосферостойкость.

Положительный результат показали образцы с раствором соли  $NaCOOH$  нанесенным в качестве обмазки при погружении конуса 15 см, с раствором соли  $Na_2SO_4$  в качестве обмазки при погружении конуса 5 см при испытании на морозостойкость. Большинство образцов, испытывавшихся на морозостойкость с солями нанесенными на поверхность не показали значительных прочностных изменений в сторону увеличения или уменьшения.

## ИССЛЕДОВАНИЯ ЛИНЕЙНЫХ ДЕФОРМАЦИЙ СТЯЖЕК ДЛЯ ПОЛОВ НА ОСНОВЕ ВЫСОКОКАЛЬЦИЕВЫХ ЗОЛ

Алексеев В.В., Балабаева Т.С. – студенты гр. ПСК – 51  
Научные руководители – д.т.н., проф. Овчаренко Г.И.,  
ассистент Музалевская Н.В.

В настоящее время существует много различных материалов, позволяющих бороться с усадкой в затвердевшем цементном камне, но их широкое применение ограничено высокой стоимостью. Использование в растворах высококальциевой золы может решать несколько задач: ее введение позволяет снизить расход дорогостоящего компонента – цемента, благодаря фазовому составу зола обладает расширяющим действием, тем самым компенсирует усадку, не требует дополнительной обработки, а также способствует утилизации промышленных отходов.

Целью данного исследования являлось изучение влияния добавки высококальциевой золы с разным содержанием свободного  $\text{CaO}$  на собственные деформации и прочность затвердевшего золо-цементно-песчанного раствора (стяжки для пола).

В работе применялись следующие сырьевые материалы: ПЦ М500 Д0 Голухинского цементного завода, высококальциевая зола ТЭЦ-3 г. Барнаула с содержанием суммарного (открытого и закрытого) свободного  $\text{CaO}_{\text{св}}$  –  $0,5 \div 6,4$  %, глиноземистый цемент М400 производства фирмы «Cimsa» (Турция); строительный гипс Г5АШ производства ООО «Аракчинский гипс» г. Казань; песок речной обской с  $M_{\text{кр}}=1,2$ .

В эксперименте использовались балочки  $4 \times 4 \times 16$  см с реперами, изготовленные из золо-цементно-песчаного раствора подвижности П-3 по ГОСТ 5802-86 с погружением конуса 10 см. Соотношение цемента к золе в вяжущем составляло 2:3. Хранение образцов в течение 28 суток осуществлялось в нормальных условиях, затем в воздушно сухих. 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 нормального твердения.

Исследования показали, что введение высококальциевой золы с содержанием свободной извести более 4 % (рисунок 1) позволяет достичь линейного расширения от 1,0 до 2,0 мм/м, как в нормальных, так и в воздушно сухих условиях. Прочность на сжатие данных составов стяжек достигает 20 – 25 МПа, при прочности контрольного состава, не превышающей 15 МПа. Применение зол с содержанием свободной извести менее 4 % приводит к усадочным деформациям и требует введения дополнительных расширяющих компонентов.

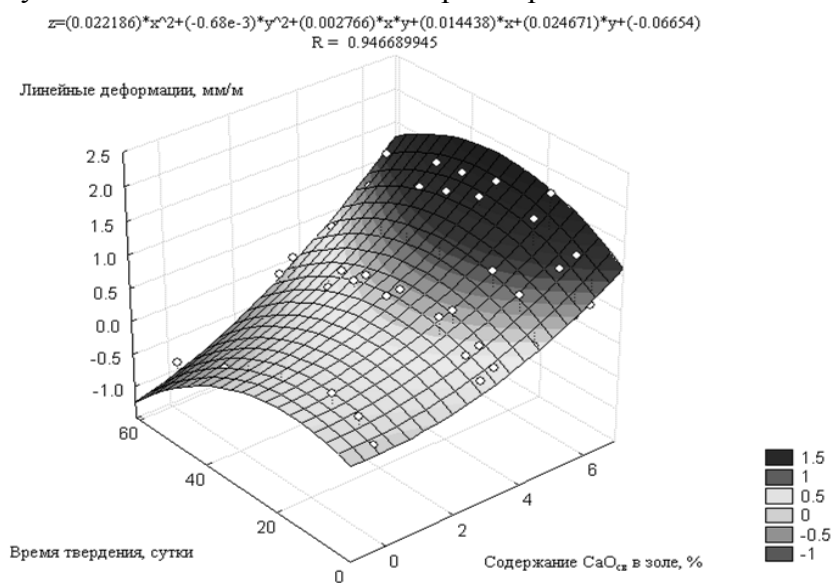


Рисунок 1 – Линейные деформации цементного камня с высококальциевой золой разного содержания  $\text{CaO}_{\text{св}}$

В качестве расширяющих добавок применяли глиноземистый цемент и строительный гипс, вводя их в количестве 5, 10, 15 и 20 % от массы цемента не увеличивая общего содержания вяжущего в растворной смеси.

Введение глиноземистого цемента или строительного гипса позволяет достичь в ранние сроки линейного расширения до 2 мм/м, однако при дальнейшем твердении наблюдаются усадочные деформации.

Комплексное введение глиноземистого цемента и гипса приводит к расширению растворного камня, как в ранние сроки твердения, так и в более поздние (рисунок 2). Расширение продолжается до 14 суток, при этом достигается наибольшее значение удлинения, которое составляет от 2,0 до 2,5 мм/м. К 28 суткам нормального твердения усадочные деформации наблюдаются лишь для составов с 5 % гипса, все остальные образцы имеют линейное расширение до 2,5 мм/м. Увеличение количества вводимых добавок приводит к снижению прочностных характеристик стяжек. Лишь составы с 5 – 15 % гипса и глиноземистого цемента дают марочную прочность (15 – 20 МПа).

$$z = (0.302e-3) * x^2 + (0.002302) * y^2 + (0.004438) * x * y + (-0.05876) * x + (0.0134) * y + (-0.21741)$$

$$R = 0.980456657$$

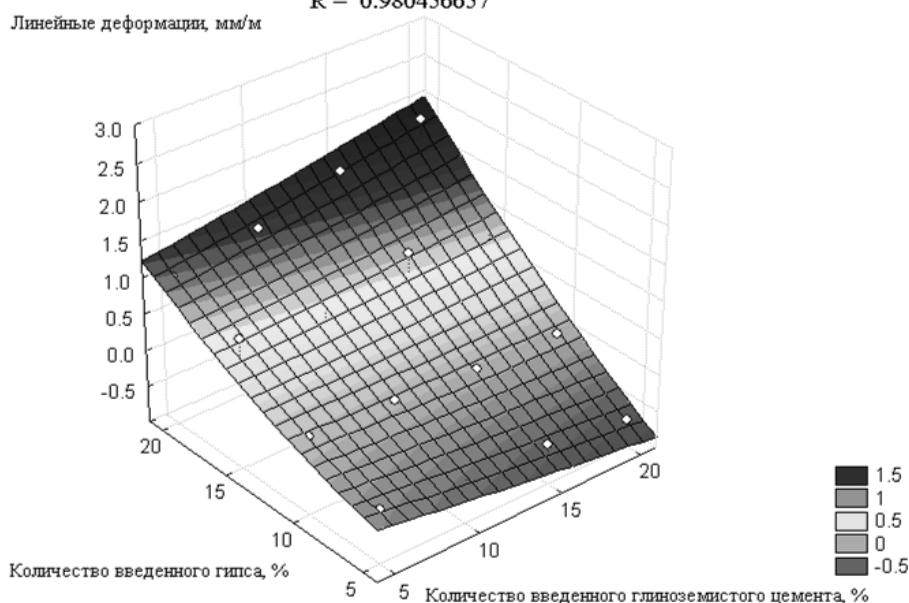


Рисунок 2 – Зависимость линейных деформаций растворного камня от содержания в нем глиноземистого цемента и гипса на 28 сутки

Таким образом, введение высококальциевой золы с содержанием суммарного  $CaO_{св}$  более 4 % компенсирует усадочные деформации цементного камня, а для зол с меньшим содержанием  $CaO_{св}$  безусадочное твердение и марочная прочность обеспечиваются введением глиноземистого цемента (5 – 15 %) и строительного гипса (10 – 15 %).

## ВЯЖУЩИЕ НИЗКОЙ ВОДОПОТРЕБНОСТИ ДЛЯ МОНОЛИТНОГО БЕТОНА

Бахарев К.Ф., Егоров А.С. студенты гр. ПСК-51

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

В XX веке технология бетона прошла длинный путь от материалов с ограниченными возможностями к многокомпонентным структурам с самыми разными свойствами, намного расширившими области применения бетонов, их номенклатуру, а также достигаемый технический и экономический эффект

Получение быстротвердеющей цементной композиции, что является необходимостью для монолитного бетона, обеспечивается формированием микрокомпозиционной структуры цементного камня, в которой матричным компонентом является камень быстротвердеющего высокоактивного вяжущего, которое должно обладать большей дисперсностью по

отношению к базовому цементу и не приводит к значительному повышению водопотребности. Поэтому наиболее предпочтительным является применение в качестве матричного компонента вяжущего низкой водопотребности. Исследования показали, что наиболее эффективно применение бетонов с добавкой ВНВ на основе дисперсной активной минеральной добавки - высококальциевой золы (ВКЗ). Известно, что помол ВКЗ уменьшает деструктивные явления при твердении зольных материалов. В зависимости от степени измельчения зол, количество дополнительного вскрываемого оксида кальция увеличивается, в следствие чего повышается активность ВКЗ.

В ходе проведения эксперимента требуется получить бетон из композиционного вяжущего низкой водопотребности и сравнить характеристики полученного бетона с характеристиками контрольного бетона марки 300. Нужные составы вяжущих получали путем совместного помола сырьевых материалов и суперпластификатора СП-1 в стандартной лабораторной шаровой мельнице типа МБЛ – 5, при 50 % энергии помола. За 100 % энергии помола, для данной мельницы, принимается шестьдесят минут при загрузке материала – 5кг.

В качестве сырья были использованы: ВКЗ с ТЭЦ-3 г.Барнаула с содержанием СаО 2,8%, 3,1 %, 4,7%; портландцемент марки М500Д0 производства г.Искитим, суперпластификатор СП-1, соответствующий ТУ 5870-002-58042865-03, микрокремнезём (МК), ускоритель твердения  $\text{Na}_2\text{SO}_4$  (NS), песок с поймы реки Обь с  $M_{кр} = 1,2$ , щебень соответствующий ГОСТ 8269.0-97, вода отвечающая требованиям ГОСТ 23732 – 79.

Для испытаний полученных вяжущих из бетона с осадкой конуса 16-18 см изготавливаются образцы-кубы размером 100x100x100 мм, по восемь образцов каждого состава. После чего образцы ставятся на хранение в нормальные условия, при температуре  $20 \pm 2$  °С и относительной влажности воздуха 100 %, для проверки свойств полученных вяжущих при последующем твердении. Испытания образцов проводятся на первые, третьи, седьмые и двадцать восьмые сутки твердения. Из контрольного ПЦ так же формируются образцы-кубы и испытываются аналогичным способом. Затем результаты испытаний бетона на полученных вяжущих сравниваются с результатами испытания контрольного бетона на портландцементе.

Рассматривая составы реологических матриц на различных масштабных уровнях, устанавливаем, что для песка и щебня в высокопрочных бетонах реологической матрицей на микроуровне является сложная смесь цемента, золы, кремнезема, суперпластификатора и воды. Таким образом, молотая добавка ВНВ выполняет как структурно-реологическую функцию, так и матрично-наполняющую.

В процессе проведения эксперимента было установлено, что поведение составов с разными пробами ВКЗ примерно одинаково, но среди трех используемых зол, оптимальной является та, содержанием СаО в которой равно 3,1%. Наилучшими с точки зрения получения высокой прочности, как в ранние сроки (1-3 сутки) твердения, так и в возрасте 28 суток являются составы:

1. ПЦ500Д0+10%ВНВ(БУЗ+6%СП-1%NS
2. ПЦ500Д0+10%ВНВ(БУЗ+5%МК+6%СП-1)+1%NS
3. ПЦ500Д0+10%ВНВ(БУЗ+15%МК+6%СП-1)+1%NS (рисунок 1)

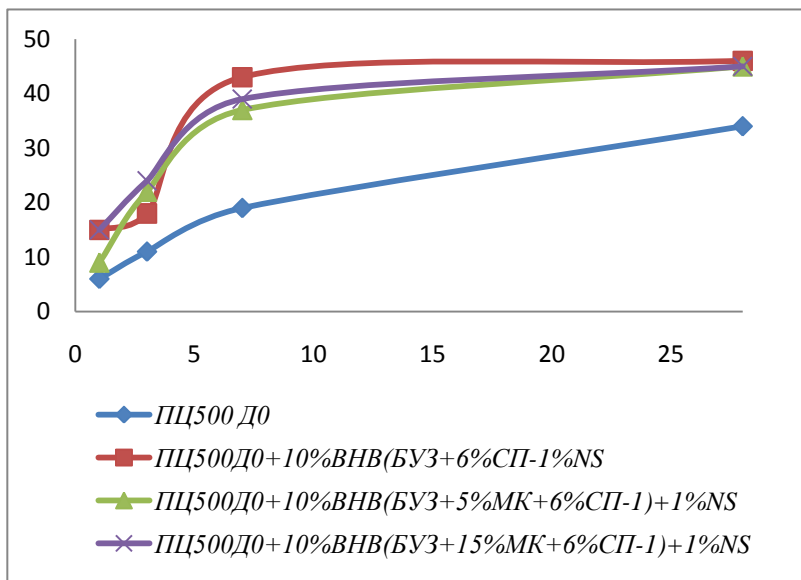
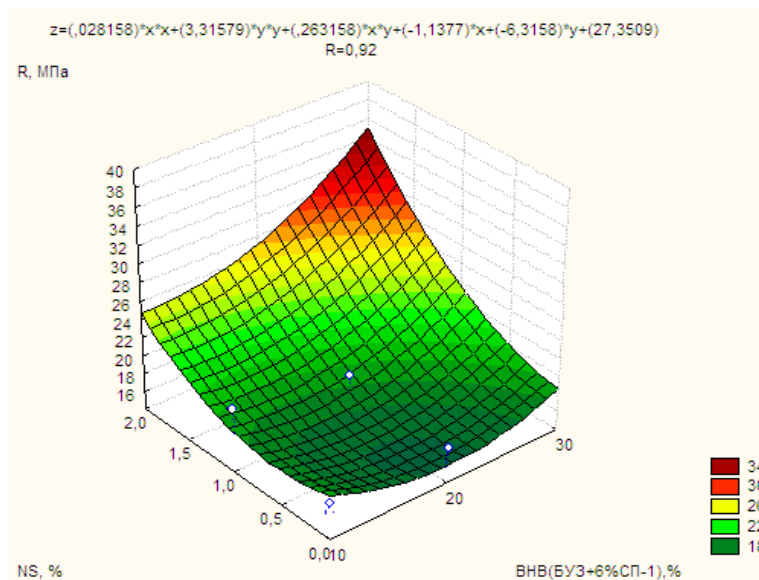


Рисунок 1 – Кинетика набора прочности кубов 10×10×10 мм от дозировки различных добавок ВНВ на основе ВКЗ, с содержанием СаО = 3,1%, при твердении в нормальных условиях.

На первые сутки данные составы показывают увеличение прочности на 50%, в сравнении с контрольным бездобавочным бетоном. Бетон с немолотой золой БУЗ и СП-1, добавленным с водой затворения в количестве 0,8%(в пересчёте) не затвердел в первые сутки при н.у., ввиду блокировки гидратации суперпластификатором. На 3 сутки увеличение составляет 100%, по сравнению как с бездобавочным бетоном (10МПа), так и с бетоном с немолотой добавкой БУЗ(12МПа). В возрасте 7 суток все составы показывают проектную марку М300.

На рисунке 2 представлены поверхности, характеризующие зависимость прочности от вариации добавки ВНВ и ускорителя твердения  $\text{Na}_2\text{SO}_4$ .



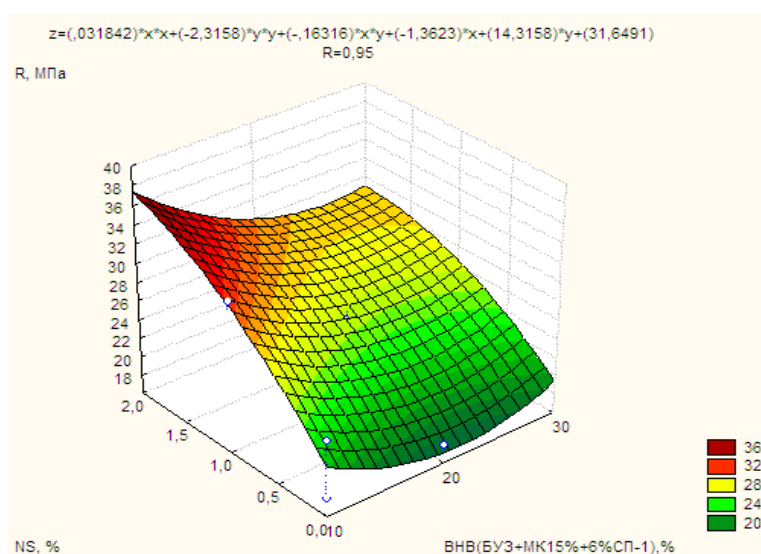
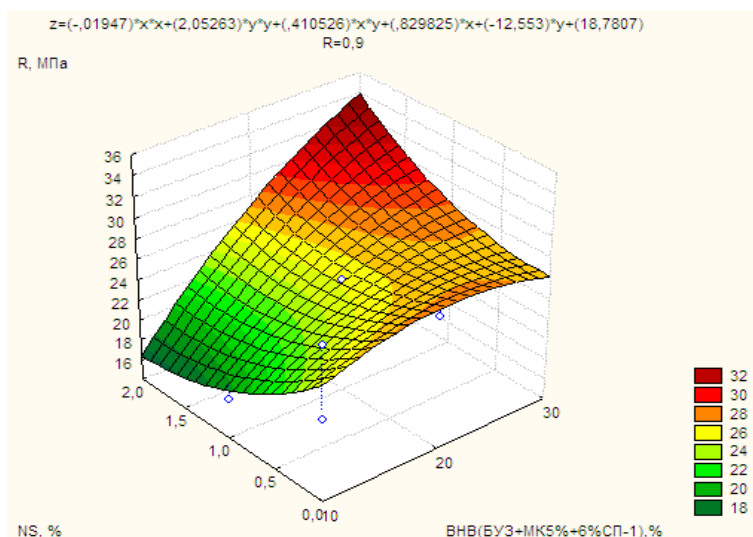


Рисунок 2 - Зависимость прочности кубов 10×10×10 мм от вариации добавки ВНВ, с содержанием СаО в БУЗ 3,1%, и Na<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> на 3 суток с прочностью контрольного бетона соответственно 11 МПа

Глядя на поверхности, можно сделать вывод, что ввод ВНВ на основе одной БУЗ без МК в комплексе с NS при больших дозировках ведет к деструкции бетона. В случае дозировки ВНВ с МК натиск золы сдерживается МК, поэтому большая дозировка ВНВ играет положительную роль на росте прочности, чего не скажешь о NS, большие дозировки (>1%) которого ведут к уменьшению прочности на более поздние сроки твердения.

Составы-лидеры, о которых говорилось выше, имеют оптимальную дозировку компонентов ВНВ и ускорителя твердения Na<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>, поэтому в них не наблюдается уменьшение прочности, а наоборот – увеличение. Тем самым повышается марка композиционного вяжущего, что может привести к экономии основного вяжущего ПЦ.

Выводом после проведенного эксперимента может служить то, что реализация более высокой прочности за счет синтеза дополнительного количества гидросиликатов в структуре бетона достигается добавками активного МК или золы. Для монолитного строительства такие цифры R<sub>сж</sub> очень важны, ведь через неделю при достижении бетона проектной марки можно полностью снимать опалубку. Частичную распалубку можно снимать при достижении бетона 25% проектной марки, а это на 3 суток. Все это ведет к снижению трудозатрат, уменьшению сроков строительства. Бетон с добавлением золы имеет свойства расширения, а значит самоупрочнения, что ведет к экономии арматуры, уменьшению финансовых затрат.

## СРАВНИТЕЛЬНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ ГИДРОИЗОЛЯЦИОННЫХ ТВЕРДЕЮЩИХ КОМПОЗИЦИЙ

Борейчук Л.Ю., Ковалев А.С. - студенты гр. ПСК-51

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

Обеспечение надежной и долговечной гидроизоляции является одним из главных вопросов, которые приходится решать при строительстве и эксплуатации подземных сооружений и гидротехнических объектов. Как правило, такие сооружения возводят из бетона или железобетона, а в качестве гидроизоляции применяют специальные мастики, пропитки или наклеиваемые рулонные материалы.

В последние годы для этих целей широко применялись дорогостоящие импортные материалы, массовое использование которых в современных условиях связано с большими финансовыми затратами.

Кроме того, следует иметь в виду, что практически все виды оклеечной и обмазочной гидроизоляции имеют два существенных недостатка:  
- в процессе строительства или эксплуатации слой гидроизоляции может быть поврежден, что приводит к нарушению герметичности, которую обычно сложно восстановить;  
- ограниченный срок службы, значительно отличающийся от срока службы железобетонных конструкций.

Поэтому для возведения подземных и гидротехнических сооружений актуально использование специального водонепроницаемого бетона, который сам способен сопротивляться проникновению воды, в том числе и под давлением.

Целью нашей работы являлось сравнение различных по виду и механизму действия гидроизоляционных добавок и их композиций на изменение водонепроницаемости цементно-песчаного раствора. Испытания образцов проводили по методу мокрого пятна.

В качестве сырьевых материалов использовались кварцевый песок (соответствующий ГОСТ 8735-88) и портландцемент марки М500 Д0. Песок высушивали до постоянной массы и пропускали через сито 0,315 для удаления примесей.

Для испытаний изготавливались цилиндры диаметром 110 мм, высотой 50 мм из цементно-песчаного раствора 1:3, марка по подвижности П\_к2 по ГОСТ 28013-98. Образцы хранились в камере нормального твердения при температуре  $20 \pm 2$  °С и с относительной влажностью не менее 95%. Полученные образцы подвергались испытанию на водонепроницаемость на 3, 7, 14, 28 суток (по два образца на каждое испытание на лабораторной установке). Последняя включала гидропоршень с ручным приводом, обеспечивающий давление до 4,5 МПа. Давление воды создавали ступенями через 0,25 МПа, контролировали поверженным манометром. Время выдержки на ступени составляло 20 секунд.

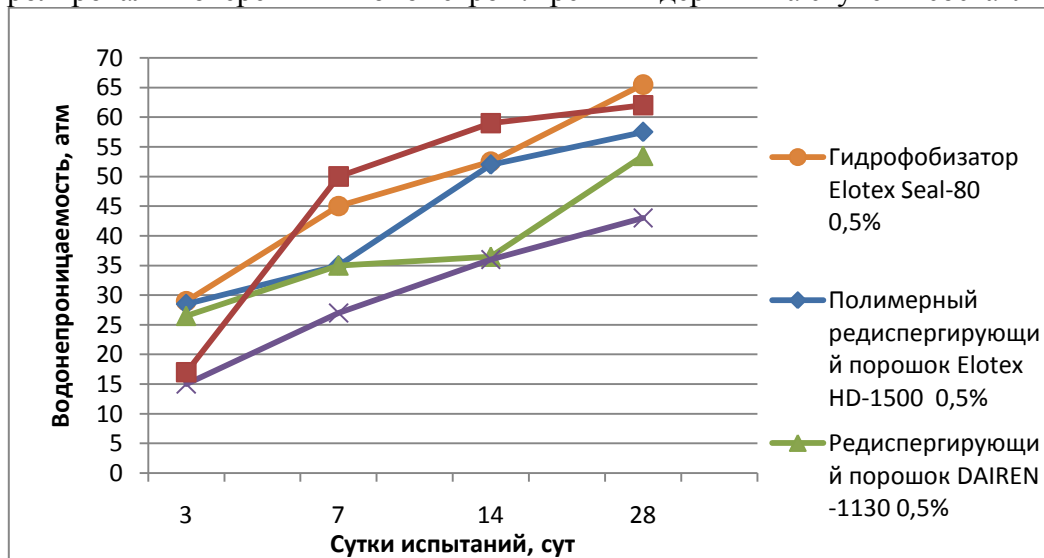


Рисунок 1 – Изменение значения показателя водонепроницаемости при введении различных добавок



На рисунке 1 представлены данные испытаний образцов на водонепроницаемость с добавлением гидрофобизатора Elatex Seal-80, полимерных редуспергирующих порошков Elatex HD-1500 и Dairen 1130 в количестве 0,5% и бентонитовой глины в количестве 1%.

Полученные данные свидетельствуют о значительном повышении водонепроницаемости и эксплуатационных характеристик модифицированных растворов в сравнении с контрольными образцами, то есть образцами, изготовленными из цементно-песчаного раствора без добавок. Бентонитовая глина повышает водонепроницаемость за счет того, что при увлажнении она разбухает и заполняет свободное пространство, уменьшая пористость.

Редуспергирующие полимерные порошки обеспечили более низкие показатели водонепроницаемости. Их механизм действия основан на том, что при перемешивании в воде полимерные порошки образуют стабильные водные дисперсии, характеристики которых сравнимы с характеристиками исходных дисперсий, и при испарении воды образуется пленка высокой деформируемости, которая и улучшает влагозащитные свойства.

Как видно из графиков, максимальной водонепроницаемостью обладает образец с добавкой гидрофобизатора Elotex Seal-80 в количестве 0,5%. Это связано с тем, что уменьшается смачивание бетона и гидрофобизируются поры и капилляры бетона. Таким образом Elotex Seal-80 показывает наилучшие результаты по сравнению с остальными образцами.

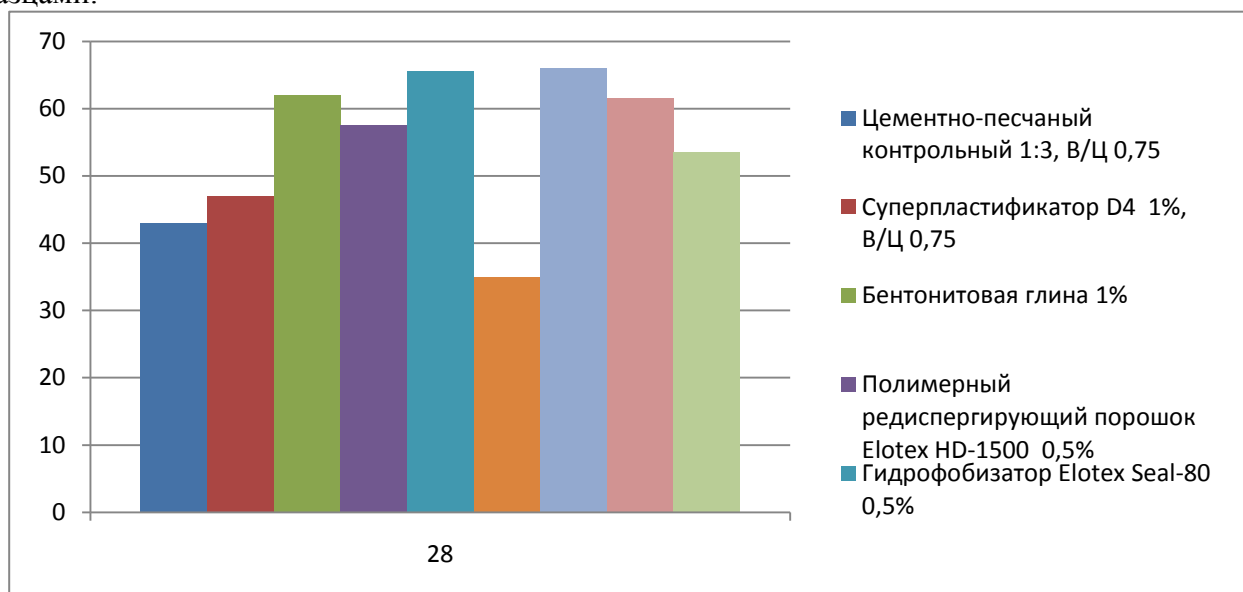


Рисунок 2 – Изменение значений водонепроницаемости образцов в возрасте 28 суток

На рисунке 2 представлены результаты сравнительного анализа гидроизоляции образцов в возрасте 28 суток с добавками различного действия.

По результатам выполненных испытаний наилучшие показатели водонепроницаемости демонстрируют образцы с добавлением гидрофобизатора Elotex Seal-80 0,5%, Бентонита 1% и состав проникающей гидроизоляции на основе  $\text{CaCl}_2$ , который обеспечивает наилучшую водонепроницаемость среди остальных добавок, рассмотренных в исследовательской работе.

Принцип действия  $\text{CaCl}_2$  основан на проникновении в пористую структуру приповерхностной зоны изолируемого материала растворов рабочих веществ и их фиксации в толще материала в виде нерастворимых химических соединений, заполняющих поры с вытеснением из них жидкости, что создает наиболее оптимальные условия для герметичности всей системы.

Полимерные порошки Dairen-1130 0,5% и Elotex HD-1500 0,5% показали высокие гидроизоляционные характеристики, что наряду с малыми расходами, делает их применение для гидроизоляции бетонов оправданным.

## ИССЛЕДОВАНИЕ ДОЛГОВЕЧНОСТИ БЕТОНОВ, ПРОПИТАННЫХ СОЛЯМИ

Быков В.Г., Изосимов М.П. студенты гр. ПСК-51  
Научные руководители – д.т.н., профессор Овчаренко Г.И.  
аспирант Бровкина Н.Г.

В настоящее время во многих отраслях строительства остро ставится проблема разрушения бетонных и железобетонных конструкций вследствие воздействия воды. По эксплуатационной надежности наиболее эффективными являются гидроизоляционные материалы проникающего действия, активные добавки которых проникают в бетон, обеспечивая его водонепроницаемость.

Целью работы является: провести сравнительные исследования долговечности бетонов пропитанных солями гидроизоляционных композиций проникающего действия. Предложить варианты технологических решений для улучшения морозостойкости и атмосферостойкости цементных бетонов.

В работе использовался портландцемент Голухинского цементного завода марки М500 Д0. В качестве заполнителя применялся обской полевошпатный песок ( $M_{кр}=1,2$ ). Были использованы следующие добавки:  $NaNO_3$ ,  $Al_2(SO_4)_3$ ,  $Na_2SO_4$ ,  $CaCl_2$ ,  $HCOONa$ .

Испытание на атмосферостойкость проводились на растворных образцах-балочках размерами 40x40x160 мм (1 часть цемента, 3 части песка, раствор одинаковой подвижности, который соответствует марке по подвижности Пк2 и Пк3). Для каждой соли изготавливалось по 62 образца. Образцы хранились в камере нормального твердения при температуре  $20\pm 2$  °С и относительной влажностью не менее 95% в течении 28 суток. Растворами солей заданной консистенции образцы насыщались в течении 15 минут. После обработки они выдерживались в течение 2 суток. Образцы дообмазывались каждые 10, 20, 50 циклы. Далее образцы подвергались попеременному высушиванию при 50 °С и замачиванию в воде, после чего испытывались на прочность каждые 10 циклов.

Испытание на морозостойкость проводились на аналогичных образцах-балочках, формуемых и обмазываемых так же как и для испытания на атмосферостойкость. Образцы подвергались испытанию на изгиб и сжатие по ГОСТ 310.4-81 «Методы определения предела прочности при изгибе и сжатии» после 10, 20, 30, 40, 50, 60, 70, 80, 90 и 100 циклов замораживания-оттаивания (по 2 образца на каждое испытание).

В результате этого эксперимента было установлено, что все химические добавки увеличивают прочность цементно-песчаного раствора по сравнению с контрольным составом. Но при этом важно заметить, что дообмазка влияет на результат.

На графике (рисунок 1) представлены результаты испытания цементно-песчаного раствора на атмосферостойкость. Камень из смеси с ПК 5 см пропитывался раствором  $Al_2(SO_4)_3$ . Прочность дана в % от контрольного не пропитанного состава. Как видно из рисунка, дополнительные обмазки практически не повлияли на прочность. Так же можно заметить практически равнозначный рост до 20 циклов, а затем снижение прочности.

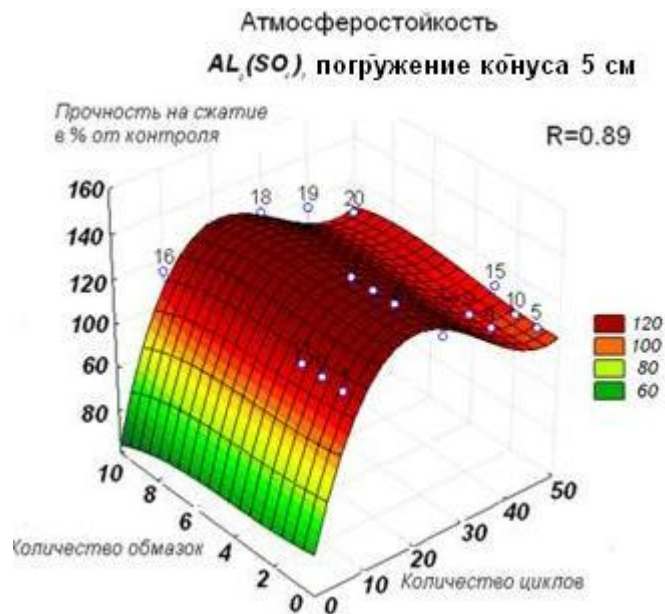


Рисунок 1 – Зависимость прочности цементно-песчаного раствора, обработанного раствором  $Al_2(SO_4)_3$ , от количества образцов и количества циклов атмосферостойкости (погружение конуса 5 см).

Для сравнения дан график (рисунок 2), на котором показана зависимость прочности цементно-песчаного раствора от количества образцов и количества циклов обработанного этой же солью, но с погружением конуса 10 см.

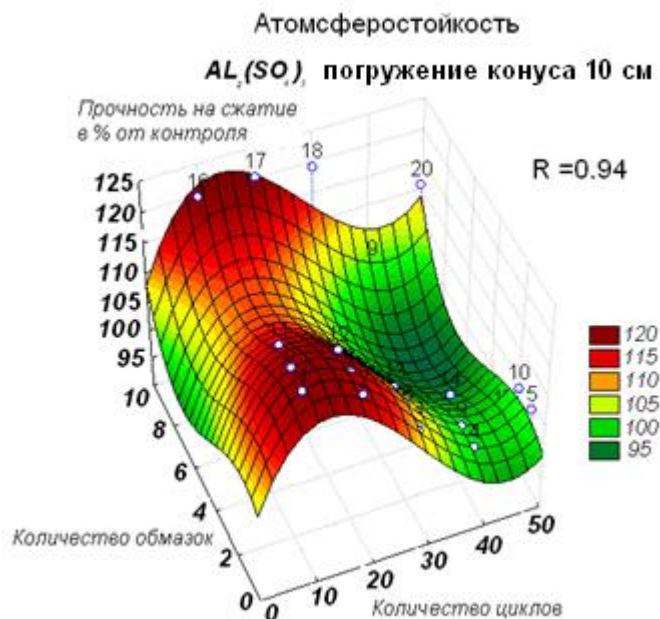


Рисунок 2 - Зависимость прочности цементно-песчаного раствора, обработанного раствором  $Al_2(SO_4)_3$ , от количества образцов и количества циклов атмосферостойкости (погружение конуса 10 см).

Из графиков видно, что прочность балочек с подвижностью Пк3 меньше чем у таких же образцов с подвижностью Пк2. Предположительно это происходит из-за того, что эти образцы более пористые и кальматирующее действие солей оказывает на них меньший эффект, чем на более плотные образцы с осадкой конуса 5 см.

# ПОЛУЧЕНИЕ ПЛИТ БЕТОННЫХ ТРОТУАРНЫХ С ПОВЫШЕННЫМИ ЭКСПЛУАТАЦИОННЫМИ ХАРАКТЕРИСТИКАМИ

Студенты гр. ПСК – 51 Бычкова Ж.С., Шарунова А.В.  
Научный руководитель - к. т. н., доцент Буйко О.В.

Бетон применяется в самых разных эксплуатационных условиях, имеет неограниченную сырьевую базу и сравнительно низкую стоимость. Одними из главных направлений применения бетона с повышенными эксплуатационными характеристиками являются дорожные и тротуарные бетонные покрытия.

Главные характеристики, определяющие долговечность бетонных покрытий, являются прочность, морозостойкость, истираемость, коррозионная стойкость.

Целью исследования является получение состава тяжелого бетона с повышенными эксплуатационными характеристиками, определение влияния на его свойства различных добавок. В работе сырьевыми материалами являлись: портландцемент (ПЦ) М500 Д0 Искитимского цементного завода, удовлетворяющий требованиям ГОСТ 10178-85, щебень и отсев щебня ГОСТ 8267-93 и химические добавки  $\text{Na}_2\text{SO}_4$ ,  $\text{Na}(\text{OH})_2$ ,  $\text{Na}_2\text{NO}_2$ ,  $\text{K}_2\text{CO}_3$ , комплекс КБ, углерод технический, микрокремнезем, бентонит, СП-1, Zika-viska, латекс.

Испытания производились на образцах  $10 \times 10 \times 10$  см. Твердение образцов осуществлялось с применением ТВО, а также в нормальных условиях. Повышение температуры до 60 градусов сопровождается интенсивным взаимодействием активного кремнезема с гидросиликатом кальция, образуя дополнительно количество гидросиликатов кальция.

Влияние комплексных добавок на водопоглощение

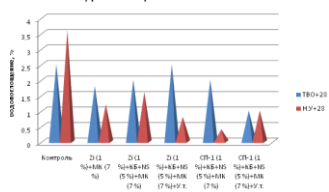


Рисунок 1 – Влияние комплексных добавок на водопоглощение тяжелого бетона через 28 суток после НУ твердения и ТВО

Влияние комплексных добавок на истираемость через 28 суток после ТВО

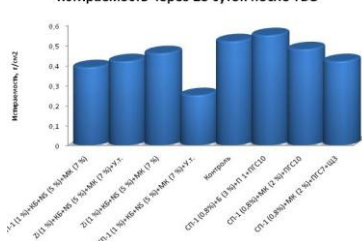


Рисунок 2 – Влияние комплексных добавок на истираемость тяжелого бетона через 28 суток после ТВО

Влияние комплексных добавок на морозостойкость через 28 суток после ТВО

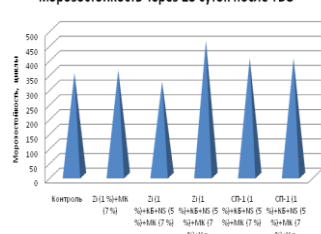


Рисунок 3 – Влияние комплексных добавок на морозостойкость тяжелого бетона через 28 суток после ТВО

Результаты эксперимента показали, что введение отдельно только пластификатора или минерального заполнителя не дает повышения прочности на сжатие. Оптимальный состав комплекса этих добавок состоит из 0,8 % СП-1 или гиперпластификатора с добавлением 7 % МК или бентонита, введение 10 % МК уменьшает прочность, т.к. часть МК работает как

мелкий заполнитель – требуется перерасход цемента. Составы, не имеющие крупного заполнителя с песком, уступают по прочности составам со щебнем и без песка. Составы с введением песка дают низкую истираемость - более 0,5 г/см<sup>2</sup>. Введение латекса отдельно, а также совместно, с минеральными наполнителями дает меньшую прочность на сжатие по сравнению с СП-1 и ГП. Для замедления схватывания бетонной смеси был введен комплекс КБ (0,007 %) совместно с пластификатором и Na<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>. Помимо замедления сроков схватывания комплекс КБ совместно с углеродом техническим дает уменьшение воды затворения на 30 – 40 % с увеличением прочности.

Полученные составы имеют прочность на 20 % выше проектной, морозостойкость от 350 до 460 циклов (рис. 3), водопоглощение по массе до 2 % (рис. 1), истираемость не более 0,5 г/см<sup>2</sup>. На водопоглощение, главным образом, повлияли условия твердения: повышенное водопоглощение наблюдается у образцов после ТВО. Получены оптимальные составы: комплексы пластификатор СП-1 и Zika-viska, с комплексом КБ и углеродом техническим. Состав Zika-viska без углерода технического показывает высокую прочность на сжатие, но низкую морозостойкость и истираемость.

По итогам работы можно сделать вывод: в качестве добавок для улучшения эксплуатационных характеристик тяжелого бетона для дорожных покрытий целесообразно использовать комплексную добавку, состоящую из пластификатора СП-1 и Zika-viska, минерального наполнителя (МК или бентонита), замедлителя комплекса КБ, ускорителя схватывания Na<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>, а также активизатора пластификатора – углерода технического.

## **КОМПОЗИЦИОННЫЙ ПОРТЛАНДЦЕМЕНТ С КОМПЕНСИРОВАННОЙ УСАДКОЙ**

**Власова Н.В., Рыбалко А.М. –студенты гр. ПСК-51**

**Научный руководитель – д. т.н., профессор Козлова В. К.**

Известно, что часть продуктов гидратации цемента находятся в коллоидном состоянии и имеют склонность к набуханию и усадке. Эти изменения объема вызывают напряжения и способствуют образованию микротрещин, и, следовательно, снижению прочности, что несколько ограничивает широкую область применения этого вяжущего. Поэтому в необходимых ситуациях предлагается использовать цементы, продукты гидратации которых способны в какой-то степени расширяться и компенсировать усадочные деформации, что позволит избежать растрескивания в местах соединения бетонных и железобетонных элементов сооружений и сохранить монолитность конструкции.

В настоящее время известно более 50 видов расширяющихся и безусадочных цементов. Наибольшее распространение получили расширяющиеся цементы на основе глинозёмистого или портландского цемента с применением расширяющих добавок. Но на практике более распространен способ получения безусадочных цементов на основе портландцемента с добавлением расширяющих добавок при помолё.

Наибольшее распространение получили добавки, которые при гидратации и твердении цемента способствуют образованию гидросульфаталюмината кальция (эттрингита) в качестве расширяющейся гидратной фазы. Однако, эттрингит при изменении условий окружающей среды способен к различным превращениям. Поэтому представляет интерес получения композиционных цементов с компенсированной усадкой при применении других добавок.

В этой области имеется опыт использования добавки оксида магния. Ученые Белгородского института рекомендует такую добавку в количестве 1 %, способную компенсировать усадку, при этом допускается снижение прочности до 15 %.

В проводимых исследованиях применялись следующие сырьевые материалы: портландцемент марки 500 Д0, Голухинского цементного завода, бруситовая руда Кульдурского месторождения.

А в данном исследовании в качестве добавок к портландцементу предлагается использовать оксид магния, получаемый при низкотемпературном обжиге, и комплексную добавку, состоящую из глиноземистого цемента и гипса.

В ходе эксперимента сравнивались линейные деформации образцов изготовленных из цементного теста, и твердевших в нормальных условиях. Линейное расширение образцов определяется с помощью прибора для определения линейного расширения, оснащённого индикатором часового типа.

Анализ полученных данных показывает, что добавление оксида магния позволяют снизить усадку, по сравнению с контрольным составом. Применение в качестве затворителя сульфат алюминия также позволяет снизить усадку для составов без добавок и с 5 % оксида магния (рис 1). Влияние сульфата алюминия на предел прочности композиционных составов на основе оксида магния показано на рисунке 2.

Применение глиноземистого цемента в качестве добавки также позволяет снизить усадку по сравнению с контрольным составом (рис 3). Однако, наблюдается снижение прочности.

Таким образом, оптимальным является введение добавки 10% оксида магния низкотемпературного обжига к портландцементу и затворение раствором сульфата алюминия.

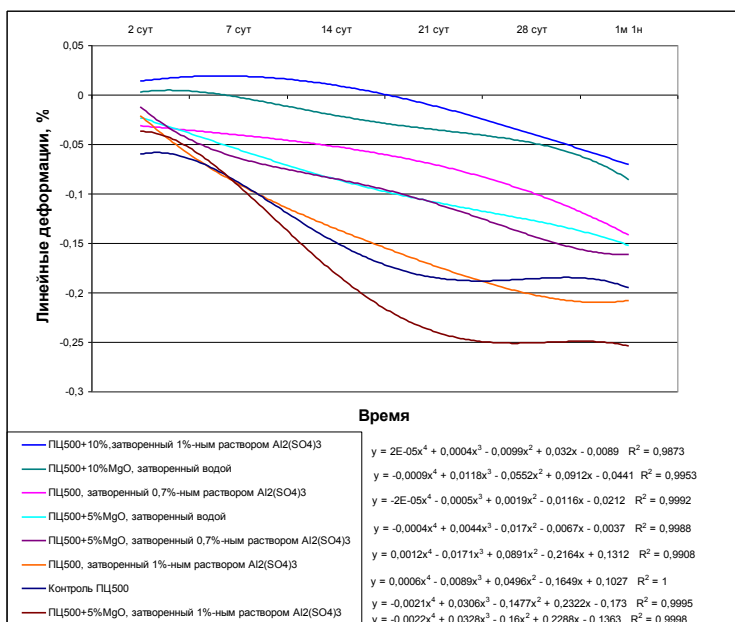


Рисунок 1 – Влияние сульфата алюминия на усадку композиционных составов на основе оксида магния

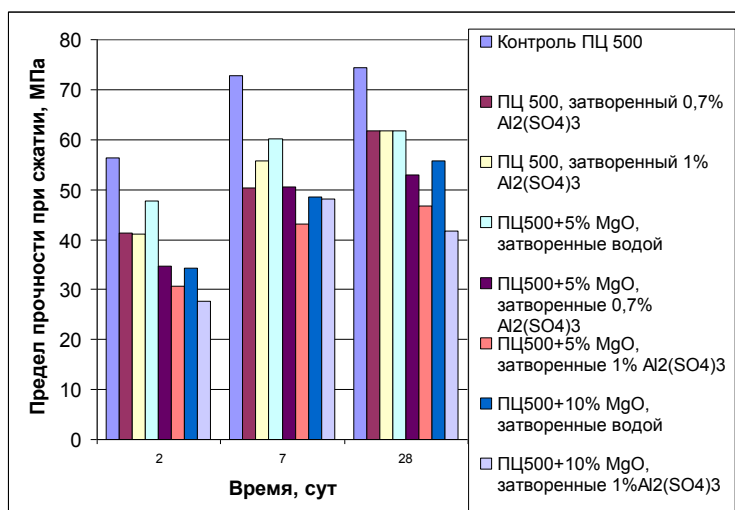


Рисунок 2 – Влияние сульфата алюминия на предел прочности композиционных составов на основе оксида магния

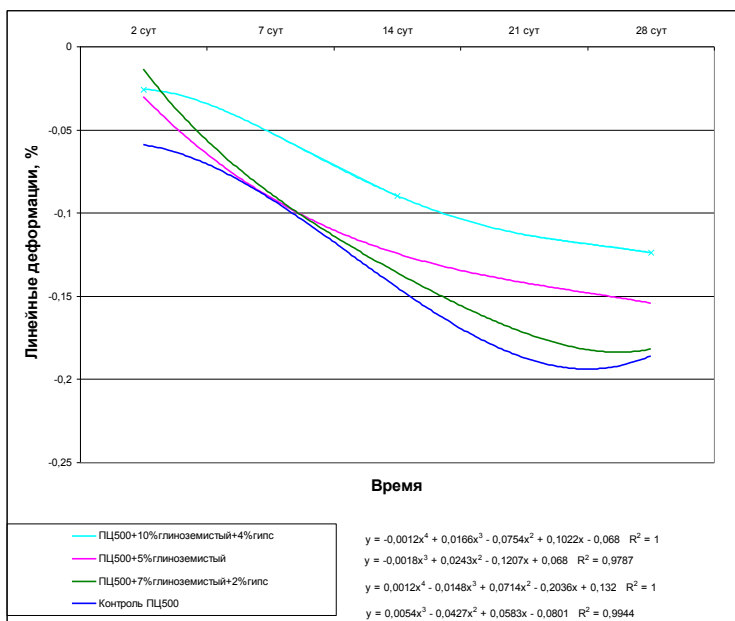


Рисунок 3 – Линейные деформации композиционных составов на основе глиноземистого цемента

## ВЛИЯНИЕ ДОБАВОК-МИНЕРАЛИЗАТОРОВ НА СТОЙКОСТЬ ПЕНЫ

Гаин О.А., Свиридова Л.С. – студенты гр. ПСК – 71  
 Научные руководители – к. т. н. Щукина Ю. В.  
 аспирант Баев М. Н.

Для обеспечения структурно-механического фактора устойчивости пенобетонной смеси целесообразно вводить тонкодисперсные добавки-минерализаторы, которые позволяют «удержать» структуру уже твердеющего пенобетона и предотвращают его усадку. Особенно это актуально в легких пенобетонах плотностью 200-300 кг/м<sup>3</sup>, т.к. цементные частички, при большом количестве воды затворения осаживаются в процессе твердения, что приводит к расслоению массива по высоте.

Целью данной исследовательской работы было изучение влияния добавок-минерализаторов на характеристики пены и пенобетонного массива.

В работе были использованы следующие сырьевые материалы: портландцемент М500Д0 искитимского цементного завода (ПЦ); синтетические пенообразователи Пентапав-430 (Россия, г. Новосибирск) и ПБ-2000 (Россия); белковые пенообразователи Reniment SB 31 L (Германия) и Foamcem Laston (Италия), добавки-минерализаторы: бентонит, химически осажденный мел, микрокремнезем (МК), каолин.

На первом этапе работы был произведен подбор концентрации и температуры раствора пенообразователя в зависимости от стойкости и кратности пены. В ходе эксперимента было выявлено, что на пенообразователи синтетической природы (Пентапав-430, ПБ-2000) изменение температуры не оказывает существенного влияния. Для пенообразователей белковой природы изменение температуры оказывает существенное влияние, причем у Reniment SB 31 L при понижении температуры стойкость возрастает, кратность падает. У Foamcem Laston и стойкость и кратность с повышением температуры возрастает. При этом получены следующие оптимальные концентрации: для Пентапав-430 и Foamcem Laston – 3%, для ПБ-2000 – 4% и для Reniment SB 31 L – 4%.

На следующем этапе производилось оценка влияния добавок-минерализаторов на качественные характеристики пены (рисунок – 1).

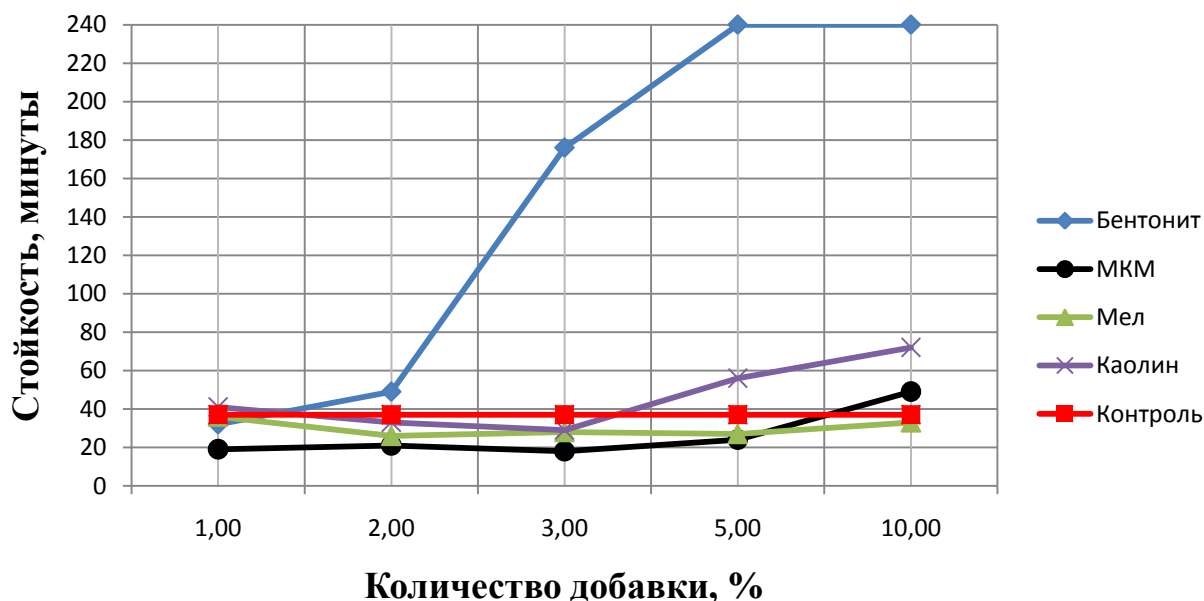


Рисунок 1 – Зависимость стойкости пены от вида и количества добавки-минерализатора для пенообразователя Foamcem Laston с концентрацией 3 % при температуре раствора 20 °С

Было установлено, что введение бентонита приводит к значительному увеличению стойкости пены не зависимо от природы пенообразователей и температуры раствора. Это можно объяснить тем, что бентонит представляет собой природный глинистый минерал, который при увлажнении увеличивается в объеме до 16 раз. При ограничении пространства для свободного разбухания в присутствии воды образуется плотный гель, который препятствует истечению воды из пены. Так при увеличении концентрации бентонита стабилизация пены происходит за счет перехода ее в разряд «жестких». Но при этом получение пенобетона с данной добавкой-минерализатором невозможно из-за сложности получения однородной пенобетонной композиции.

Введение каолина в раствор синтетических пенообразователей не позволяет установить закономерность изменения свойств пены от его дозировки, что требует проведения дальнейших исследований. А для белковых пенообразователей при 20 °С оказывает положительное влияние в количестве 5-10 %, причем с увеличением дозировки стойкость пены возрастает.

Использование МК способствует увеличению стойкости пены, но при этом наблюдается снижение кратности в 2 раза.

Мел оказывает негативное влияние на стойкость и кратность пены.

Таким образом, в результате проведенного эксперимента установлено, что на качественные характеристики пен наилучший результат оказывает введение добавок-минерализаторов глинистого происхождения, таких как бентонит и каолин.

## ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОЧНОСТИ ИЗВЕСТКОВО-ЗОЛЬНОГО ВЯЖУЩЕГО НА ОСНОВЕ КИСЛЫХ КАМЕННОУГОЛЬНЫХ ЗОЛ

Губина Е.А., Каширина О.П. – студенты гр. ПСК-71  
 Научный руководитель - д. т. н., проф. Овчаренко Г. И.

Актуальность темы

- Перспективы развития использования зол, как добавок в бетоны
- Дешевизна сырья
- Широкое использование зол в строительстве
- Доступность сырья

Цель: Исследовать свойства кислых зол как активной минеральной добавки.



Задачи:

- Выяснить действие ввода добавок в известково-зольное вяжущее и найти оптимальный состав;
- Найти наилучшие условия твердения для образцов известково-зольного вяжущего;
- По результатам исследований определить самую оптимальную совокупность состава и условий твердения известково-зольного вяжущего.

В эксперименте использовались КУЗ Новосибирской ТЭЦ-5, строительная известь завода ячеистого бетона г. Барнаула и добавки - двуводный гипс и сульфат натрия.

Для проведения эксперимента формовались образцы-кубики размером 2\*2\*2 см из Теста нормальной плотности известково-зольного вяжущего (ИЗВ).

ИЗВ изготавливался путем сухого перемешивания извести и КУЗ (предварительно молотой или немолотой) в соотношениях 10:90, 20:80 и 30:70 соответственно и последующим затворением водой. Помол КУЗ осуществлялся в лабораторной шаровой мельнице МБЛ-5 с энергией помола 50 %.

Также в ИЗВ использовались добавки -  $\text{Na}_2\text{SO}_4$  1% и 2% и  $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$  – 5%.

После формовки образцы подвергались тепло-влажностной обработке, обработке в автоклаве либо хранились в нормальных условиях. Автоклавная обработка проходит по режиму: набор температуры 175 – 180 °С и давления 0,8-1,0 МПа в течении трех часов, выдержка - шесть часов, спуск давления - три часа. ТВО осуществляется сразу после формования образцов по режиму: набор температуры до 60 °С - три часа, выдержка - шесть часов и трехчасовое снижение температуры до комнатной. Прочность на сжатие готовых образцов определяли на гидравлическом прессе.

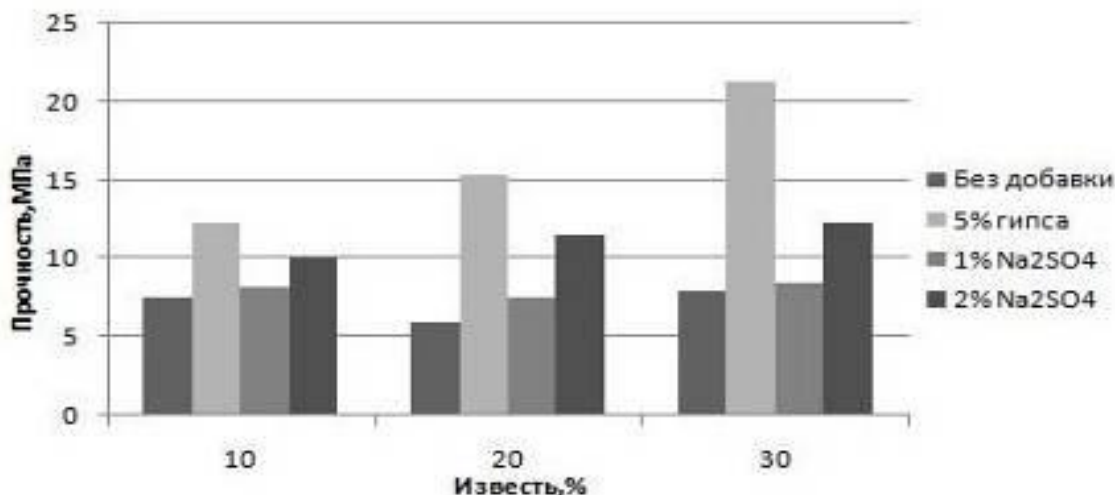


Рисунок 1 - Зависимость прочности от количества извести

По результатам испытания были составлены несколько зависимостей. Однако, сразу хочется отметить, что автоклавная обработка дает прочность до десяти раз превышающую прочность при ТВО, которая в свою очередь показывает очень низкие показатели прочности (образцы легко разламываются в руках). На рисунке 1 представлены результаты испытания образцов после автоклавной обработке с предварительно молотой золой.

Возможно, плохая прочность после обработки в ТВО обусловлена недостаточными для образования гидросиликатов и гидроалюмосиликатов кальция температуры и давления, которые достаточны в автоклаве, что можно увидеть из результатов испытания образцов прошедших запаривание.

Делая вывод о влиянии добавок, можно сказать, что самой оптимальной является добавка 5% двуводного гипса, т. к. она придает вяжущему большую прочность во всех условиях и при любом содержании извести. А также небольшое увеличение прочности дает добавка соли.

Помол в свою очередь позволяет повысить прочность до двух раз без увеличения водопотребности вяжущего. Это можно увидеть на примере сравнения прочностей составов с

добавкой гипса при автоклавной обработке (Рисунок 2). Повышение прочности объясняется размером и формой частиц (получается больше удельная поверхность).

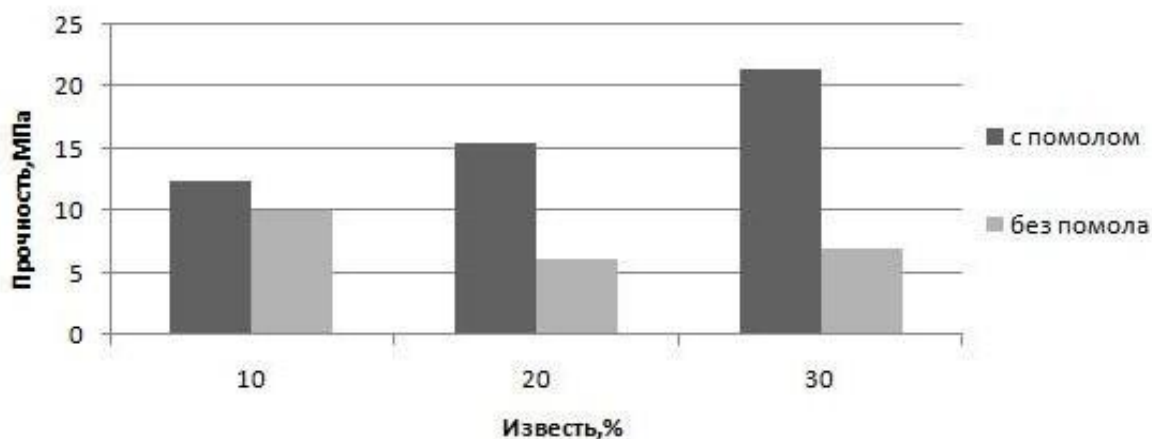


Рисунок 2 - Влияние помола на прочность состава с 5% гипса

Итак, после проведения нашего эксперимента мы можем выделить следующий состав: ИЗВ с помолом КУЗ, добавлением 5%  $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ , при автоклавной обработке. Образцы этого состава имеют прочность на сжатие до 21 МПа, что соответствует марке 200. А значит это вяжущее при своей доступности и дешевизне может использоваться в современном строительстве и значительно экономить средства и время.

## ИССЛЕДОВАНИЕ КИСЛЫХ ЗОЛ КАК АМД

Деген Е.В., Михайленко А.А. – студенты гр. ПСК-71

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

На сегодняшний день актуальной проблемой является использование зол и золошлаковых отходов (ЗШО) ТЭЦ при производстве строительных материалов. Это позволит снизить себестоимость производства строительной продукции, а также уменьшить эксплуатационные затраты на ТЭЦ, снизить экологическую нагрузку в территориях.

Целью исследования является определение строительно-технологических свойств известково-зольного вяжущего на основе кислой золы.

В работе использовались следующие сырьевые материалы: кислая зола с ТЭЦ-5 г. Новосибирска, воздушная комовая негашеная известь ЗАО «Локтевский известковый завод» с содержанием активных оксидов кальция и магния 60 %, песок из поймы реки Обь.

Для проведения эксперимента осуществлялся помол кислой золы с известью в процентном соотношении 90-10 и 80-20 соответственно в шаровой мельнице типа МБЛ-5 с энергиями помола 0 %, 100 % и 150 % от энергии помола клинкера на цемент.

Полученная смесь силосовалась, после этого в качестве укрупняющей добавки добавлялся песок в количестве 20 % от общей массы. Формовались образцы цилиндрической формы диаметром 5 см, высотой 5 см без добавок и с добавками: 1 %  $\text{Na}_2\text{SO}_4$ , 2 %  $\text{Na}_2\text{SO}_4$  и 5 %  $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ . Далее осуществлялось прессование при удельном давлении 200 кгс/см<sup>2</sup>. После прессования образцы подвергались тепловлажностной обработке (ТВО) или обработке в автоклаве. Автоклавная обработка осуществлялась по режиму: набор температуры 175-180°C и давления 0,8-1,0 МПа в течение 3 часов, выдержка – 6 часов, спуск давления – 3 часа. ТВО осуществлялась после суточного твердения образцов в нормальных условиях по режиму: набор температуры до 95°C – 3 часа, выдержка – 6 часов и трехчасовое снижение температуры до комнатной (25°C). На готовых образцах определялась прочность при сжатии. Для контроля использовались образцы из известково-кварцевого вяжущего.

В результате эксперимента было выявлено, что прочность образцов зависит не только от содержания кислой золы и количества извести в известково-зольном вяжущем (ИЗВ), но и от условий твердения образцов, энергии помола, а также от добавок, вводимых в ИЗВ.

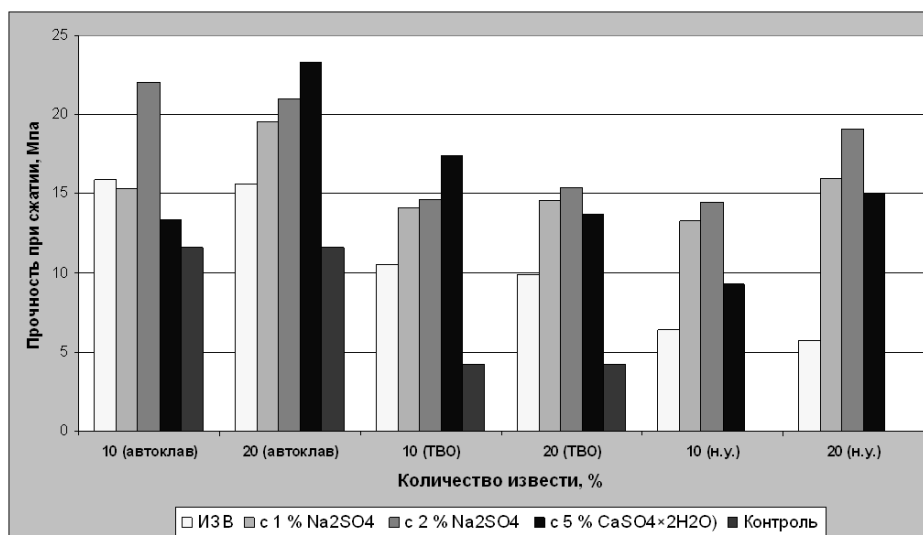


Рисунок 1 – Зависимость прочности образцов от количества извести (10 и 20 %), и условий твердения при  $E = 100\%$

При рассмотрении значений прочности образцов ИЗВ можно сделать вывод, что наиболее высокие результаты показывают образцы с 10 % извести (рисунок 1). Это наблюдается как при автоклавной обработке, ТВО, так и при твердении в нормальных условиях. Возможно, это объясняется тем, что количество кремнезема, содержащегося в кислой золе недостаточно для того, чтобы связать всю известь и образовать гидросиликаты кальция при повышенном её содержании в 20 %.

Введение в состав ИЗВ добавки  $\text{Na}_2\text{SO}_4$  в количестве 1 % или 2 % приводит к значительному приросту прочности в сравнении с бездобавочным вяжущим (кроме ИЗВ с 10% извести, твердевшего в автоклаве), вне зависимости от условий твердения.

Добавка в состав ИЗВ 5 %  $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$  ведет к повышению прочности образцов относительно контрольного состава и ИЗВ без добавок.

При автоклавной обработке получены наибольшие прочностные характеристики составов, при этом для состава с содержанием 10 % извести целесообразно введение 2 %  $\text{Na}_2\text{SO}_4$ , а с содержанием извести 20 % - введение 5 %  $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ .

Тепловлажностная обработка приводит к меньшему увеличению прочности в сравнении с автоклавной. Увеличение содержания извести с 10 % до 20 % не влияет на рост прочности.

Твердение образцов в нормальных условиях показывает довольно хороший результат. Особенно высокий результат дают составы с содержанием извести 20 % и добавками  $\text{Na}_2\text{SO}_4$  1 % и 2 % и  $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$  5 %.

Учитывая пониженную среднюю плотность кирпича - около  $1700 \text{ кг/м}^3$ , данный материал будет еще и более теплоэффективным, по сравнению с обычным кирпичом.

## ИССЛЕДОВАНИЕ ДОЛГОВЕЧНОСТИ БЕТОНОВ, ПРОПИТАННЫХ СОЛЯМИ

Студенты гр. ПСК-71 - Дисенов Д.А., Свидинский В.А.

Научные руководители: д.т.н., профессор Овчаренко Г.И.,  
аспирант Бровкина Н.Г.

В настоящее время во многих отраслях строительства остро ставится проблема разрушения бетонных и железобетонных конструкций вследствие воздействия воды. По эксплуатационной надежности наиболее эффективными являются гидроизоляционные материалы проникающего действия, активные добавки которых проникают в бетон, обеспечивая его водонепроницаемость.

Целью работы является: провести сравнительные исследования долговечности бетонов, пропитанных солями гидроизоляционных композиций проникающего действия. Предложить варианты технологических решений для улучшения морозостойкости и атмосферостойкости цементных бетонов.

В работе использовались: портландцемент Голухинского цементного завода марки М500 Д0, обской полевошпатовый песок ( $M_{кр}=1,2$ ). Были использованы следующие добавки:  $NaNO_3$ ,  $Al_2(SO_4)_3$ ,  $Na_2SO_4$ ,  $CaCl_2$ ,  $HCOONa$ .

Испытания проводились на растворных образцах-балочках размерами 40x40x160 мм (1 часть цемента, 3 части песка, раствор одинаковой подвижности, которой соответствует погружение эталонного конуса 5 и 10 см). Для каждой соли изготавливалось по 62 образца. Образцы хранились в камере нормального твердения при температуре  $20 \pm 2$  °С и относительной влажностью не менее 95%. На 28 суток образцы насыщались растворами солей в течении 15 минут и после обработки выдерживались в течение 2 суток. Часть образцов подвергалась дополнительной обмазке: четверть образцов обмазывалась каждые 10 циклов, четверть каждые 30 циклов, четверть каждые 50 циклов.

При испытании на атмосферостойкость образцы подвергаются попеременному высушиванию при  $t=50$  °С и замачиванию в воде, после чего испытываются на прочность каждые 10 циклов. При испытании на морозостойкость образцы подвергались попеременному замораживанию при  $t=-18$  °С и последующему оттаиванию в воде.

Каждые 10 циклов образцы подвергались испытанию на изгиб и сжатие по ГОСТ 310.4-81 «Методы определения предела прочности при изгибе и сжатии» (по 2 образца на каждое испытание).

В результате испытания на морозостойкость камня из смеси с погружением конуса 5 см, пропитанного раствором нитрата натрия ( $NaNO_3$ ), было установлено, что прочность возрастает в течении тридцати циклов до 140 % от контрольного состава (рисунок 1). В дальнейшем наблюдается постепенный спад прочности. При этом количество обмазок существенно не влияет на прочность образцов.

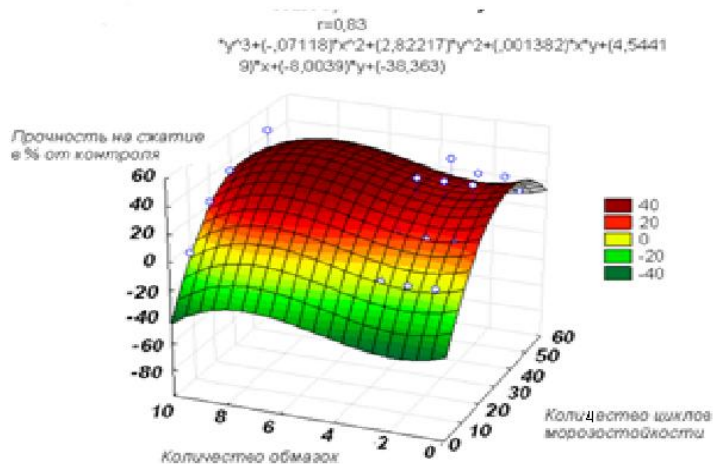


Рисунок 1 – Морозостойкость цементно-песчаного раствора, обработанного раствором  $NaNO_3$ , от количества обмазок и количества циклов (осадкой конуса 5 см).

В ходе испытаний на атмосферостойкость камня из смеси с погружением конуса 10 см, пропитанного раствором сульфата натрия, были получены следующие результаты: в течении двадцати циклов прочность возрастает до 160 % от контрольного состава. Затем наблюдается спад прочности до 140% (рисунок 2). При этом большее количество обмазок существенно улучшает прочностные характеристики образцов.

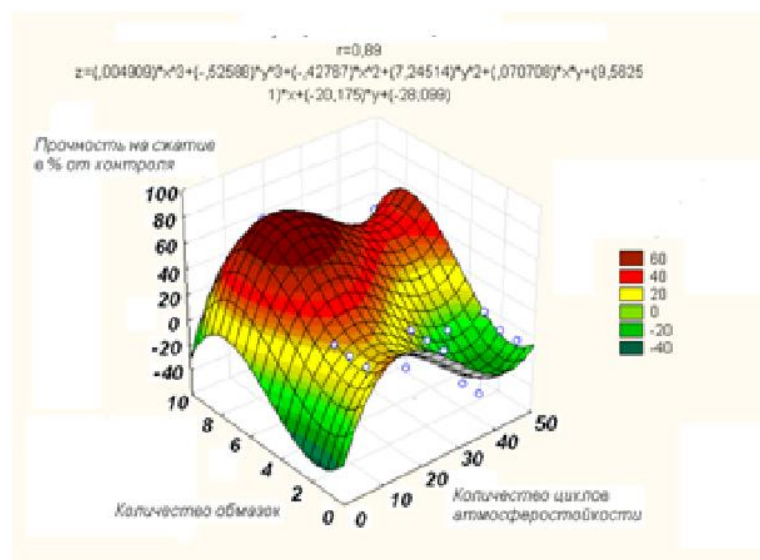


Рисунок 2 - атмосферостойкость цементно-песчаного раствора, обработанного раствором  $\text{Na}_2\text{SO}_4$ , от количества обмазок и количества циклов (осадкой конуса 10 см)

После проведения испытаний было установлено, что соли  $\text{CaCl}_2$  и  $\text{Na}_2\text{SO}_4$  обеспечивают лучшие показатели долговечности. Однако использование этих солей не должно превышать допустимой нормы, так как их длительное воздействие на бетонные и железобетонные изделия приводит к коррозионному разрушению этих изделий.

## СИЛИКАТНЫЙ КИРПИЧ ИЗ ВЫСОКОКАЛЬЦИЕВЫХ ЗОЛ

Жуков С.М., Шаталов А.С. – студенты гр. ПСК – 51

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

В настоящее время в России утилизируется 10% отходов производства ТЭЦ, в то время как в Германии - 70%, в Финляндии – 90%. Таким образом, возникает необходимость полной утилизации золошлаковых отходов, что благоприятно отразится на экологическом состоянии края и позволит производить недорогой стеновой материал.

Наиболее эффективным отходом для получения строительных материалов является высоко кальциевые золы (ВКЗ). На их основе можно получать безизвестковые и бесцементные материалы. Главный недостаток ВКЗ – наличие свободной пережженной извести, которая может приводить к разрушению материалов.

Целью данной работы является разработка технологии получения силикатного кирпича на основе ВКЗ – отходов производства ТЭЦ-3 г. Барнаула.

Для достижения данной цели были поставлены следующие задачи:

- Разработать оптимальный состав силикатной массы;
- Разработать технологию предварительного гашения сводной извести золы;
- Исследовать влияние вида и количества заполнителя на свойства продукта;
- Исследовать влияние основности золы на прочность кирпича;
- Провести анализ полученных результатов.

В исследованиях использовались следующие сырьевые материалы:

- Зола высококальциевая ТЭЦ-3 г. Барнаула с содержанием свободного, открытого  $\text{CaO}$  – 2; 3; 6; 4,5; 6,3%.
- Песок кварцевый;
- Песок полевошпатный;
- Известь (97% - активность);
- Вода питьевая.

Методы исследования.

Исходные сырьевые материалы испытывались по стандартным методикам. ВКЗ предварительно гасилась в автоклаве при режиме 8 часов при 8 атм. Затем смешивалась с песком заполнителя в количестве 25%, увлажнялась. Образцы цилиндры диаметром 50 мм и высотой 50 мм формовались при удельном давлении 15 МПа, запаривались при режиме 8 – 8 и испытывались на прочность.

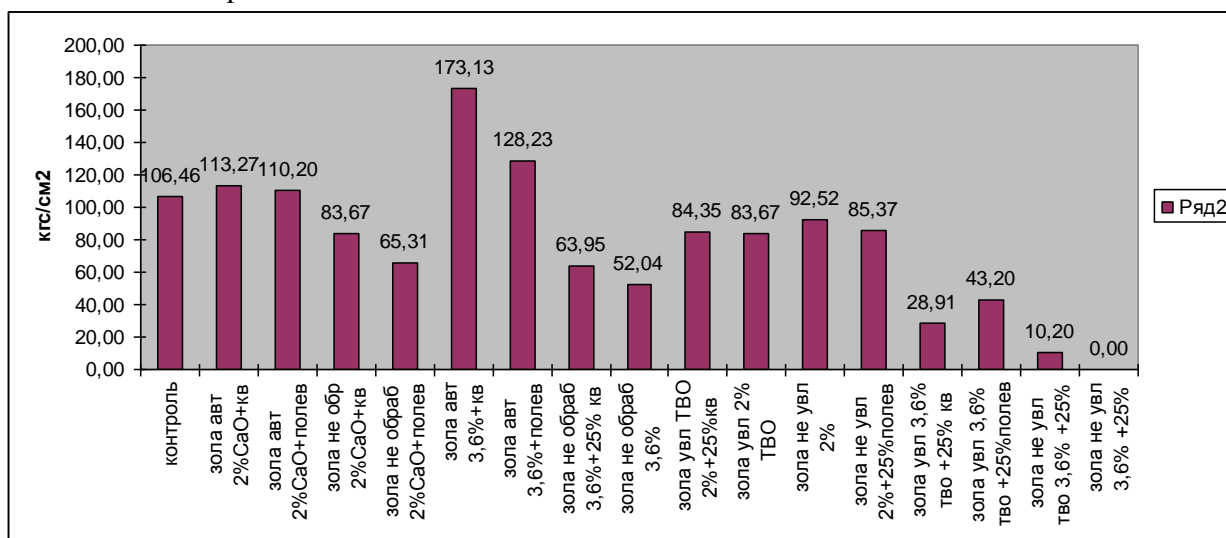


Рисунок 1 – Прочность различных составов вяжущих

Из анализа данных (рисунок 1) можно сделать вывод, что предварительная обработка золы в автоклаве при 8 атм. ведет к повышению прочности образцов на 40% и чем больше активность золы, тем эффективнее обработка. Пережег CaO, MgO содержащейся в золе гасится и на образцах не образуется волосяные трещины, которые также снижают прочность образцов. Обработка золы в камере ТВО, в сухом и увлажненном состоянии не приводит к полному гашению пережога оксида кальция и магния. Марка золосиликатного кирпича М200 обеспечивается при содержании в золе не менее 4,5- 5% CaO (рисунок 2).

Вид песка кварцевый или полевошпатный песка практически не влияет на свойства кирпича, что видно из графика (рисунок 2).

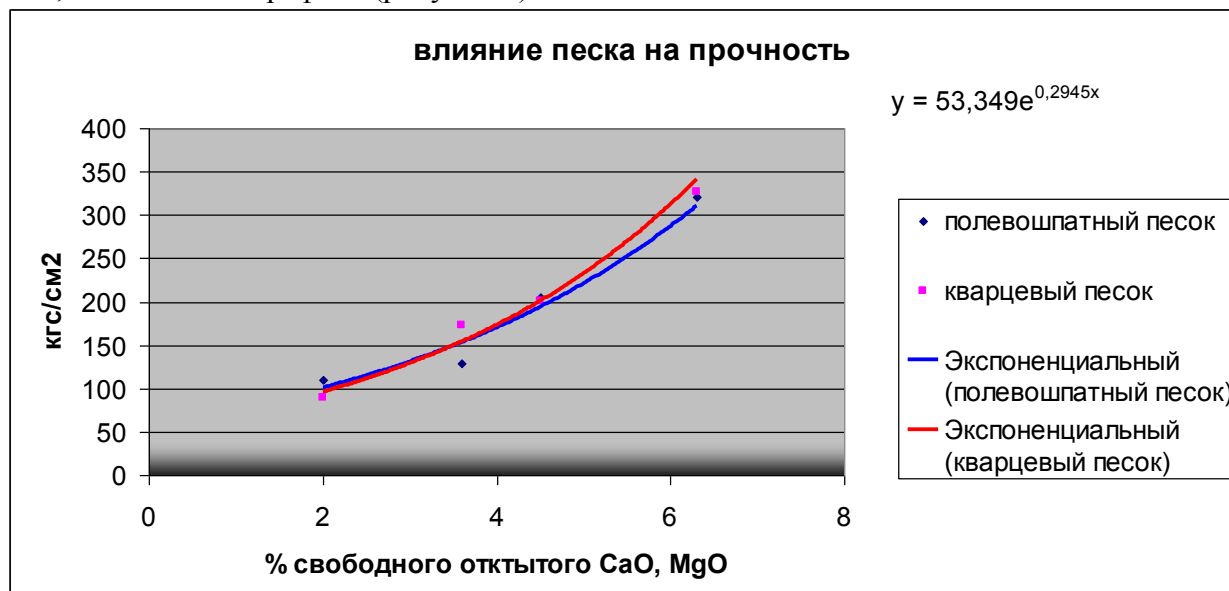


Рисунок 2 – Зависимость прочности от содержания свободного оксида кальция

Таким образом, оптимальным составом для силикатной массы является 75% - автоклавированной ВКЗ, 25% - полевошпатный песок, из расхода на сухое вещество.

## СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ ТЕХНОЛОГИИ ПЕНОБЕТОНА

Калинкина Г.Ю., Копань Е.А. –студенты группы ПСК-51  
Научные руководители– к.т.н. Щукина Ю.В.,  
аспирант Баев М.Н.

В настоящее время, требования предъявляемые к приведенному сопротивлению теплопередачи наружных стен зданий возросли в 1,4 – 2,5 раза. В связи с этим возникла потребность в эффективных, недорогих теплоизоляционных материалах. На Российском рынке широко представлены минераловатные и пенополистерольные утеплители, доля рынка занимаемого ячеистым бетоном составляет менее 1 %. Между тем, неавтоклавный пенобетон является перспективным теплоизоляционным материалом, так как обладает экологической и пожарной безопасностью, долговечностью, эксплуатационной совместимостью с конструкционными материалами, распространенностью применяемого сырья, невысоким уровнем производственных затрат при изготовлении и другими ценными качествами. Неавтоклавный пенобетон используется для возведения тепло- и звукоизолирующих слоев зданий, в качестве монолитного бетона. В данном направлении существует проблема, связанная с отсутствием методик испытаний материалов, готовых технологических рекомендаций по изготовлению, несогласованность, а иногда и противоречивость научных докладов, что приводит к нестабильности физико-механических свойств готовых пенобетонных изделий, таких как, значительная осадка пенобетонного массива, неравномерная структура материала. Из литературных источников известно, что добавки-минерализаторы позволяют устранить часть вышеперечисленных недостатков.

Поэтому целью данной работы является исследование влияния пенообразователей различного происхождения и минеральных добавок на плотность, структуру и прочностные характеристики пенобетона.

В научно-исследовательской работе были использованы следующие сырьевые материалы: ПЦ 500 Д0 (Искитимского цементного завода); синтетические пенообразователи ПБ 2000, Пентапав - 430; белковые пенообразователи Laston Foamcem (Италия), Reniment SB 31 L (Германия); добавки (микрокремнезем, химически осажденный мел, каолин, бентонит).

Для оценки качественных характеристик пенобетона формировались массивы пенобетона из которых выпиливались образцы - кубы с ребром 100 мм. Пена и цементный раствор готовились отдельно. Раствор пенообразователя приготавливался из расчёта на 1 литр воды 25 г пенообразователя. Образцы испытывались на прочность при сжатии на 7, 14, 28 сутки нормального твердения. Добавки минерализаторы вводились в виде суспензии в цементное тесто в количестве 1%, 2%, 3%, 5%, 7%, 10% от массы цемента.

На первом этапе оценивалось влияние синтетических пенообразователей и минеральных добавок на свойства пенобетона. В результате эксперимента установлено, что образцы на основе ПЦ и минеральных добавок с пенообразователями ПБ2000, Пентапав - 430 не дают положительных результатов. Структура пенобетона на их основе рыхлая с большим количеством открытых пор и низкими прочностными характеристиками.

На втором этапе оценивалось влияние белковых пенообразователей и минеральных добавок на свойства пенобетона. Полученные результаты представлены на рисунках 1, 2. Образцы на основе ПЦ с пенообразующей добавкой Foamcem и Reniment SB 31 L показывают высокие результаты к 28 суткам нормального твердения.

Образцы с пенообразователем Foamcem и добавкой бентонит (3%) на 7 сутки нормального твердения не превышают по прочностным показателям контрольные образцы, но на 14 сутки происходит увеличение прочности и эта тенденция сохраняется на протяжении всех сроков твердения (рисунок 1).

Введение добавки микрокремнезёма в количестве 5% и 10% уже на 7 сутки нормального твердения приводит к повышению прочности при сжатии над контрольными образцами, что сохраняется на всем периоде твердения. В целях экономии сырьевых материалов наиболее

эффективным является использование добавки в количестве 5%. Данная зависимость сохраняется для образцов с пенообразователем Фоамсет и добавкой каолин (3 %).

Образцы с пенообразователем Фоамсет и добавкой осаждённого мела (1%) на 14 сутки нормального твердения превышают по прочностным показателям контрольные образцы, достигая к 28 суткам прочности равной 0,92 МПа, при контрольной прочности равной 0,67 МПа. Сравнивая прочностные характеристики образцов с добавлением пенообразователя Фоамсет и вышеприведённых минеральных добавок можно сделать вывод, что максимальную прочность на сжатие обеспечивает добавление мела в количестве 1% и каолина 3%. Образцы с добавлением каолина значительно повышают прочность на ранних сроках нормального твердения.

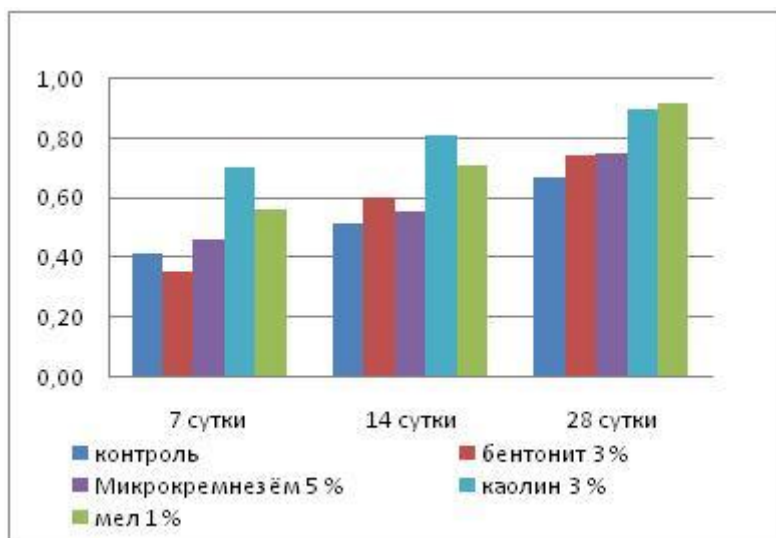


Рисунок 1 - Кинетика набора прочности пенобетона плотностью 300 кг/м<sup>3</sup> с пенообразователем Фоамсет и различными минеральными добавками

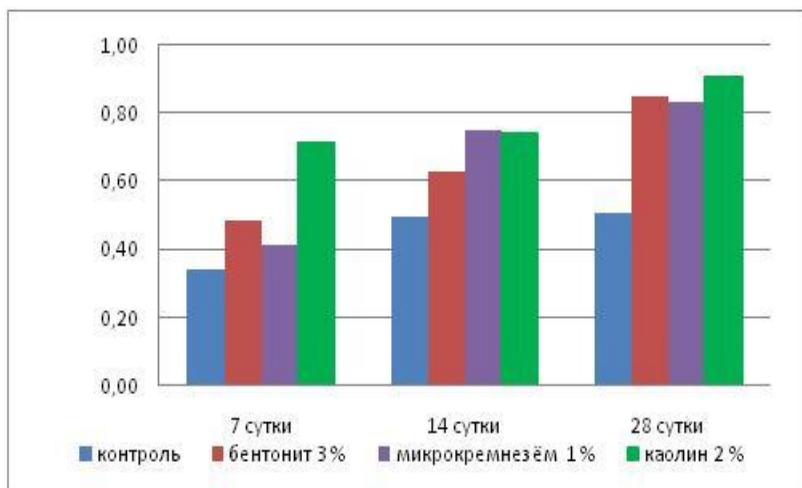


Рисунок 2 - Кинетика набора прочности пенобетона плотностью 300 кг/м<sup>3</sup> с пенообразователем Reniment SB 31 L и различными минеральными добавка

Кинетика набора прочности пенобетона с пенообразователем Reniment SB 31 L повторяет тенденции кинетики набора прочности пенобетона с добавлением пенообразователя Фоамсет (рисунок 2).

Таким образом, при обработке экспериментальных данных можно выделить некоторые закономерности:



1. для цементного вяжущего с пенообразователем Foamset установлен оптимум по химическим добавкам, так для осаждённого мела он составляет 1%, для каолина – 3% от массы вяжущего. При этих количествах химических добавок, становится возможным получение пенобетона плотностью в сухом состоянии  $300 \text{ кг/м}^3$  с прочностью при сжатии на 28 сутки твердения равной 0,9 МПа.

2. для цементного вяжущего с пенообразователем Reniment SB 31 L выявлено: лучшие результаты достигаются при добавлении глинистых добавок в количестве 2-3% от массы вяжущего.

3. используя синтетические пенообразователи невозможно получить легкий теплоизоляционный пенобетон плотностью  $300 \text{ кг/м}^3$  с удовлетворительными физико-механическими свойствами.

## **ИССЛЕДОВАНИЕ ДОЛГОВЕЧНОСТИ БЕТОНА С МИКРОКРЕМНЕЗЕМОМ И СОЛЯМИ**

**Катерухина П.Н., Янушкевич Д.И. –студенты гр. ПСК-51  
Научный руководитель: д.т.н., проф. Овчаренко Г. И.**

Высокая долговечность бетона во многом зависит от его пористости. Чем меньше пористость, тем меньше проницаемость бетона, больше его долговечность. Поры нарушают структуру бетона и уменьшают его водонепроницаемость, увеличивают водопоглощение, снижают морозостойкость и стойкость против действия химически агрессивных жидкостей. Повысить морозостойкость и атмосферостойкость бетона может послужить кольматация пор специальными составами.; также возможно применение микрокремнезема, что в свою очередь еще способствует улучшению и других необходимых свойств бетона таких, как низкая проницаемость и повышенная плотность. Также микрокремнезем вступает в реакцию с гидроксидом кальция  $\text{Ca}(\text{OH})_2$ , освобождаемой при гидратации портландцемента для образования вяжущих соединений, что является огромным плюсом, так как  $\text{Ca}(\text{OH})_2$  является основной причиной образования коррозии в бетоне.

Цель исследования: провести сравнительный анализ морозостойкости и атмосферостойкости мелкозернистого бетона с микрокремнеземом и добавлением солей, введенных вовнутрь и нанесенных в виде раствора на его поверхность.

В ходе исследования в качестве сырьевых материалов применялись: ПЦ М500 Д0 ОАО "Цемент", испытанные согласно стандартной методике по ГОСТ 10178-85; речной песок (р. Обь) – ГОСТ 8735-88; микрокремнезем уплотненный, соответствующий ТУ 14-106-709-2004 "Микрокремнезем конденсированный", также следующие химические добавки: нитрат натрия, сульфат натрия, хлорид кальция, формиат натрия, сульфат алюминия.

В ходе проведения эксперимента требуется сравнить прочности образцов. Образцы изготавливаются из цементнопесчаного раствора 1:3 с 10 - % содержанием МК от массы цемента, который соответствует 5 см и 15 см погружения конуса «СТРОЙЦНИИЛа». В каждую партию образцов соль вводится как добавка в соответствующих процентах от массы цемента:  $\text{CaCl}_2$  – 3%,  $\text{Na}_2 \text{SO}_4$  – 3%,  $\text{HCOONa}$  – 4.5%,  $\text{Al}_2 (\text{SO}_4)_3$  – 3%,  $\text{NaNO}_3$  – 4.5%. На другие партии образцов соль наносится на 28е сутки как обмазка – раствор тех же солей. Раствор приготавливается с учетом того, что каждая балочка впитывает 15 мл, содержание соли в растворе в том же процентном соотношении, которое приведено выше.

Образцы изготавливаются в формах 40x40x160 мм, затем твердеют 28 суток в нормальных условиях. Далее половина образцов испытывается на морозостойкость, другая – на атмосферостойкость. Испытания на прочность при изгибе и сжатии проводились после каждых 10 циклов замораживания - оттаивания и сушки - замачивания.

За контрольный состав принят цементно-песчаный раствор 1:3 с - % содержанием МК от массы цемента, который соответствует 5 см и 15 см погружения конуса «СТРОЙЦНИИЛа».

Из ниже представленных рисунков 1 – 4 можно сделать вывод, что наибольший предел прочности с увеличением циклов замораживания - оттаивания показывает в сравнении с

контрольными образцами образцы, в которые были добавлены соль  $\text{CaCl}_2$  вовнутрь. А наименьший - образцы, в которые были добавлены соли  $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$  и  $\text{NaNO}_3$  вовнутрь. Причем, после 20 циклов замораживания - оттаивания на некоторых образцах с  $\text{Ok} - 15 \text{ см}$ , содержащих  $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$  внутри, наблюдались поверхностные трещины, которые после очередных циклов замораживания – оттаивания становились больше, что в последствии приводило к разрушения образца. Также после 80 циклов замораживания – оттаивания стали наблюдаться изменения на образцах с  $\text{Ok} - 15\text{см}$ , содержащих  $\text{NaNO}_3$  внутри. Появились трещины на поверхности образца. Предположительно эти явления, происходящие в образцах, объясняются образование таумасита. Образцы с той же солью, но с меньшим содержанием воды ведут себя более стойко. Возможно, какие-либо изменения будут наблюдаться на более поздних сроках. Гидросульфокарбосиликат кальция (таумасит)  $3\text{CaO} \cdot \text{SO}_3 \cdot \text{CO}_2 \cdot \text{SiO}_2 \cdot 14,5\text{H}_2\text{O}$  образуется из гидросиликатов кальция, который является причиной ослабления и конечного разрушения бетона. Для образования кристаллов таумасита необходимо наличие источников – силикатов кальция, сульфатов и карбонатов. Источником силикатов кальция является цементный камень, а сульфатов – непосредственно соль, которую мы добавляли в растворную смесь.

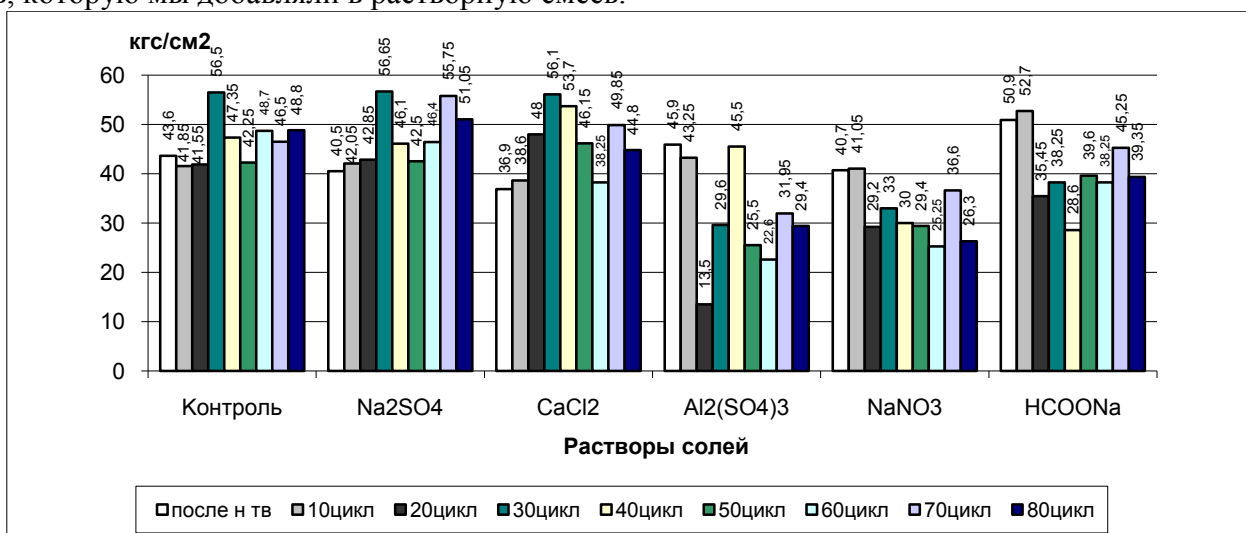


Рисунок 1 - Сравнительный анализ изменения предела прочности на изгиб образцов, в которые соль добавлялась вовнутрь, соответствующих 15 см погружения конуса «СТРОЙЦНИИЛа», после 28 суток твердения в нормальных условиях и 10, 20, 30, 40, 50, 60, 70, 80 циклов замораживания – оттаивания.

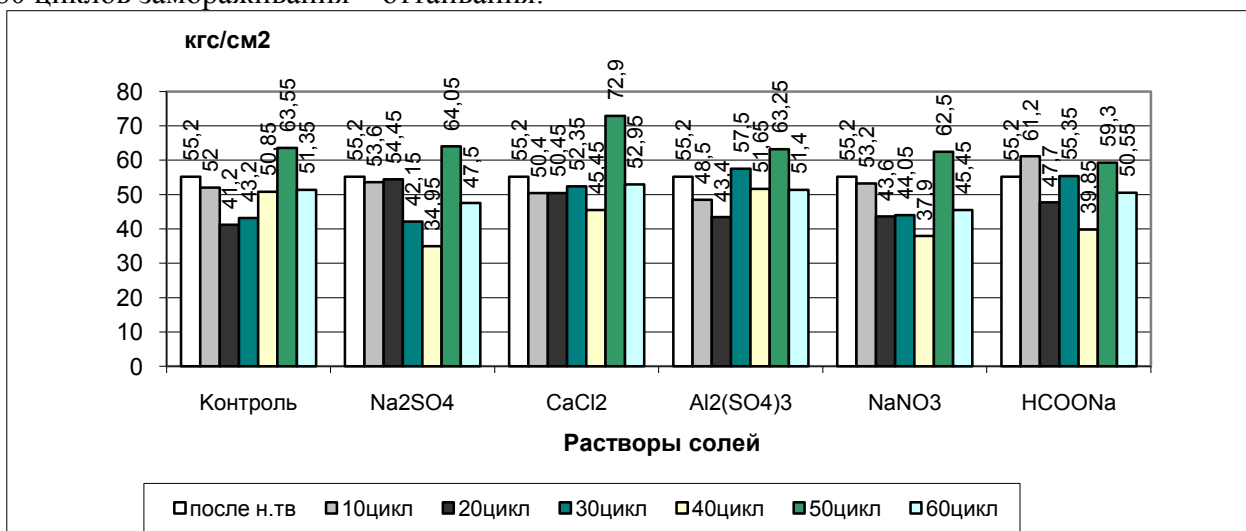


Рисунок 2 - Сравнительный анализ изменения предела прочности на изгиб образцов, обмазанных раствором солей, соответствующих 5 см погружения конуса «СТРОЙЦНИИЛа», после 28 суток твердения в нормальных условиях и 10, 20, 30, 40, 50, 60, 70, 80 циклов замораживания – оттаивания.

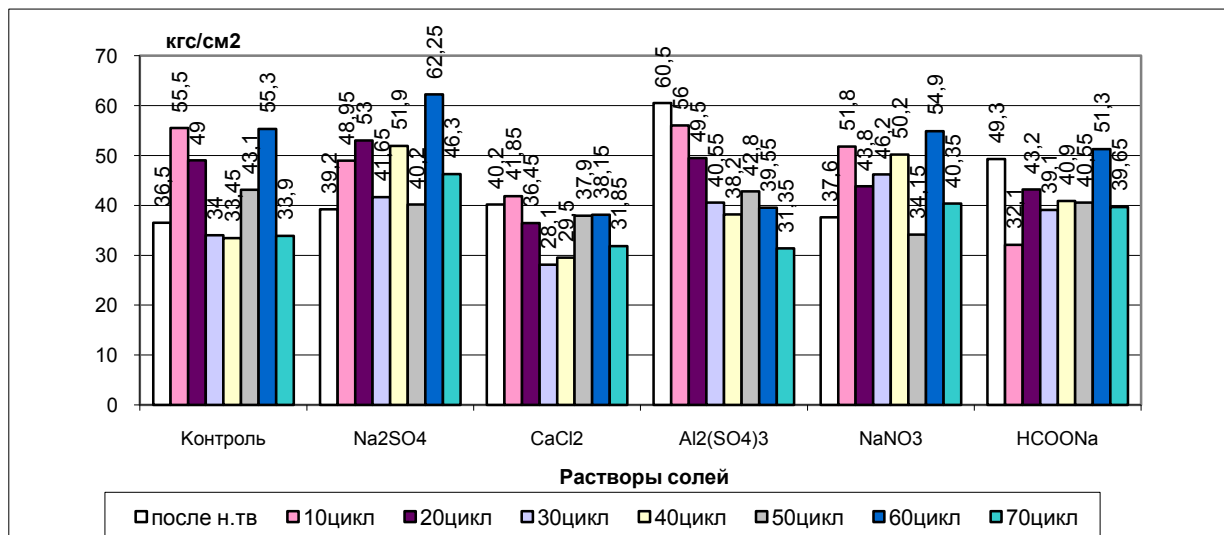


Рисунок 3 - Сравнительный анализ изменения предела прочности на изгиб образцов, в которые соль добавлялась вовнутрь, соответствующих 5 см погружения конуса «СТРОЙЦНИИЛа», после 28 суток твердения в нормальных условиях и 10, 20, 30, 40, 50, 60, 70, 80 циклов сушки – замачивания.

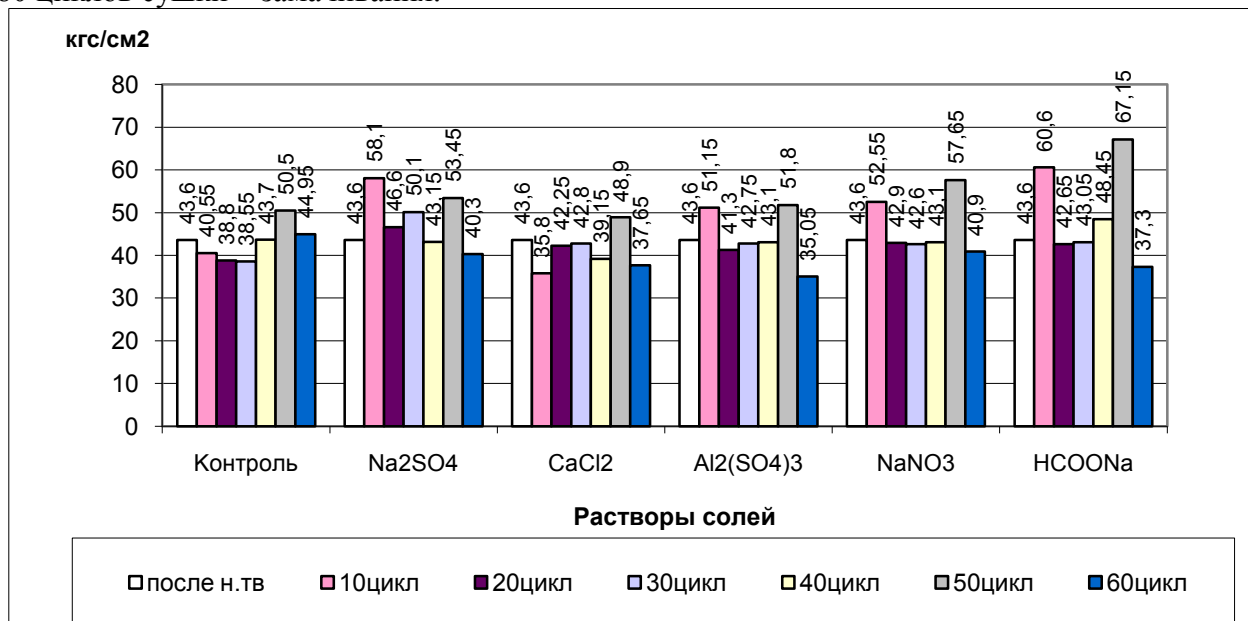


Рисунок 4 - Сравнительный анализ изменения предела прочности на изгиб образцов, обмазанных раствором солей, соответствующих 15 см погружения конуса «СТРОЙЦНИИЛа», после 28 суток твердения в нормальных условиях и 10, 20, 30, 40, 50, 60, 70, 80 циклов сушки – замачивания.

Анализ полученных данных также показывает, что образцы, испытанные на атмосферостойкость, наименьший предел прочности с увеличением циклов сушки – замачивания показывает в сравнении с контрольными образцами образцы, в которые были добавлены соль CaCl<sub>2</sub> вовнутрь. Обмазанные же этими растворами солей образцы прочность значительно не меняют. Но, если сравнивать с образцами, испытанными на морозостойкость, в данных образцах не наблюдаются внешние изменения в структуре растворных образцов.

## ИССЛЕДОВАНИЕ СВОЙСТВ АВТОКЛАВНОГО ГАЗОБЕТОНА С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ЗОЛ ТЭЦ

Коженок Е.В., Чиженко С.И. - студенты гр. ПСК – 51

Научные руководители: к.т.н. Щукина Ю.В.

аспирант Гильмияров Р.И.

В силу того, что автоклавный газобетон получил широкое распространение в строительстве встала задача по снижению себестоимости затрат на его производство посредством экономии наиболее дорогостоящих компонентов, такие как известь и цемент.

В настоящей работе нами была рассмотрена возможность экономии данных сырьевых материалов за счет применения высококальциевых зол ТЭЦ, полученных от сжигания бурых углей КАТЭКа, широко распространенных в сибирском регионе.

В качестве основных сырьевых материалов для производства изделий из автоклавного газобетона были использованы: портландцемент Голухинского цементного завода М400Д20; известь строительная с содержанием активных СаО и MgO 63,34 %; высококальциевая зола ТЭЦ-3 г. Барнаула (БУЗ), полученная путем сжигания бурых углей Канско-Ачинского бассейна с содержанием свободной открытой извести  $\text{CaO}^{\text{св}}_{\text{отк}}$  1 %, свободной общей извести  $\text{CaO}^{\text{св}}_{\text{общ}}$  2,5 %; кварцевый песок Черемного месторождения.

В качестве контрольного был принят состав конструкционно-теплоизоляционного газобетона средней плотности  $700 \text{ кг/м}^3$  Барнаульского завода ячеистых бетонов (ЗЯБ) со следующим расходом сырьевых компонентов  $\text{кг/м}^3$ : портландцемент – 130; известь – 135; молотый кварцевый песок в виде шлама – 380.

В работе использовались составы полученные путем совместного помола вышеперечисленных сырьевых материалов с различным процентным соотношением. Помол осуществлялся по сухому способу с энергией 75% от энергии помола клинкера на цемент.

Известь в автоклавном газобетоне выполняет не только роль вяжущего, но и служит интенсификатором газовыделения. Эксперименты показали, что даже в безизвестковых составах достигается требуемая высота вспучивания массива.

От ускоренного структурообразования газобетонных смесей зависит время нахождения массива в форме до распалубки и резки. Поэтому исследование реологических характеристик таких систем является обязательным этапом. В результате проведенного эксперимента установлено что введение высококальциевой золы ведет к увеличению времени выдержки массива до резки на 30 минут по сравнению с контрольным составом.

Автоклавную обработку проводили при различных режимах запаривания (8 часов 0,8 МПа, 8ч 1МПа, 10ч 0,8 МПа, 10ч 1МПа) с целью выявления не только оптимального состава но и наилучшего режима изотермической выдержки.

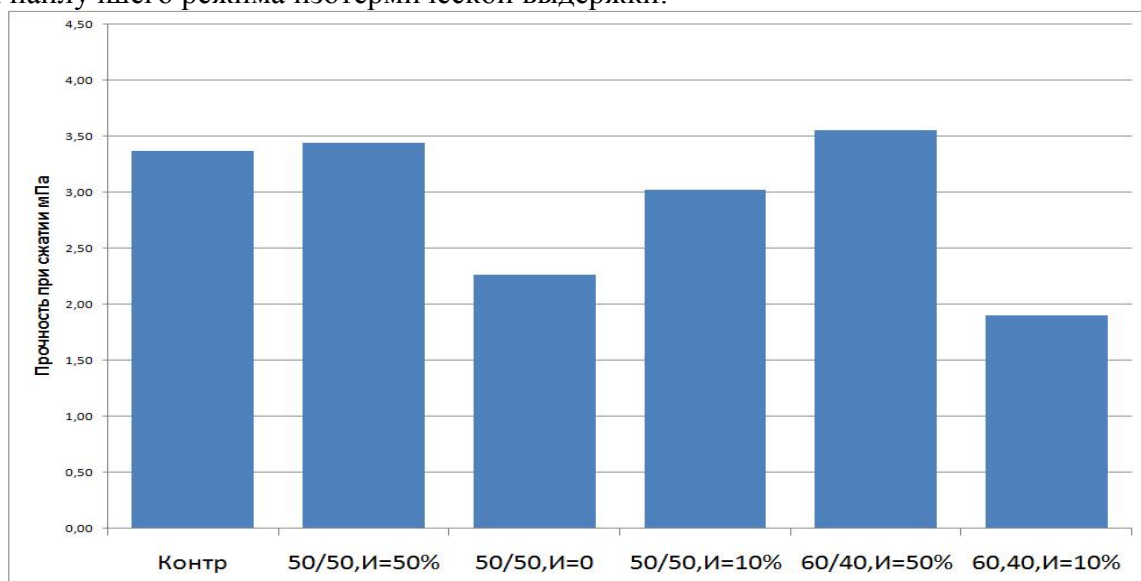


Рисунок 1 – Кинетика набора прочности автоклавного газобетона плотностью D700 при режиме изотермической выдержки 8ч. 1 МПа

На рисунке 1 представлены результаты изменения прочности автоклавного газобетона  $700\text{кг/м}^3$  в зависимости от состава сырьевой смеси, из которого видно что наилучшие прочностные показатели достигаются при использовании в составах 50% извести от контрольного. Это можно объяснить тем, что в данной работе использовались, высококальциевые золы с низким содержанием свободной суммарной извести (2,5%), по этому для достижения более высоких прочностных показателей необходимо дополнительно вводить в состав смеси автоклавного газобетона известковый компонент. Использование высококальциевых зол с высоким содержанием свободной суммарной извести (5,6%) позволяет полностью отказаться от использования извести (рисунок 2).

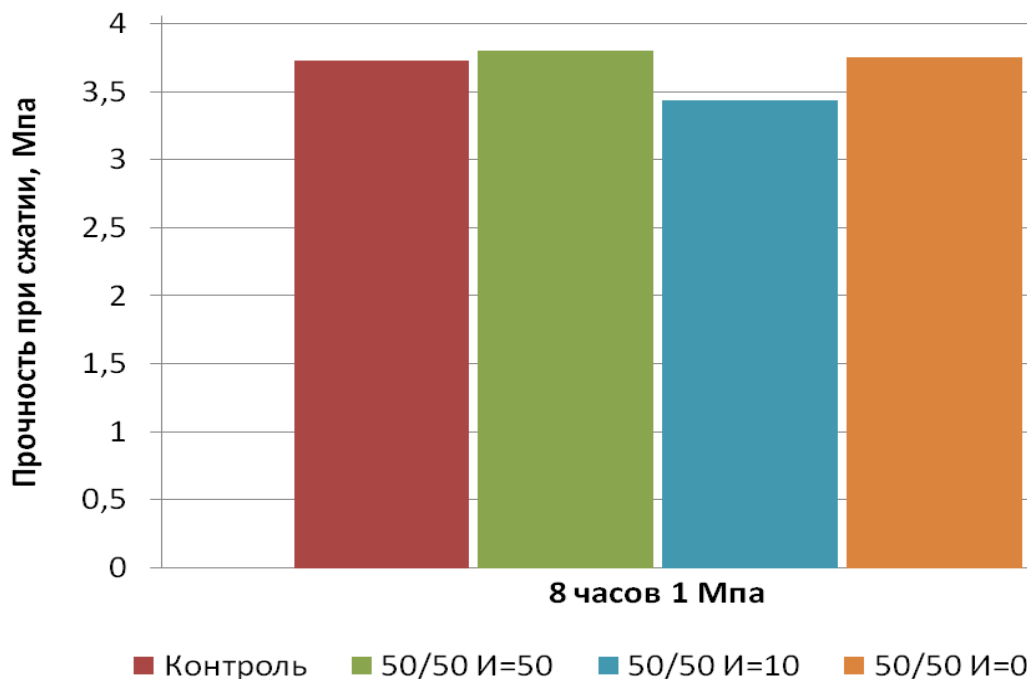


Рисунок 2 – Кинетика набора прочности автоклавного газобетона плотностью D700 при режиме изотермической выдержки 8ч. 1 МПа

По предварительным результатам полученный материал характеризуется морозостойкостью не ниже 15циклов. Однако при испытании на собственные деформации установлено что полученный золосодержащий материала характеризуется достаточно высокими усадочными деформациями которые находятся в пределах 1-1,6мм/м, что не превышает значения контрольного состава. Это можно объяснить особенностями фазообразования золосодержащих систем, в которых на равне с кристаллическими присутствуют геливидные гидросиликаты кальция, что приводит к усадочным деформациям за счет старения геля C-S-H.

Таким образом в результате проведенной работы можно сделать выводы о том что получение автоклавных газобетонов возможно с использованием высококальциевых зол с низким содержанием свободной суммарной извести лишь при введении в состав дополнительной извести.

## ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ВЫСОКОКАЛЬЦИЕВЫХ ЗОЛ ТЭЦ В ПРОИЗВОДСТВЕ АВТОКЛАВНЫХ СТЕНОВЫХ МАТЕРИАЛОВ

Коляда К.В., Попов Д.Е. – студенты группы ПСК – 71  
Научный руководитель – д.т.н., профессор Овчаренко Г. И.

На сегодняшний день проблема утилизации отходов энергетической промышленности, в частности золы, а также удорожание сырьевых материалов вследствие мирового экономического кризиса стоит довольно остро. Эти проблемы заставляют искать пути

решения задач по сокращению затрат на сырьевые материалы и по возможности использовать попутные отходы промышленности.

Целью исследования являлось получение оптимального состава на основе высококальциевой золы, с последующей автоклавной обработкой, по прочности не уступающего заводскому силикатному кирпичу, при одинаковых условиях запарки в автоклаве.

В работе использовались следующие сырьевые материалы: высококальциевая зола ТЭЦ – 3 г. Барнаула (ВКЗ), песок кварцевый Власихинского месторождения  $M_{кр} = 1,35$ , песок речной полевошпатовый из поймы реки Обь с  $M_{кр} = 0,95$ , кислая каменноугольная зола ТЭЦ -5 г.Новосибирска (ККУЗ).

Для проведения эксперимента производилась предварительная запарка ВКЗ в автоклаве, затем её смешивание в различном процентном соотношении с кварцевым или полевошпатовым песками (ВКЗ + песок 20 %, ВКЗ + песок 40 %), а также кислой золой (ВКЗ + ККУЗ 20 %, ВКЗ + 40 ККУЗ %, ВКЗ + 60 ККУЗ %) с последующей выдержкой в автоклаве при давлении 1 МПа.

Полученная смесь затворялась водой в количестве 6 % от массы, далее формовались образцы цилиндрической формы размером 50 × 50 миллиметров, а затем запаривались в автоклаве по режиму: 3 часа подъем температуры и давления, 6 часов изотермической выдержки. Автоклавной обработке подвергались следующие составы: ВКЗ 100 %, ВКЗ 80 % + песок полевошпатовый 20 % (ЗПП20 %), ВКЗ 60 % + песок полевошпатовый 40 % (ЗПП40 %), ВКЗ 80 % + песок кварцевый 20 % (ЗПК20 %), ВКЗ 60 % + песок кварцевый 40 % (ЗПК40 %), ВКЗ 80 % + ККУЗ 20 % (ЗКЗ20 %), ВКЗ 60 % + ККУЗ 40 % (ЗКЗ40 %), ВКЗ 40 % + ККУЗ 60% (ЗКЗ60 %), а также аналогичные составы с ККУЗ и ВКЗ без предварительного гашения в автоклаве, контрольный состав. Испытания образцов производились после автоклавной обработки.

В результате проведенного эксперимента установлено что составы ЗПП 20 %, ЗПК 20% дают результаты по прочности аналогичные контрольному составу, в качестве которого использовался силикатный кирпич (рисунок 1). Состав ЗПК 40 % показывает прочность на 78 % больше по сравнению с контрольным составом (рисунок 2). Состав ЗКЗ 20 %, показывает прочность на 21 % больше контрольного (рисунок 2).

При этом следует отметить, что использование ВКЗ без предварительного гашения в автоклаве приводит к значительному изменению формы и объёма образца и сильному падению прочности, до не фиксируемого её значения на используемом оборудовании. Также наблюдалось появление сети мелких трещин на образцах составов ЗКЗ40 % и ЗКЗ60 % с гашёной ВКЗ.

Таким образом, составы ЗПП20 % и ЗПК20 % могут использоваться в качестве альтернативы автоклавному силикатному кирпичу, в связи со стабильными и схожими с ним прочностными характеристиками. Также можно использовать составы ЗПК40 % и ЗКЗ20 %, которые дают повышенную прочность при прочих равных условиях.

### зависимость прочности от добавления к ВКЗ песка кварцевого или полевошпатового

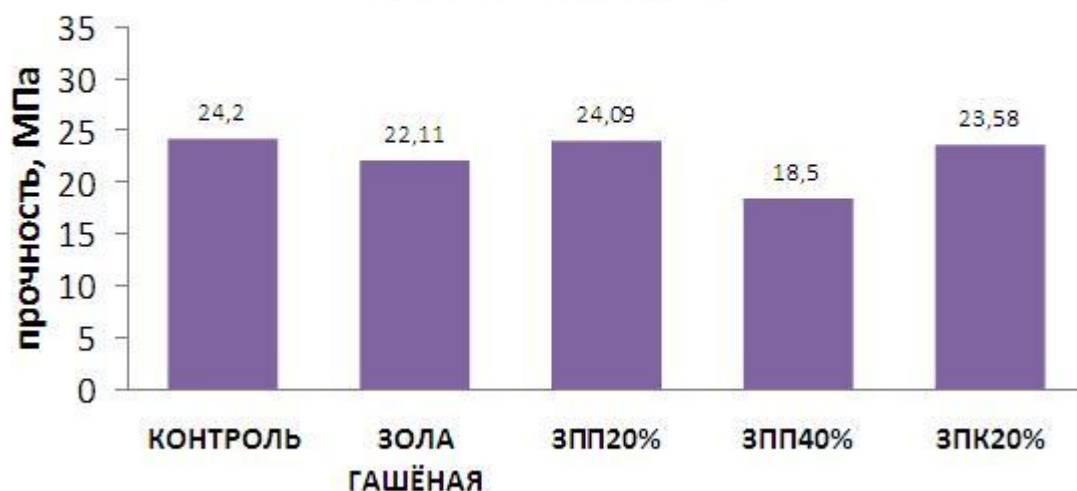


Рисунок 1 Диаграмма прочности ВКЗ от добавления песка кварцевого или полевошпатового

### Зависимость прочности от добавления к ВКЗ песка кварцевого 40% или различных проценток ККУЗ

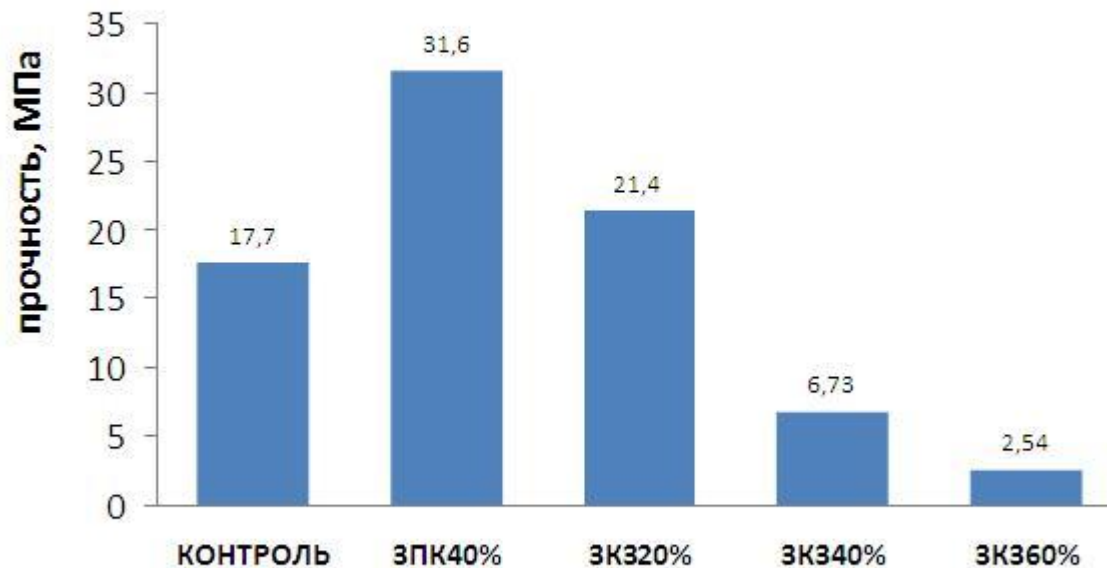


Рисунок 2 - Зависимость прочности ВКЗ от добавления ККУЗ или песка кварцевого 40 %

## АКТИВАЦИОННОЕ ТВЕРДЕНИЕ ВЯЖУЩИХ

Студенты гр. ПСК-71 – Комаров Р.И., Черепанов А.О.  
Научный руководитель – д.т.н., профессор Овчаренко Г.И.  
Аспирант – Горн К. С.

Возникший в последние годы дефицит, а так же дороговизна цемента заставляют искать пути его экономии при эффективных технологических решениях. Одним из таких решений является обработка цементных суспензий в роторно-пульсационном аппарате.

Цель работы: изучение свойств активированного цемента, а также активированного цемента, микрокремнезема и золы, с добавлением суперпластификатора, прошедших через роторно-пульсационный аппарат. Определение оптимального количества добавки МК+СП-1.

В работе использовались: портландцемент Искитимского цементного завода марки М400 Д20; высококальциевая буроугольная зола (БУЗ) ТЭЦ-3 г. Барнаула ( $CaO_{своб} = 0,5\%$ ). В качестве заполнителя применялся обской песок ( $M_{кр} = 1,2$ ). Были использованы следующие добавки: микрокремнезем ( $SiO_2_{акт.}$ ), суперпластификатор СП-1.

Активация производилась через роторно-пульсационный аппарат (РПА), представляющий собой дисмембратор, совмещенный с водяным (шламовым) насосом, с узкими зазорами (1-2 мм) между “корзинами” дисмембратора. Обработка в РПА производилась в количестве 30 циклов. Из активированного вяжущего, песка и воды в соотношении 1:3, формовали образцы размером 4x4x16 см, с подвижностью, соответствующей погружению 4,5 см по конусу СТРОЙЦНИЛа. Эти образцы твердели в нормальных условиях, после чего определялась прочность при изгибе и сжатии на 3 и 28 сутки.

Активировались следующие составы: ПЦ, МК, ПЦ + МК, ПЦ (70 %) + БУЗ (30 %) + МК.

Эксперимент показал, что активация системы ПЦ+МК имеет наилучшие показатели по прочности (рисунок 1). Оптимальным содержанием добавки является МК(10%)+СП-1(1%).

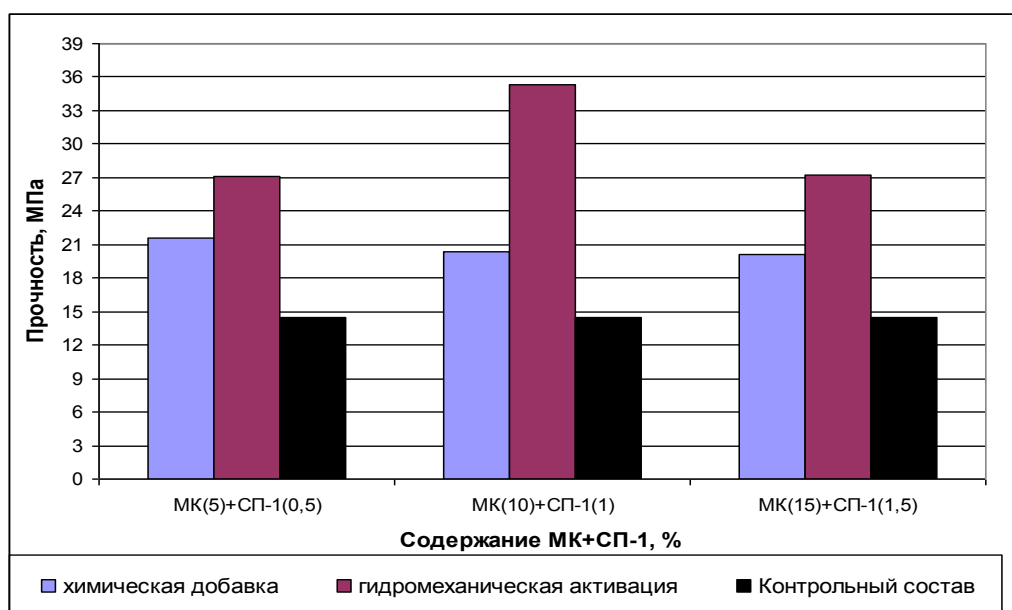


Рисунок 1 – Зависимость прочности цементного камня на 28-е сутки твердения в нормальных условиях от вида обработки и содержания МК+СП-1

Активирование же цемента (70 %) и МК, с добавлением необработанной золы (30 %) очевидно является более эффективным, так как при этом возможно заменить 30 % цемента, что экономически выгодно (рисунок 2).



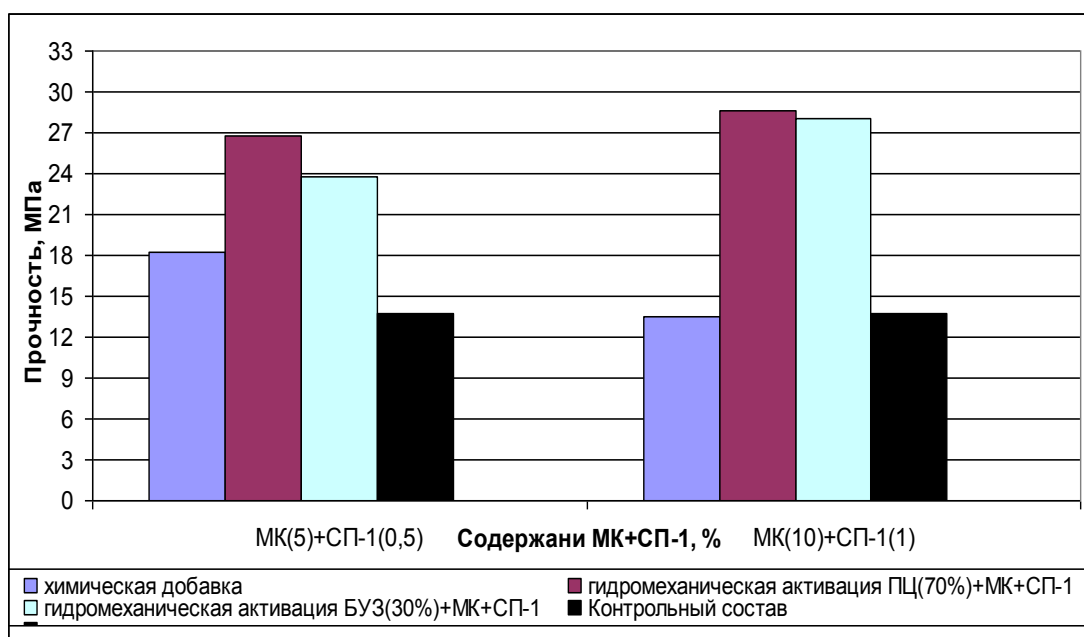


Рисунок 2 – Зависимость прочности цементно-зольного камня на 28-е сутки твердения в нормальных условиях от вида обработки и содержания МК+СП-1

## ВЛИЯНИЕ ПРОТИВОМОРОЗНЫХ ДОБАВОК НА НЕАВТОКЛАВНЫЙ ЯЧЕИСТЫЙ БЕТОН, ТВЕРДЕЮЩИЙ ПРИ ОТРИЦАТЕЛЬНЫХ ТЕМПЕРАТУРАХ

Кулиш К.С., Филатова Е.В. - студенты гр. ПСК – 51

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

Ячеистый бетон применяется повсеместно в малоэтажном, гражданском и промышленном строительстве, так как является одновременно теплоизоляционным и конструкционным строительным материалом. Поэтому в последние годы из-за относительно небольших капиталовложений и низкой энергоёмкости широкое распространение получило производство неавтоклавных газобетонных стеновых блоков, в том числе и малыми предприятиями.

Технология классического неавтоклавного газобетона на цементе и песке имеет как преимущества, так и недостатки перед автоклавной. Главным преимуществом является возможность организации производства практически в любых условиях без существенных капиталовложений. В качестве недостатков можно отметить длительность полного цикла в технологии без пропаривания, повышенную среднюю плотность блоков без помола песка ( $850 - 900 \text{ кг/м}^3$  вместо  $650 - 700 \text{ кг/м}^3$ ), повышенную усадку материала при эксплуатации (до 3 мм/м). Устранения части этих недостатков можно добиться, осуществляя помол песка, а также тепловлажностную обработку готовых изделий. В свою очередь это требует увеличения капитальных вложений, что для малых предприятий не всегда доступно.

Одной из основных статей затрат при производстве газобетонных стеновых блоков по неавтоклавной технологии в зимний период является отопление относительно больших производственных и складских площадей, предназначенных для размещения продукции до приобретения ею отпускной прочности. Одновременного снижения затрат на производство и улучшения качества ячеистобетонных блоков можно добиться путем выпуска их по малоэнергоёмкой технологии, которая позволяет изготавливать газобетон в не отапливаемых помещениях с последующим их твердением на морозе. Данная технология заключается в замене инертного заполнителя на высококальциевую золу, а также введении противоморозных химических добавок в состав смеси.

В экспериментах использовался портландцемент ПЦ М400Д20 Голухинского цементного завода, высококальциевая зола ТЭЦ-3 г. Барнаула (БУЗ), речной песок с поймы р. Обь с модулем крупности 1,2. Кроме этого в состав газобетонной смеси вводились

наиболее распространенные химические противоморозные добавки  $\text{Na}_2\text{SO}_4$ ,  $\text{NaCl}$ ,  $\text{K}_2\text{CO}_3$ ,  $\text{HCOONa}$ .

Механизм действия этих добавок представлен следующим образом: для них характерно то, что при взаимодействии с известью золы в присутствии алюминийсодержащих фаз золы и цемента происходит обменная реакция с образованием структурно-активных  $\text{AF}_t$  и  $\text{AF}_m$  фаз. При этом ускоряется гидратация свободной извести золы и выделяется в поровый раствор щелочь в виде  $\text{NaOH}$ .

В ходе эксперимента установлено, что цементно-песчаный газобетон как в нормальных условиях так и в условиях пониженных температур не набирает требуемой прочности по достижению 28 суток. При этом составы такого газобетона с противоморозными добавками, твердеющие в нормальных условиях и на морозе дают прирост прочности на 7 - 23 % и 5-59 % соответственно по сравнению с бездобавочным составом. Применение высококальциевых зол вместо песка позволяют достичь минимальнотребуемой прочности в 2,5 МПа через 28 суток нормального твердения. А химические добавки значительно увеличивают раннюю прочность (до 7 суток) за счет быстрого накопления твердой фазы в виде  $\text{AF}_t$  и  $\text{AF}_m$  фазы. Достичь марочной прочности при твердении на морозе позволяют химические добавки. Набор прочностных характеристик происходит за счет антифризного и ускоряющего действия. Превышение конечной прочности над прочностью бездобавочного газобетона составляет 27 – 43 %.

Положительного эффекта при твердении в условиях отрицательных температур можно также добиться при замене 25 % песка на БУЗ. В данных составах, содержащих противоморозные добавки и твердеющих на морозе, наблюдается превышение прочности по сравнению с бездобавочным контрольным составом на 22-38 % в зависимости от вида добавки. Так при введении в состав  $\text{NaCl}$  прочность образцов превысила контрольный состав в 1,38 раза, при введении  $\text{K}_2\text{CO}_3$  - в 1,35 раза,  $\text{HCOONa}$  – в 1,23 раза,  $\text{Na}_2\text{SO}_4$  – в 1,37 раза.

Кроме этого полученный газобетон с химическими добавками в независимости от условий твердения проявляет безусадочность и характеризуется стабильными собственными деформациями, которые находятся в пределах 1,2 – 3,5 мм/м, образцов хранившихся в нормальных условиях, и 0,5 – 3,1 мм/м – при отрицательной температуры.

При анализе карбонизационной стойкости газобетона установлено, что все химические добавки препятствуют возникновению усадочных деформаций и этот показатель находится в районе 0.

Кроме этого полученный материал характеризуется морозостойкостью не менее 25 циклов. При этом из рисунка 1 видно, что составы на основе золо-цементной композиции с химическими добавками повышают прочность на 1 – 12 %.

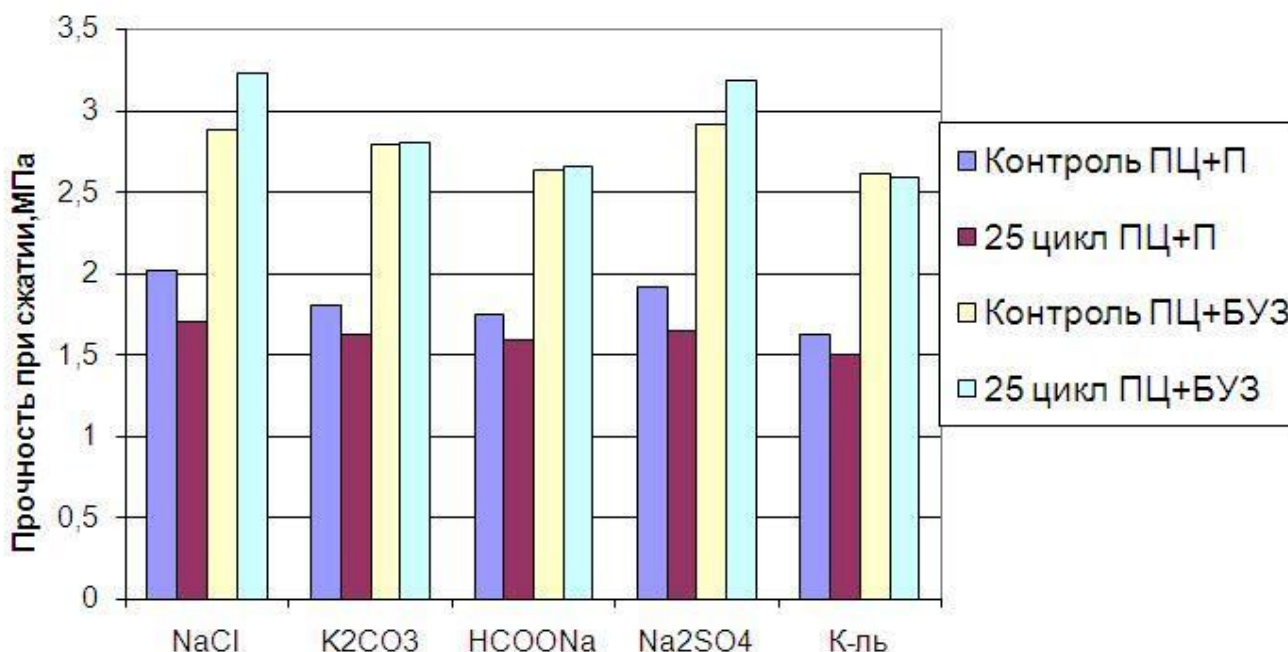


Рисунок 1 - Изменение прочности при сжатии образцов после 25 циклов попеременного замораживания и оттаивания

В результате проведенных исследований выявлена возможность производства неавтоклавного газобетона в условиях пониженных и отрицательных температур. При этом полученный материал соответствует требованиям ГОСТ 21520 – 89.

## ПОЛУЧЕНИЕ КОМПОЗИЦИОННЫХ ЦЕМЕНТОВ ПОВЫШЕННОЙ СУЛЬФАТОСТОЙКОСТИ

Лихошерстов А.А., Нагайцева М.А. - студенты гр. ПСК-51

Научный руководитель - д.т.н., профессор Козлова В.К.

Сульфатостойкие цементы находят основное применение при строительстве подземных частей зданий и гидротехнических сооружений, подвергающихся воздействию агрессивных растворов. Такие цементы необходимо применять и для защиты конструкций, которые служат в воздушной среде, содержащей ионы  $SO_3^{2-}$ . Кроме того, исследования зарубежных ученых подтверждают, что повышенные требования по сульфатостойкости должны предъявляться к дорожным бетонам. В настоящее время повышение сульфатостойкости цемента и бетонов достигается за счет регулирования минералогического состава клинкера, к которому предъявляются следующие требования:  $C_3S < 50\%$ ,  $C_3A < 5\%$ ,  $C_3A + C_4AF < 22\%$ . Это обуславливает трудности с подбором сырьевых компонентов, к тому же, пониженное содержание  $C_3S$  отрицательно влияет на конечную прочность таких цемента. Имеются также сведения о том, что цементы с отрегулированным минералогическим составом не всегда являются сульфатостойкими при условиях агрессивной среды.

Задачей наших исследований являлось получение композиционных цементов повышенной сульфатостойкости. Для решения этой задачи рядовой клинкер и портландцемент модифицировались минеральными и химическими добавками.

Определение сульфатостойкости проводилось по методу, предложенному Б.Г. Скрамтаевым. Данный метод основан на попеременном увлажнении-высушивании образцов, твердевших 28 суток. В качестве агрессивного раствора использовался 5-% раствор  $Na_2SO_4$ . Испытания проводились до начала разрушения образцов, параллельно контролировались прочность и линейное расширение.

При всей наглядности данного метода он не моделирует реальных условий службы, т.к. не принимается во внимание тот факт, что сульфатная коррозия всегда протекает

параллельно с углекислотной. Поэтому, нами дополнительно проводилось испытание составов на карбонизационную стойкость.

На первом этапе эксперимента осуществлялось модифицирование цемента ПЦ400Д20 (производства Топкинского цементного завода), удовлетворяющего требованиям ГОСТ, комплексными минеральными добавками на основе БУЗ ТЭЦ-3 г.Новосибирска, доломита и дунита. После предварительных прочностных испытаний на образцах кубиках 2х2х2 см, были выбраны составы, показавшие наивысшие результаты. Далее оценивалась сульфатостойкость этих составов по методике, описанной выше. Использовались образцы-балочки, размером 4х4х16 см. Результаты представлены на рисунке 1.

Исходя из полученных результатов, можно сделать вывод о том, что модифицирование портландцемента комплексной добавкой на основе дунита (30%) и БУЗ (70%) способствует приросту сульфатостойкости. Также, следует отметить, что образцы, твердевшие при нормальных условия продемонстрировали лучшие результаты по сульфатостойкости, чем образцы, подвергшиеся тепло-влажностной обработке.

На втором этапе эксперимента были изучены составы композиционных цементов на основе клинкера ОАО Цемент, при использовании в качестве модифицирующих добавок смесей дунита и ДГШ, с органическими кислотами, карбамидом и другими химическими добавками. В составах варьировалось также содержание двуводного гипса.

По результатам предварительных прочностных испытаний на образцах-кубиках, размером 2х2х2 см были выбраны составы, показавшие лучшие результаты. Из данных составов были изготовлены образцы-балочки 4х4х16 см, на которых проводились испытания на прочность и сульфатостойкость. Лучшие показатели прочности продемонстрировали следующие составы с минеральными добавками: 75% клинкер + 20% дунит + 5% гипс; 77,5 клинкер + 10% дунит + 10% шлак + 2,5% гипс. Модифицирование данных составов 0,1% органической кислоты, а также, комплексной добавкой, состоящей из 0,1% органической кислоты и 0,5% карбамида дают способствуют приросту прочности на 10-15%. В настоящее время производятся испытания этих составов на сульфатостойкость и карбонизационную стойкость.

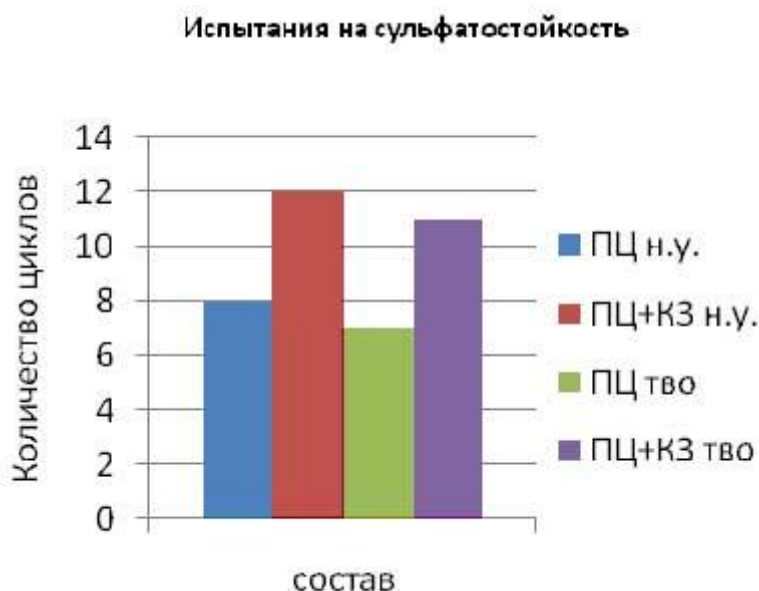


Рисунок 1 – Испытания на сульфатостойкость

## САМОУПЛОТНЯЮЩИЕСЯ БЕТОННЫЕ СМЕСИ

Майснер Г.А. - студент группы ПСК-51

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

Среди наиболее значимых достижений в технологии бетона конца XX века, по мнению большинства известных зарубежных авторитетов, приоритет принадлежит так называемому самоуплотняющемуся бетону (СУБ). Самоуплотняющимся называют бетон, который не расслаивается после укладки в форму и занимает проектное положение под влиянием только собственного веса без применения вибрации. Разработанный около 15 лет назад в Токийском университете, материал приобрел это уникальное качество за счет применения нового поколения гиперпластификаторов на основе сополимеров акрилатов и карбоксилатов в сочетании с тщательно подобранными по гранулометрии компонентами бетонной смеси.

СУБ используется в качестве товарного бетона при возведении высотных и инженерных сооружений, при ремонтных работах на строительных объектах. Особое преимущество СУБ заключено в том, что с самого начала исключены дефекты при уплотнении. Кроме того, достигается более высокое качество поверхности. При укладке СУБ можно перекачивать насосом на большие расстояния (>200 м) и подавать самотеком в форму с большой высоты (5 м). Так как уплотнение не выполняется, возможно значительное сокращение времени работ.

СУБ может использоваться на заводах ЖБИ для производства конструктивных железобетонных и преднапряженных железобетонных элементов. При этом достоинства СУБ наиболее эффективно проявляются в случае со сложной геометрией и тонкими, плотно армированными элементами. Для повышения ранней прочности СУБ, как и обычный бетон, можно подвергать тепловой обработке. Благодаря превосходному качеству поверхности изделия из СУБ (обладающие качеством декоративного бетона) могут конкурировать с керамическими, стеклянными и металлическими поверхностями.

Помимо снижения уровня шума и высокого качества элементов достоинства технологии СУБ заключаются в снижении нагрузки и инвестиционных затрат на формы и уплотнительные агрегаты.

Целью данной научно-исследовательской работы являлось получение самоуплотняющихся бетонных смесей с применением наиболее эффективных гиперпластификаторов на примере бетонов марки 200 и 300.

В ходе проведения эксперимента использовались: Искитимский портландцемент (ПЦ) М500 Д0, кислые золы от сжигания каменных углей на Новосибирской ТЭЦ-5 с жидким шлакоудалением (КУЗ), гиперпластификатор Sika Viscocrete 5-800, пластификатор Универсал П-2, щебень, молотый известняк. Известняк размалывался в шаровой мельнице в течение 60 мин., что составляет 100% от энергии помола клинкера на цемент.

За контрольные были приняты следующие составы (таблица 1), применяемые при производстве ЖБИ по кассетной технологии. Используемая добавка: Универсал П-2.

Таблица 1- Контрольные составы

б	М	% пр-ти	О. К., см	Расход материалов, в кг (при W = 0 %)				Добавка, кг
				Цемент	Песок	Щебень	Вода	
00	2	70	10-12	340	750	109	23	1,7
00	3	70	10-12	410	630	113	23	2,05

Подбор состава СУБ (таблица 2) проводили согласно рекомендациям проф. Калашникова [1]. Согласно его исследованиям для получения СУБ смесей необходимо использовать тонкодисперсную составляющую – каменную муку (КМ). В качестве каменной муки в нашей работе были использованы молотый известняк и кислая зола.

Для расчета состава смеси вводятся две величины: критерий избытка  $I_{цд}^п$  абсолютного объема цементно-дисперсной матрицы над объемом песка и критерий избытка  $I_{цдп}^щ$  абсолютного объема цементно-дисперсно-песчаной реологической матрицы над абсолютным объемом щебня:

$$I_{цд}^п = \frac{V_д}{V_п} = \frac{V_ц + V_{км} + V_{МК} + V_в}{V_п},$$

$$I_{цдп}^щ = \frac{V_{цдп}}{V_щ} = \frac{V_ц + V_{км} + V_{МК} + V_в + V_п}{V_щ},$$

где  $V_ц, V_{км}, V_{МК}, V_п, V_щ, V_в$  — абсолютные объемы цемента, каменной муки, МК, песка, щебня и воды соответственно. Значения этих критериев для самоуплотняющихся бетонов  $I_{цд}^п = 1,6-2$ ;  $I_{цдп}^щ = 1,8-2$ .

Таблица 2 – СУБ смеси

Состав бетона	$I_{цд}^п$	$I_{цдп}^щ$	Цемент	Мука	Песок	Щебень	Доба вка
Марка 200 + КМ 20%	1,6	1,456	340	68	593	1099	4,08
Марка 200 + КМ 40%	1,6	1,730	340	136	634	989	4,08
Марка 200 + КМ 60%	1,6	2,074	340	204	675	878	4,08
Марка 200 + КМ 80%	1,6	2,517	340	272	716	768	4,08
Марка 300 + КМ 20%	1,8	1,762	410	82	638	977	4,10
Марка 300 + КМ 40%	1,8	1,923	410	164	611	923	4,10
Марка 300 + КМ 60%	2,0	2,023	410	246	561	893	4,10
Марка 300 + КМ 80%	2,0	2,098	410	328	503	871	4,10

Испытания проводились на бетонных образцах с размером ребра 10x10x10 см, которые твердели при тепловлажностной обработке по режиму 3+6+3 часа при температуре 60 °С. Контрольные составы имели ОК 10-12 см и были уплотнены с помощью вибрации. Составы СУБ - ОК 28-29 см, расплыв 60-65 см (высокоподвижная смесь класса SF-1). Самоуплотняющийся бетон не подвергался уплотнению.

## ПРОЧНОСТНЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ ВЯЖУЩИХ ДЛЯ БЕЗУСАДОЧНЫХ РАСТВОРОВ

Студенты гр. ПСК – 71 Меновщиков А.С., Филимонов И.К.  
 Научный руководитель: ассистент Музалевская Н.В.

Наиболее широко применяемым вяжущим в строительстве является портландцемент, однако его применение сопровождается усадочными деформациями. Усадка цементного камня, вызванная физическими и химическими процессами при его твердении, приводит к различному уровню трещинообразования материалов на его основе.

Целью данного исследования являлось получение безусадочного вяжущего на основе портландцемента и высококальциевой золы и исследование его прочностных свойств.

В работе применялись следующие сырьевые материалы: портландцемент М500 Д0 Искитимского цементного завода, высококальцевая зола Барнаульской ТЭЦ-3 с содержанием свободного СаО – 0,5 %, гипс Г5АШ производства ООО «Аракчинский гипс» (г. Казань), глиноземистый цемент ГЦ 40 производства фирмы «Сimsa» (Турция).

Для проведения эксперимента формовались образцы-кубики размерами 2х2х2 см из теста нормальной густоты смешанного вяжущего. Вяжущее изготавливалось путем смешивания 60 % высококальцевой золы, 40 % портландцемента и с его заменой на 5, 10, 15, 20 % гипсом и глиноземистым цементом. Прочность при сжатии определялась на 3, 7, 14 и 28 сутки твердения в нормальных условиях.

В ходе эксперимента исследовалось влияние добавления гипса и глиноземистого цемента на прочность золо-цементного вяжущего. Введение строительного гипса в количестве от 10 до 15% обеспечивает прирост прочности золо-цементного вяжущего по сравнению с контролем на 40-50%. Применение глиноземистого цемента лишь в количестве 20% позволяет достичь увеличения прочности. Совместное введение гипса и глиноземистого цемента на ранних сроках твердения приводит к снижению прочности вяжущего, причем тем сильнее, чем больше их содержание. Это может объясняться значительным образованием этtringита и этtringитоподобных фаз, приводящих к нарушению структуры и уменьшению прочности вяжущего. В более поздние сроки твердения (14, 28 сутки) наблюдается повышение прочности с увеличением количества глиноземистого цемента (рисунок 1).

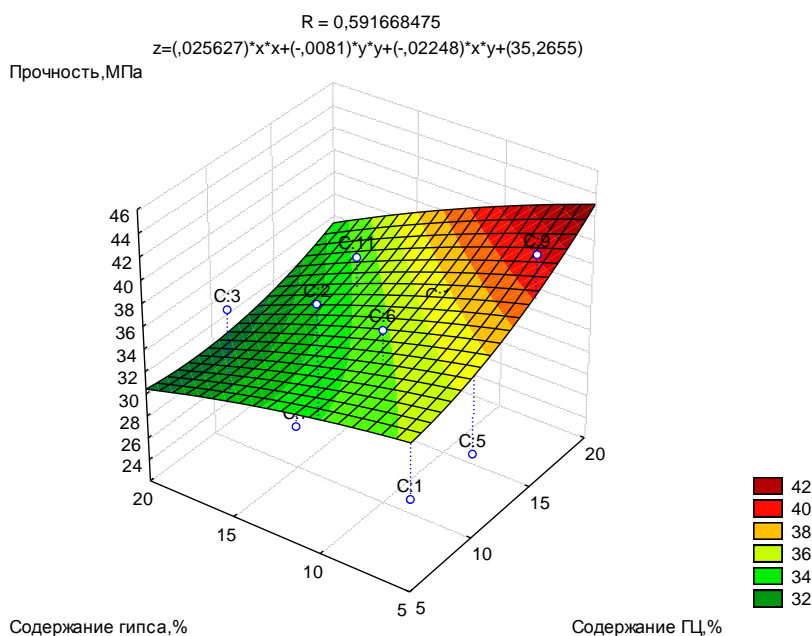


Рисунок 1 – Зависимость прочности при сжатии на 28 сутки твердения образцов из смешанного вяжущего от содержания в нем глиноземистого цемента и гипса

Таким образом, для обеспечения прочностных характеристик золо-цементных растворов целесообразно введение 5-10% гипса и 15-20% глиноземистого цемента.

## ВЯЖУЩИЕ НИЗКОЙ ВОДОПОТРЕБНОСТИ

Студенты гр. ПСК-71 - Орлянский К.В., Парфенова А.А.

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

Появление во второй половине 80-х годов эффективных добавок в бетоны, называемых суперпластификаторами, позволило существенно улучшить технологические характеристики бетонных смесей.

В настоящее время найдены новые возможности усовершенствования вяжущих материалов и технологии бетонных работ. Эти возможности связаны с принципиально

новыми методами использования суперпластификаторов, созданием на их основе нового класса вяжущих веществ – вяжущих низкой водопотребности.

Целью исследования являлось получение составов вяжущих низкой водопотребности, путем совместного помола портландцемента, высококальциевой золы и суперпластификатора, не уступающих по своим прочностным характеристикам контрольному ПЦ М500 Д0.

В работе использовались следующие сырьевые материалы: ПЦ М500 Д0 Голухинского цементного завода, высококальциевая зола ТЭЦ-3 г. Барнаула, содержащая СаОсв. 2,18% , суперпластификатор СП-1.

Составы вяжущих низкой водопотребности получали путем совместного помола портландцемента или высококальциевой золы с 5 % суперпластификатора СП-1 в стандартной лабораторной шаровой мельнице типа МБЛ – 5, при энергиях помола 50, 100 и 150 %. Полученные вяжущие низкой водопотребности добавляли к портландцементу в количестве 10 , 20 и 30 %, формовали образцы-кубики размером 20x20x20 мм. Образцы хранились в нормальных условиях, прочностные характеристики определялись на 1, 3, 7 и 28 сутки. В качестве контрольного состава использовался ПЦ М500 Д0 без добавок.

На рисунке 1 представлена зависимость прочности образцов при сжатии от различного содержания добавки на основе портландцемента и суперпластификатора СП-1 при 150 % энергии помола.

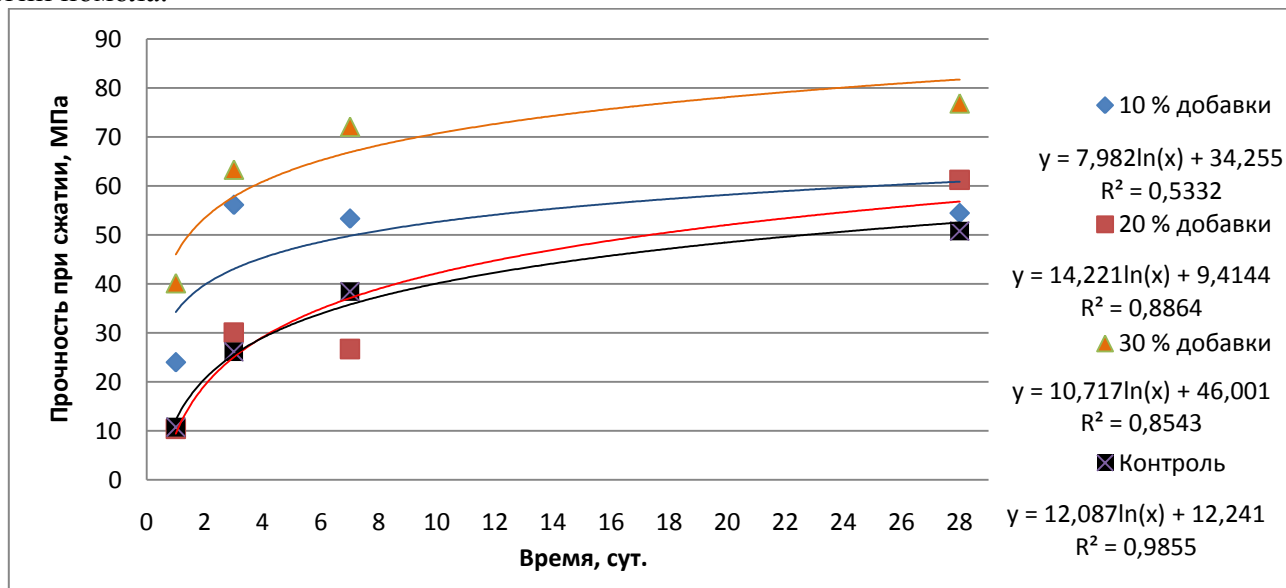


Рисунок 1 – Зависимость прочности образцов от содержания добавки ПЦ+5 % СП-1 при Е150



На рисунке 2 представлена зависимость прочности образцов при сжатии от различного содержания добавки на основе высококальциевой золы и суперпластификатора.

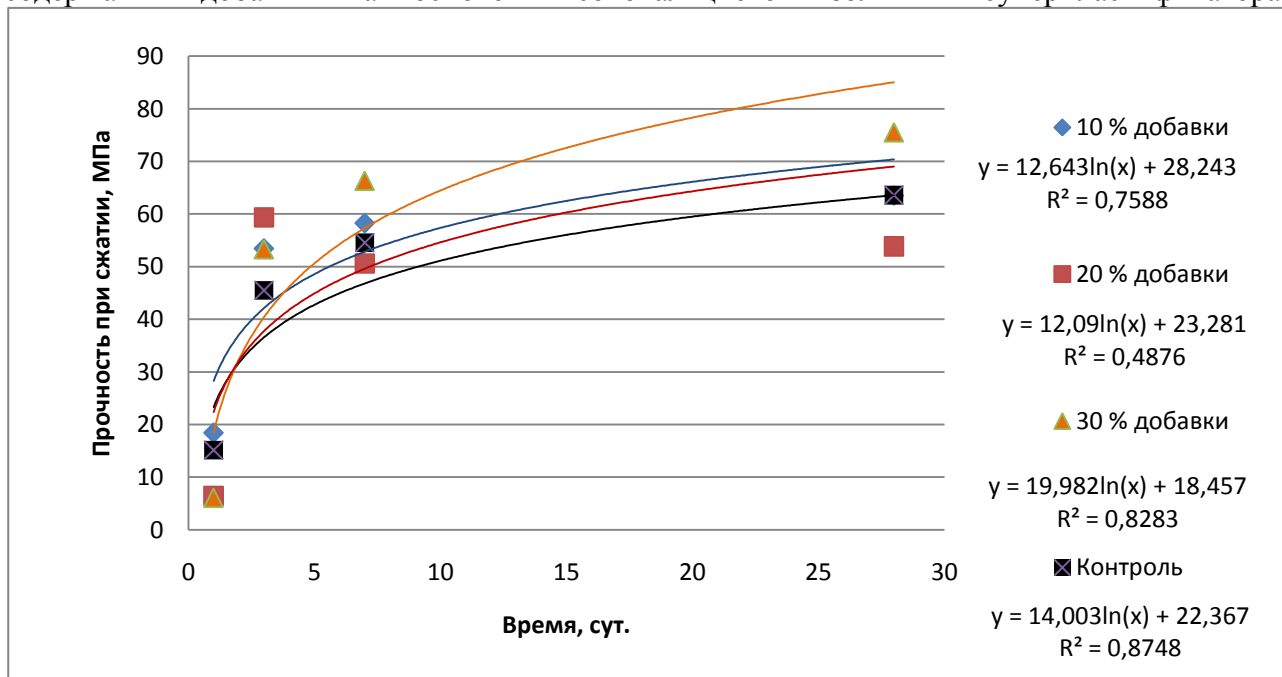


Рисунок 2 – Зависимость прочности образцов от содержания добавки ВКЗ+5% СП-1 при Е150

Результаты испытаний составов на основе высококальциевой золы и суперпластификатора показывают лучшие результаты, чем у составов на основе портландцемента и суперпластификатора. Поэтому можно прийти к выводу, что использование портландцемента в производстве добавки нецелесообразно.

## ПРИМЕНЕНИЕ ЗОЛ ТЭЦ В ТЕХНОЛОГИИ СИЛИКАТНОГО КИРПИЧА

Сафронов Д.Н., Тарасенко В.А. – студенты гр. ПСК-51  
 Научный руководитель - д.т.н., профессор Овчаренко Г. И.

Мировой опыт свидетельствует о том, что затраты на внедрение энергосберегающих мероприятий в 3 - 5 раз меньше затрат на добычу и производство первичных энергоисточников, эквивалентных по объему сэкономленным. Удельная энергоёмкость внутреннего валового продукта в РФ в среднем в 4 раза выше, чем в развитых промышленных странах. Одним из направлений снижения этого показателя является использование техногенных отходов. Повторное использование отходов в переработку очень перспективно. Так, вовлечение в переработку всего 1% отходов сокращает капитальные вложения в минерально-сырьевой комплекс примерно на 2%. Около 2/3 вскрышных и отвальных пород добывающих отраслей пригодны для производства массовых стройматериалов. Реально же в России используется менее 2%.

Целью работы является разработка технологии силикатного кирпича на основе кислых зол и золошлаков ТЭЦ с максимальным их использованием. В ходе эксперимента требовалось выяснить оптимальные дозировки активизаторов твердения.

Для изготовления образцов- цилиндров диаметром 50 мм, высотой 70 мм использовалась кислая зола- унос Новосибирской ТЭЦ-5; песок Власихинского карьера г.Барнаула, кварцевый, мелкозернистый, осадочного происхождения, модуль крупности 0,6-1,0, естественная карьерная влажность 4-5%; известь Локтевского района Алтайского края, негашеная, комовая, содержание активных СаО и MgO не менее 70%.

В ходе работы изготавливался пресс- порошок различного состава, который подвергался силосованию в сушильном шкафу при температуре 60° в течение 2 часов, влажность порошка контролировалась органолептическим методом. Затем при давлении 15 МПа прессовались

образцы- цилиндры. Затем образцы подвергались автоклавной обработке по режиму: 3 часа подъем давления и температуры, 6 часов выдержка, 3 часа спуск, при температуре 170 °С, давлении 1 МПа. В качестве контрольного был изготовлен образец - аналог силикатного кирпича, содержащий 10% извести и 90% кварцевого песка. Исследуемые составы отличались разным содержанием золы, различной энергией помола, а так же разным количеством добавок- активизаторов: извести(10-30%), сульфата натрия(1-2%), гипса(2,5-7,5%).

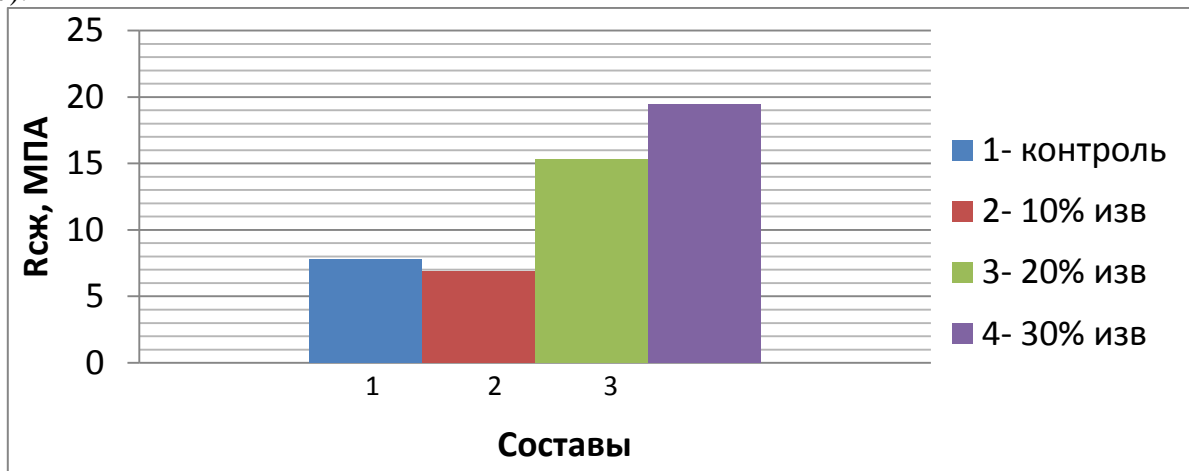


Рисунок 1 - Зависимость прочности золосиликатного кирпича от содержания извести в массе: 1- контрольный состав; 2- 10% извести, 90% золы, 5% гипс; 3- 20% извести, 90% золы, 5% гипс;

4- 30% извести, 90% золы, 5% гипс.

Как видно из рисунка 1, повышение содержания извести увеличивает прочность зольного кирпича. При этом, достаточно 10% CaO в немолотых составах, чтобы прочность зольного кирпича была не ниже контрольного силикатного.

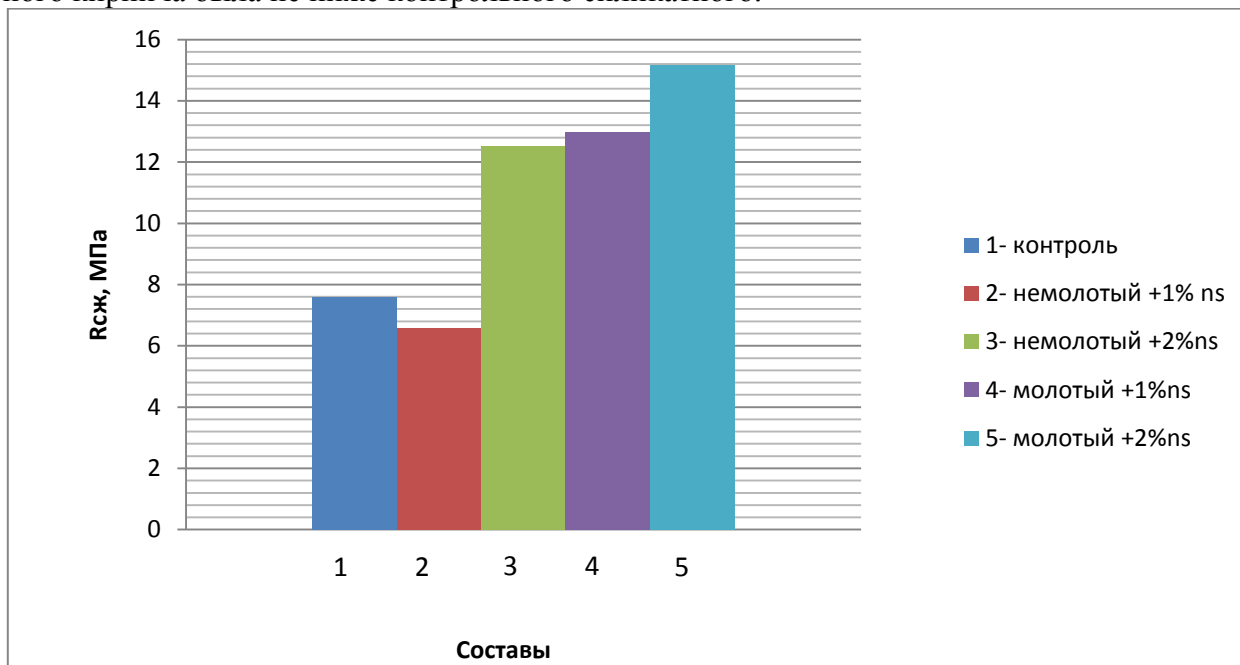


Рисунок 2 - Влияние помола и добавки Na<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> на прочность известково-зольного кирпича:1- контрольный состав; 2- немолотый с добавлением 1% добавки Na<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>; 3- немолотый с добавлением 2% добавки Na<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>; 4 -молотый с добавлением 1% добавки Na<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>; 5- молотый с добавлением 2% добавки Na<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>

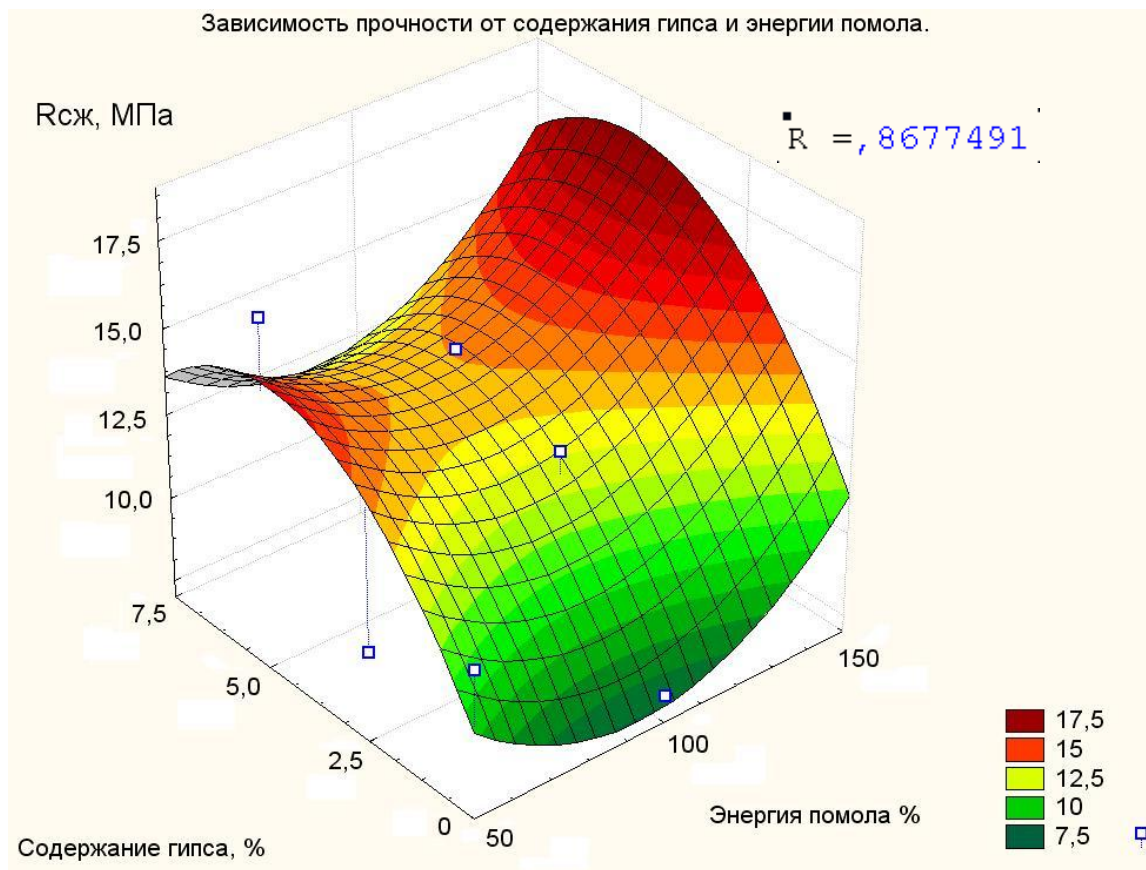


Рисунок 3 - Зависимость прочности известково- гипсо- зольного кирпича от энергии помола вяжущего.

Из рисунке 3 видно что достаточно затратить 50% энергии на помол вяжущего и ввести 5% гипса, чтобы увеличить прочность кирпича с 7МПа (рисунок 1) до 17 МПа. Применение в качестве активизатора  $\text{Na}_2\text{SO}_4$  увеличивает прочность зольного кирпича с 7 до 15 МПа в немолотых составах и до 13-15 МПа в молотых композициях. Однако, активизатор в виде гипса несколько более эффективен.

Таким образом, на основе кислых зол ТЭЦ может быть получен силикатный кирпич марок 75- 150. Учитывая, при этом, что средняя плотность зольного кирпича составляет 1,55- 1,6 т/м<sup>3</sup>, данный стеновой материал будет более теплоэффективным.