

ВЛИЯНИЕ ПРОКАЛЕННОГО АВТОКЛАВНОГО ГАЗОБЕТОНА НА ПРОЧНОСТЬ ЦЕМЕНТНОГО КАМНЯ

Гребенникова В.С., Мизанова О.Ю. – студенты, Овчаренко Г.И. – д. т. н., профессор
Алтайский государственный технический университет им. И.И. Ползунова (г. Барнаул)

В последние годы появился ряд публикаций, показывающий, что такие минеральные добавки, как волластонит, увеличивают прочность цементного камня в пределах 20-30 % в 28 суток. Минерал волластонит нельзя отнести к активным минеральным добавкам и к добавкам со скрытыми вяжущими свойствами. Скорее всего, он влияет на формирование CSH – геля цементного камня за счет своей поверхностной структуры. Это можно объяснить тем, что CSH – гель включает гидросиликаты кальция, относящиеся по структуре к группе волластонита. Основным гидросиликатом кальция в автоклавном газобетоне является тоберморит ($5\text{CaO}\cdot 6\text{SiO}_2\cdot 5\text{H}_2\text{O}$), который при прокаливании после $900\text{ }^\circ\text{C}$ переходит в волластонит. Таким образом, вместо природного волластонита можно рассматривать вариант добавки к цементу искусственного волластонита, полученного прокаливанием автоклавного газобетона.

Цель работы – изучить влияние прокаленного автоклавного газобетона на прочность цементного камня.

В работе использовался автоклавный газобетон Новосибирской фирмы «Сибит». Материал дробился до кусков 10-15 мм, который прокаливался в муфельной печи при температурах 600; 800; 1000 $^\circ\text{C}$ в течение часа. Прокаленный продукт размалывался до полного прохождения через сито № 008 и добавлялся к ПЦ500 Д0 Искитимского цементного завода в количестве 1; 5; 10; 15 %. Из полученного цемента из теста нормальной густоты изготавливались образцы $2\times 2\times 2$ см, которые твердели 7 и 28 суток в нормальных условиях или при ТВО (режим: 3-6-3 часа, $t=60\text{ }^\circ\text{C}$) и ТВО+28 суток.

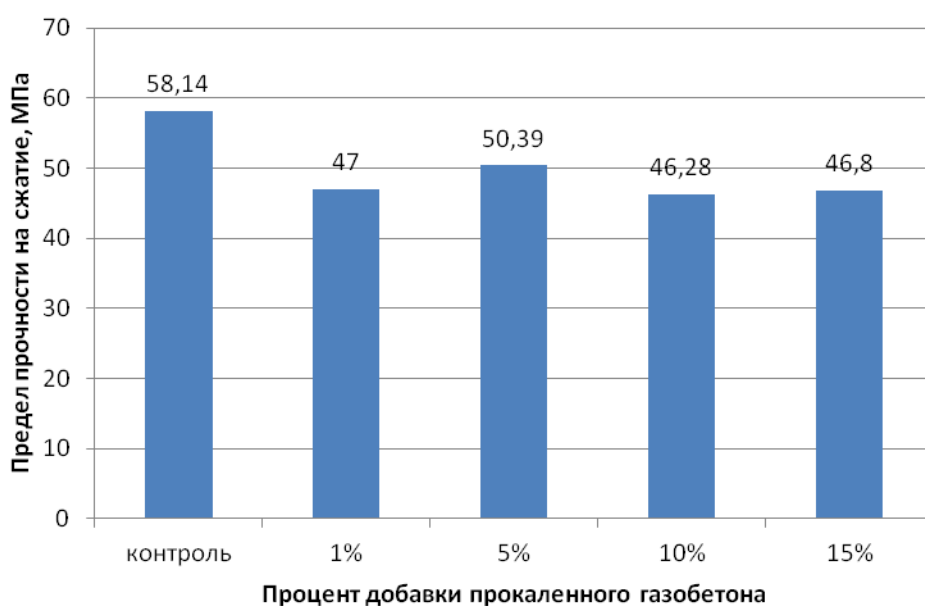


Рисунок 1 – Сравнение предела прочности на сжатие образцов с добавкой прокаленного при $600\text{ }^\circ\text{C}$ и контроля на 28 сутки

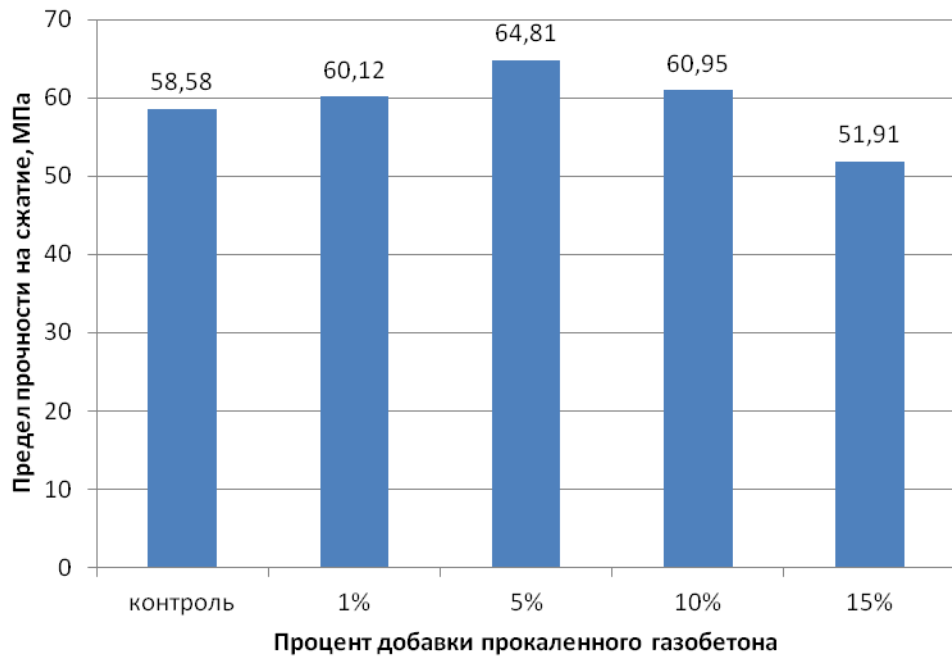


Рисунок 2 – Сравнение предела прочности на сжатие образцов с добавкой прокаленного при 800 С° и контроля на 28 сутки

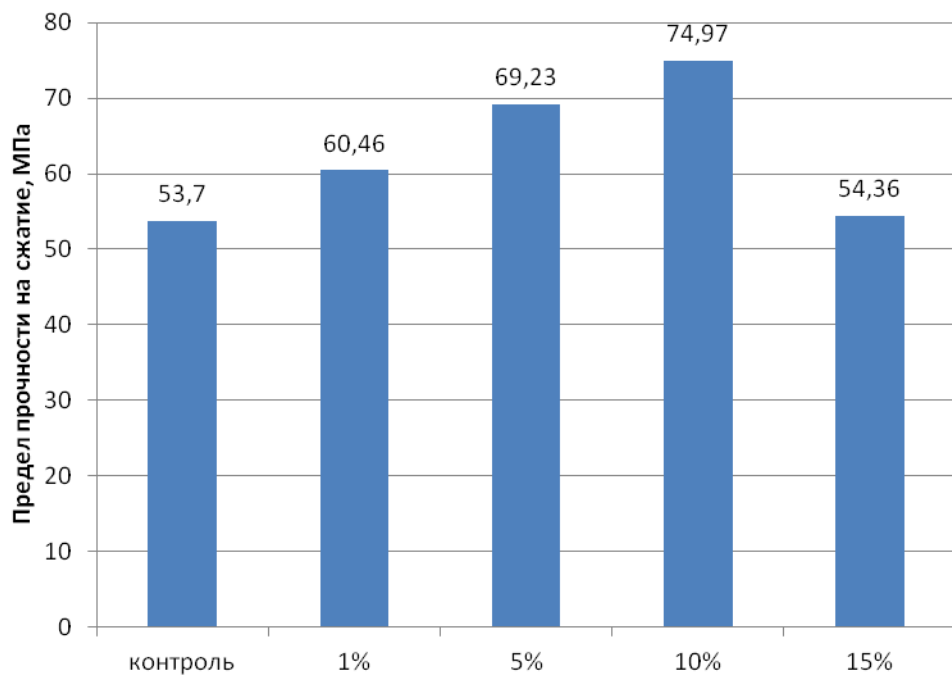


Рисунок 3 – Сравнение предела прочности на сжатие образцов с добавкой прокаленного при 1000 С° и контроля на 28 сутки

На рисунках 1 – 3 приведены гистограммы изменения прочности цементного камня в 28 суток с добавлением газобетона, прокаленного при разных температурах. Из графиков видно, что если при 600 °С не заметно влияние добавки продукта прокаливания, то при 800 °С отмечается некоторое повышение прочности до 5 %, а после 1000 °С – пропорциональное повышение прочности до 40 % при введении добавки до 10 %.

$$R_{сж} = (-0,81) \cdot T^2 + (-0,17) \cdot D^2 + (-0,52) \cdot T \cdot D + (0,17) \cdot T + (2,91) \cdot D + (-34,01)$$

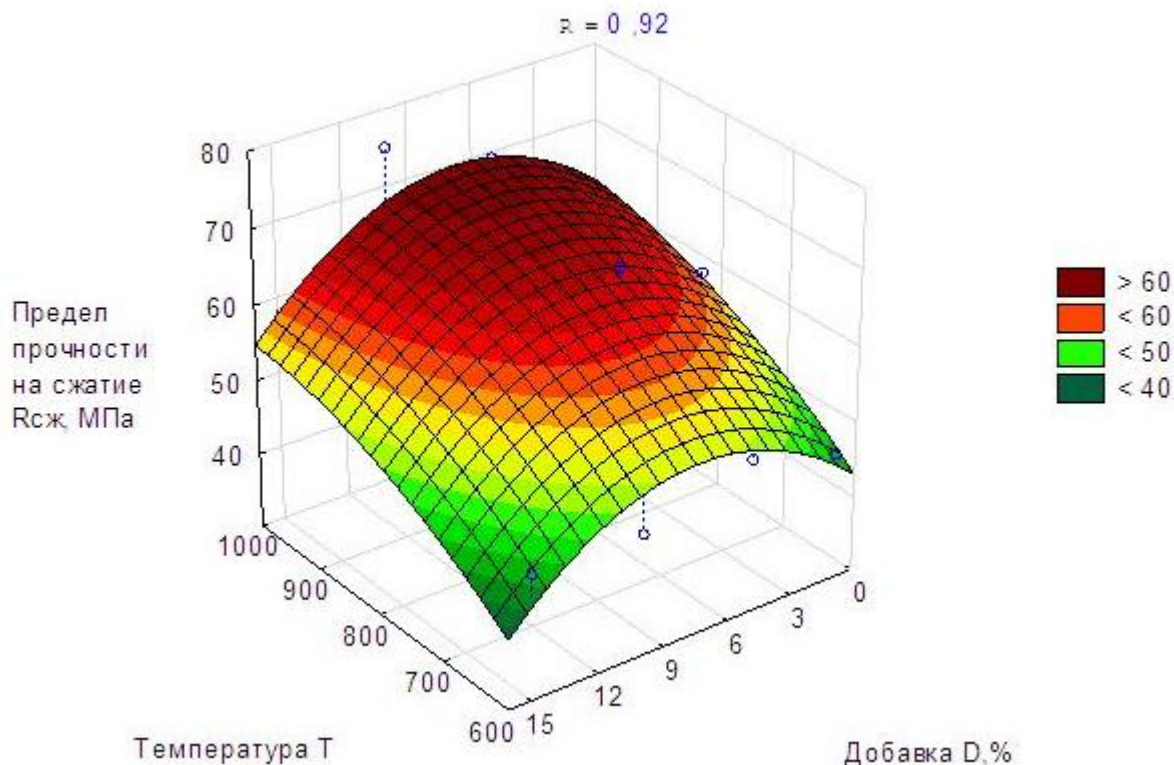


Рисунок 4 – Зависимость изменения прочности цементного камня от температуры прокаливании добавки газобетона и ее количества в нормальных условиях на 28 суток

Из модели рисунка 4 видно, что оптимальное количество добавки прокаленного газобетона находится в интервале 6 – 9 %, а прочность камня возрастает пропорционально температуре прокаливании.

Однако, после ТВО и ТВО+28 нельзя отметить какой-либо закономерности и до 10 % добавки прочность цемента сохраняется.

Подводя итоги исследования, можно сказать следующее: ТВО не оказывает положительного влияния на прочность цементного камня с добавкой прокаленного газобетона, а при нормальных условиях твердения на 28 суток достигается эффект увеличения прочности до 40 %. При этом прочность прямо пропорционально зависит от температуры прокаливании газобетона и достигает наибольших значений при 1000 °С, а оптимальная дозировка добавки находится в интервале от 6 % до 9 %.

ИССЛЕДОВАНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ ПЛАСТИФИЦИРУЮЩИХ ДОБАВОК В ЦЕМЕНТЫ

Баканов В.С., Кондюрин И.О. – студенты, Хижинкова Е.Ю. – к. т. н., доцент
Алтайский государственный технический университет им. И.И. Ползунова (г. Барнаул)

Современное производство бетонных и железобетонных изделий не обходится без модифицирующих добавок, наиболее распространёнными из которых являются пластифицирующие добавки и комплексы на их основе. В связи с высоким спросом на рынке в настоящее время представлено огромное количество производителей, предлагающих различные модификаторы бетона различных механизмов действия, направленности и стоимости. Однако полноценных научных исследований эффективности модификаторов, которые бы позволили потребителям ориентироваться в их многообразии, не проводилось.

Поэтому целью данного исследования являлось изучение влияния пластифицирующих добавок на свойства цемента и анализ экономической эффективности этих добавок.

В качестве сырьевых материалов были использованы: портландцемент М400 Д20 Голухинского цементного завода и пластифицирующие добавки разных производителей, представленных на рынке города Барнаула. В процессе эксперимента комплексные пластифицирующие добавки вводились в минимальной, средней и максимальной дозировках, рекомендованных производителями, и формовались образцы из теста нормальной густоты размером 2х2х2см, которые твердели в нормальных условиях и при тепловлажностной обработке по режиму 3-6-3 при температуре 60°С. Также формовали образцы при неизменном водоцементном соотношении, соответствующему ТНГ контрольного бездобавочного цемента.

На первом этапе эксперимента оценивалось влияние самих добавок на прочность цементного камня без влияния их водоредуцирующего эффекта (рисунки 1, 2).

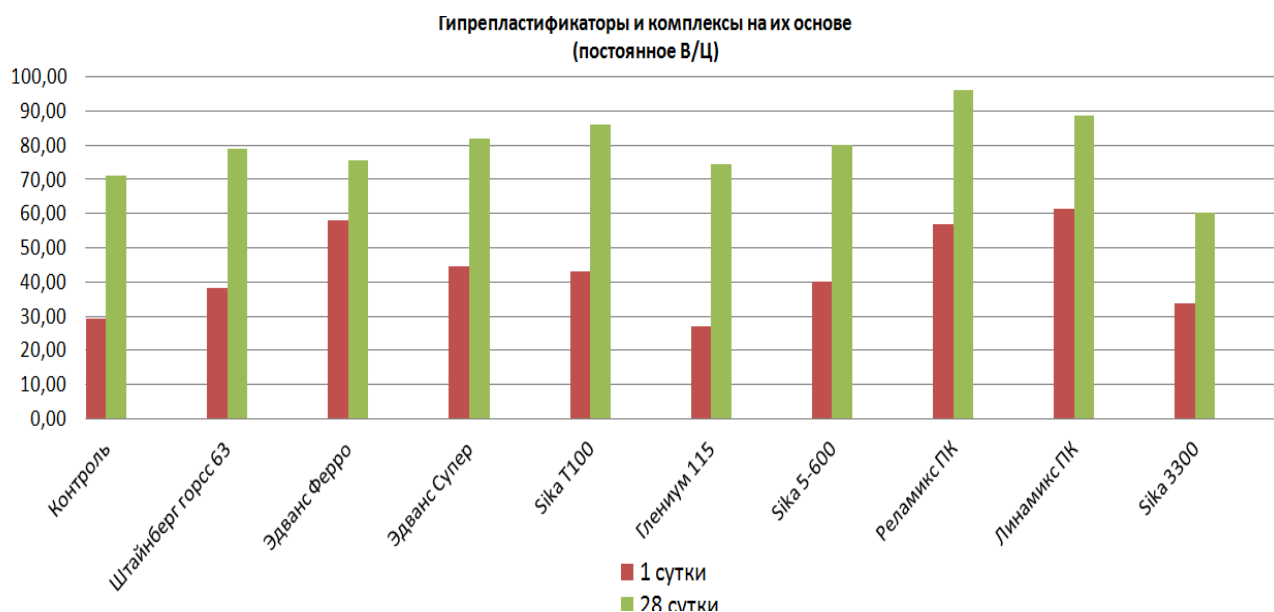


Рисунок 1 - Прочность после ТВО цемента с добавками на основе гиперпластификаторов при постоянном В/Ц отношении

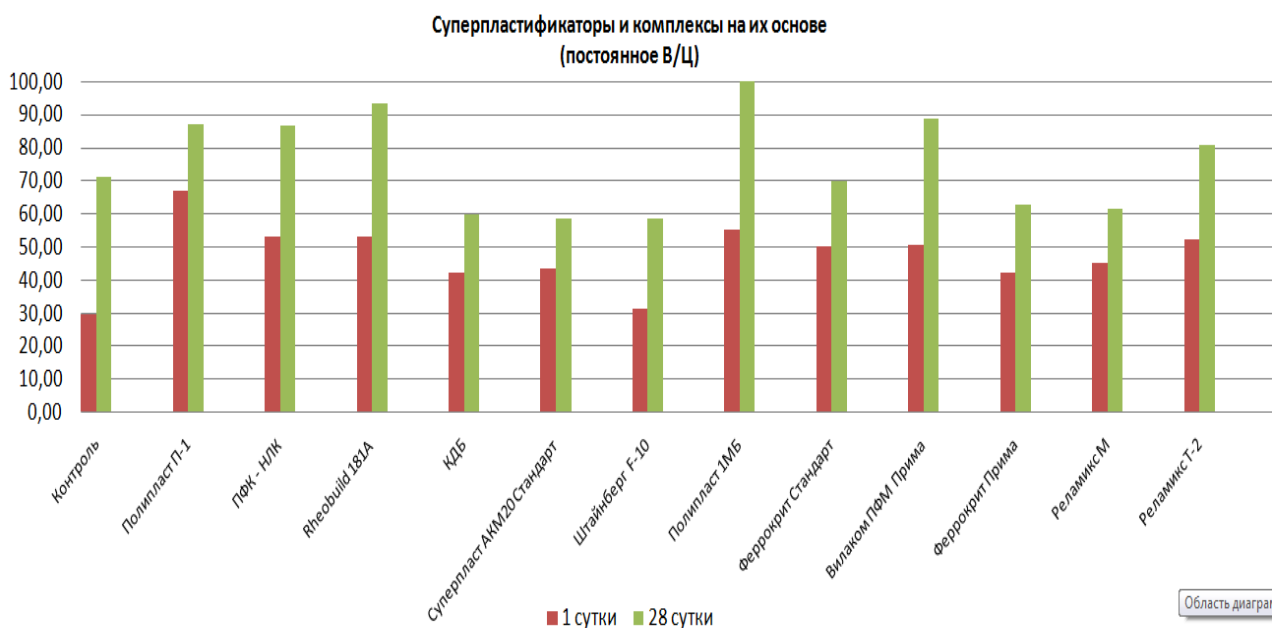


Рисунок 2 - Прочность после ТВО цемента с добавками на основе суперпластификаторов при постоянном В/Ц отношении

Большинство комплексных добавок при неизменном водоцементном соотношении увеличивают прочность как сразу после ТВО, так и на ТВО + 28 суток. Это можно объяснить тем, что в составе комплексных добавках присутствуют не только пластифицирующие компоненты, но и ускорители твердения, стабилизаторы, ПАВ и т. д. Добавки на основе поликарбоксилатов (гиперпластификаторы) в основном показали более высокую прочность относительно контроля (рисунок 1), по сравнению с добавками на основе нафтолинсульфонатов и лингосульфонов (суперпластификаторы) (рисунок 2). При длительном твердении на 28 суток после ТВО у некоторых добавок: Sika 3300, АКМ-20, КДБ, Штайнберг F -10, Ферокрит Прима, Реламикс Т-2 наблюдается снижение прочности относительно контроля.

Далее оценивали водоредуцирующий эффект добавок. Максимальное снижение количества воды затворения (более 20 %) дали Глениум 115 - 27 %, Sika T-100-21,93%, Эдванс Ферро-20,30% (рисунок 3).

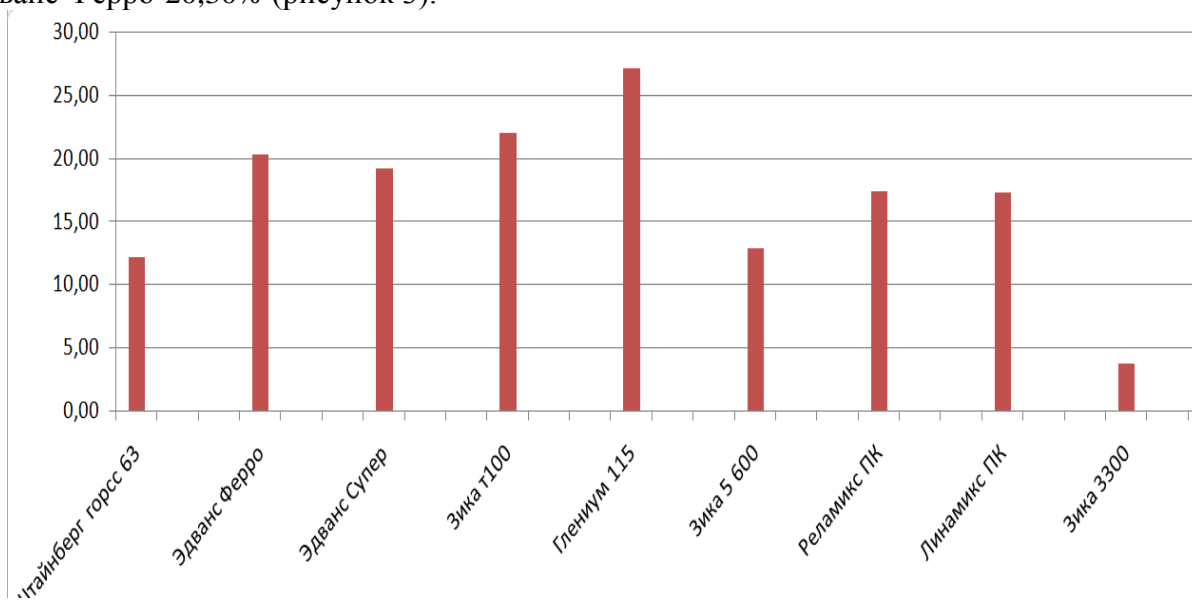


Рисунок 3 - Водоредуцирующий эффект комплексов на основе гиперпластификаторов

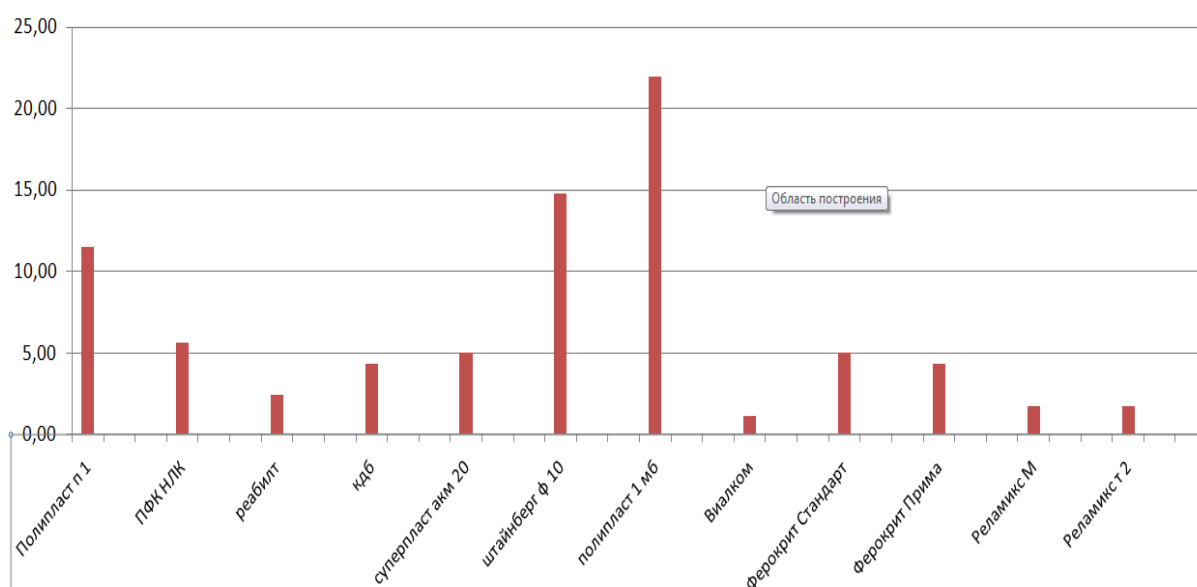
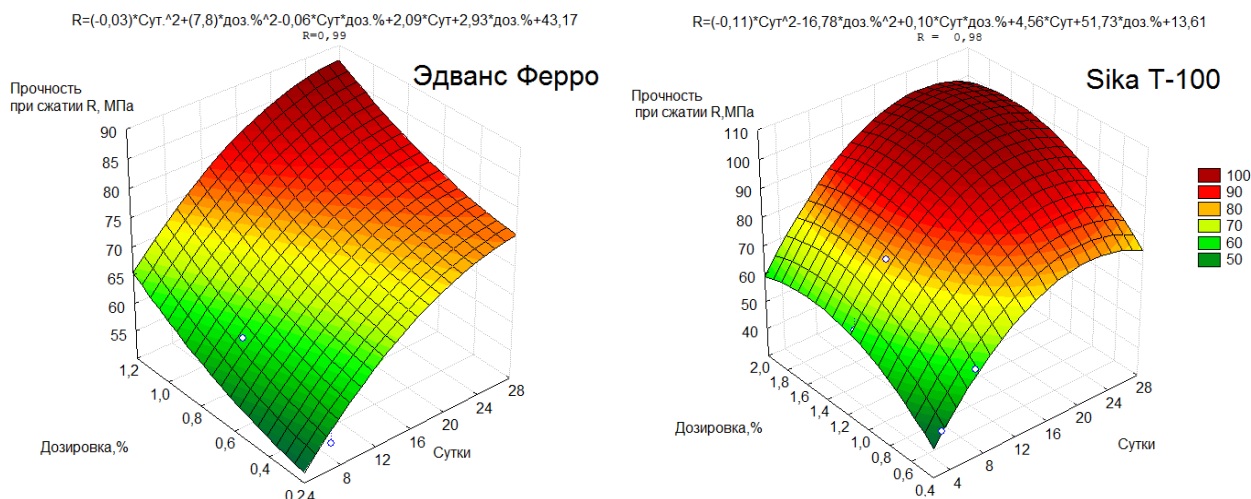


Рисунок 4 - Водоредуцирующий эффект комплексов на основе суперпластификаторов

Как и ожидалось, гиперпластификаторы обладают большим водоредуцирующим эффектом, чем суперпластификаторы. Исключение составляет добавка Полипласт 1мб, которая является комплексом поверхностно-активных натриевых солей метилениссульфо кислоты и кремнеземистого компонента (рисунок 4).

На следующем этапе пластифицирующие добавки вводились в различных дозировках от массы цемента с уменьшением количества воды затворения до теста нормальной густоты. В большинстве случаев с увеличением количества добавки и сроков твердения, увеличивалась прочность при сжатии (рисунок 5). Это объясняется тем, что с уменьшением воды затворения, уменьшается пористость, а следовательно, увеличивает прочность.

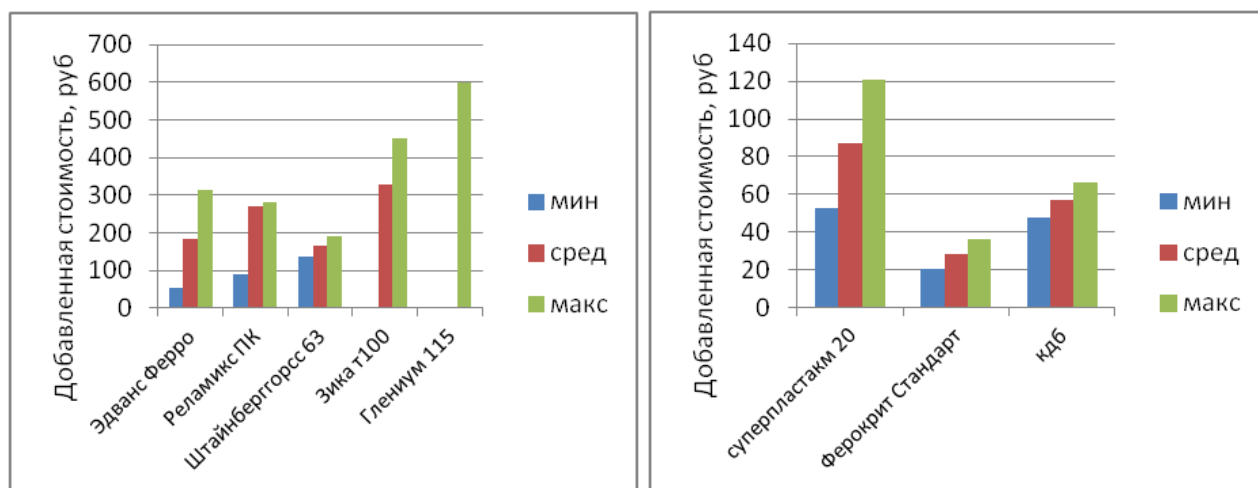


а)

б)

Рисунок 5 – Зависимость прочности цемента при твердении в нормальных условиях от дозировки пластифицирующей добавки
 а) при введении добавки Эдванс Ферро; б) при введении добавки Sika T-100

Далее была посчитана экономическая эффективность применения пластифицирующих добавок (рисунок 6). Были выбраны несколько добавок, дающих наибольший прирост прочности при минимальной, средней и максимальной концентрации добавки, рекомендованной производителем. Ниже приведены затраты в рублях на квадратный метр цемента, с выбранными пластификаторами, при разном проценте добавки.



а)

б)

Рисунок 5 – Увеличение стоимости 1 м³ бетона (руб) при введении пластифицирующих добавок в различной дозировке
 а) на основе гиперпластификаторов; б) на основе суперпластификаторов

На основе этого можно сделать вывод, что по показателю цена/качество наиболее эффективными из суперпластификаторов являются добавки Ферокрит Стандарт, КДБ. А в классе гиперпластификаторов - Штайнберг Гросс, Эдванс Ферро, Реламикс ПК.

Таким образом, проанализировав влияние большого количества разнообразных пластифицирующих добавок, можно дать следующие рекомендации. Наибольшую конечную прочность при сжатии в нормальных условиях позволяют получить добавки Sika T-100, Sika 3300, Полипласт П-1; а в после пропаривания - Glenium 115, Sika 5-600, Ферокрит Прима. Высокую начальную прочность при сжатии в нормальных условия твердения показали образцы с добавками Эдванс Ферро, Реламикс ПК и Штайнберг F-10. После пропаривания лучшие результаты у добавок - Штайнберг Гросс, КДБ, Sika T-100. Высокая начальная прочность этих добавок объясняется тем, что в состав этих добавок входят ускорители твердения.

ВЛИЯНИЕ ТОНКОМОЛОТОГО ДОМЕННОГО ГРАНУЛИРОВАННОГО ШЛАКА НА ПРОЧНОСТЬ СМЕШАННОГО ЦЕМЕНТА

Веселкова М.П., Бякин О.С. – студенты, Овчаренко Г.И. – д. т. н., профессор
Алтайский государственный технический университет им. И.И. Ползунова (г. Барнаул)

Применение доменного гранулированного шлака (ДГШ) в цементном производстве известно уже около 100 лет. В настоящее время достаточно подробно изучены свойства как шлакопортландцементов, так и портландцементов с добавкой доменного гранулированного шлака.

Доменный гранулированный шлак относится к группе добавок со скрытыми вяжущими свойствами. Особенности структуры стекла доменного гранулированного шлака показывают, что в нем содержится повышенного количества диортогрупп Si_2O_7 которые в то же время являются основными структурными элементами фазы С-S-H цементного камня.

В связи с этим возникает предположение о том, что тонкая и сверхтонкая диспергация частиц стекла доменного гранулированного шлака может активно влиять на формирование фазы С-S-H.

В настоящей работе мы изучали влияние тонкоизмельченного доменного гранулированного шлака Западно-Сибирского металлургического комбината г. Новокузнецка как добавки к ПЦ500 Д0 производства Искитим.

Доменный гранулированный шлак размалывали в фарфоровой мельнице в течении 2-4-6 часов. Характеристики помола приведены в таблице 1, из которой видно, что уже после 4 часов помола на сите 008 практически не остается остатка.

Таблица 1 – Характеристика молотого ДГШ

Часы помола	2	4	6
$S_{уд}$, см ² /г	1350	1900	3300
Остаток на сите 008, %	3,74	0,26	0,1

Помолотый доменный гранулированный шлак в количестве 10, 20, 30, 40, 50 % добавлялся к ПЦ М500 Д0, готовилось тесто нормальной густоты из которого формовались кубики размером 20*20*20мм. Заформованные образцы твердели в НУ в течении 28 суток. Испытания на прочность проводились на 2-7-28 сутки. Так же проводилась тепло влажностная обработка образцов в режиме 3-6-3 при 60° С. За контроль принимался портландцемент ПЦ500 Д0.

В отдельные составы для активизации вводили 1-2% Na_2SO_4 .

Как показано на рисунке 1, чем больше процент шлака в смеси, тем медленнее происходит активизация. Более тонкий помол показывает худший результат. На рисунке 2

видно, что цемент с добавлением тонкомолотого шлака набрал существенную прочность при сжатии, но все еще уступает. В результате таких показателей, было целесообразно затворять цементное тесто раствором воды вместе с Na_2SO_4 , это должно было ускорить твердение.

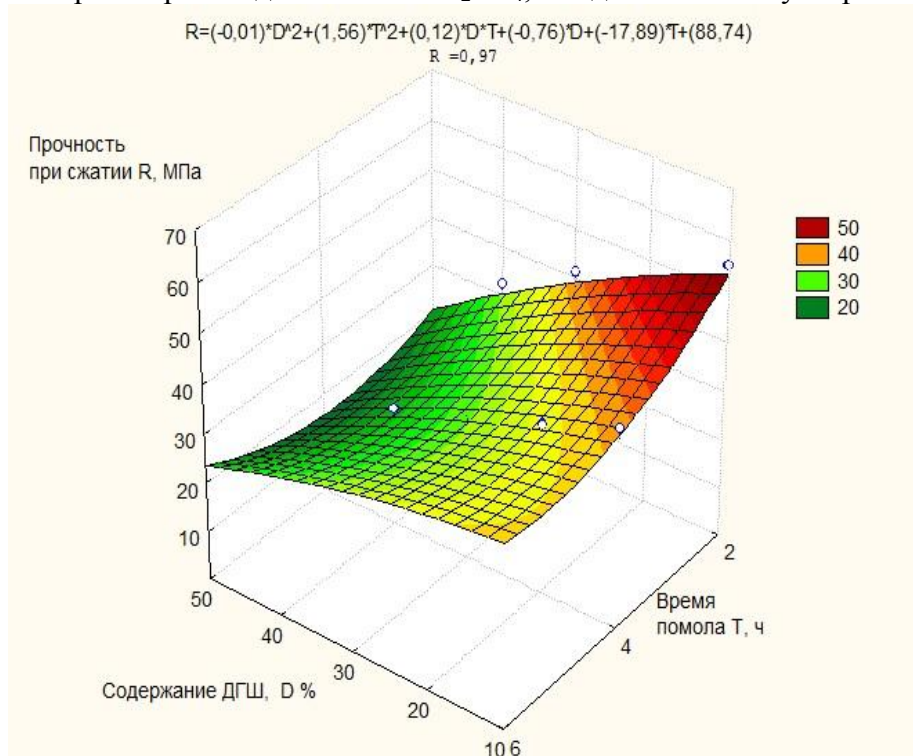


Рисунок 1 - Зависимость прочности при сжатии на 2 сутки твердения (нормальные условия)

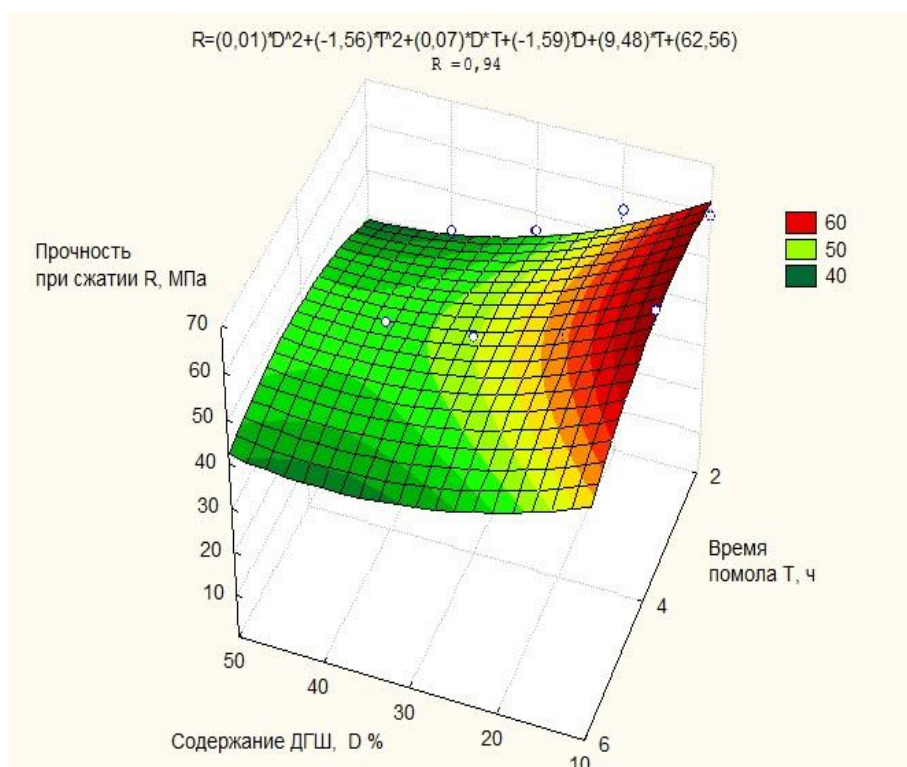


Рисунок 2 - Зависимость прочности при сжатии на 28 сутки твердения (нормальные условия)

На ранних стадиях с увеличением процентного содержания ДГШ (доменный гранулированный шлак) прочность существенно падает, но к 28 суткам возрастает и лишь немного отличается от контроля. Активизация шлака без добавки Na_2SO_4 происходит медленно. Тонкость помола практически не влияет на прочность. Если затворять цементное

тесто водой с содержанием Na_2SO_4 (как показано на рисунке 3 и рисунке 4), активизация смеси шлака с ПЦ происходит существенно быстрее, но дают прочность несколько меньше, чем смеси без солей. Также в силу вступает тонкость помола, с добавлением солей более тонкий помол быстрее активизируется и имеет большую прочность. Процентное содержание шлака в смеси на поздних сроках практически не отличается по прочности как с солями так и без них.

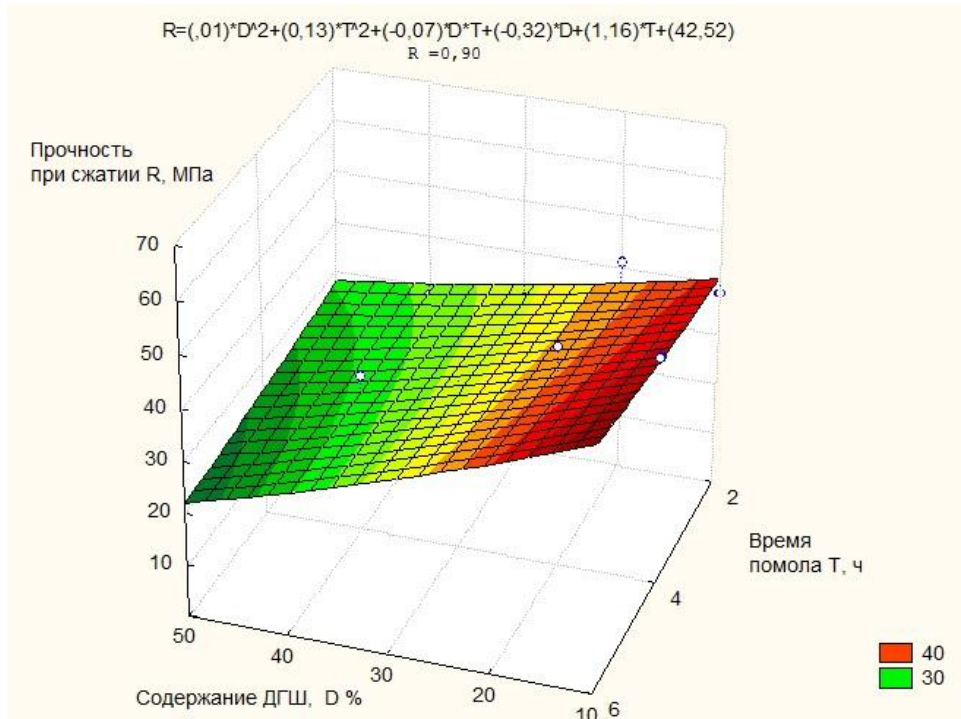


Рисунок 3 - Зависимость прочности при сжатии на 2 суток (НУ)+2 % Na_2SO_4

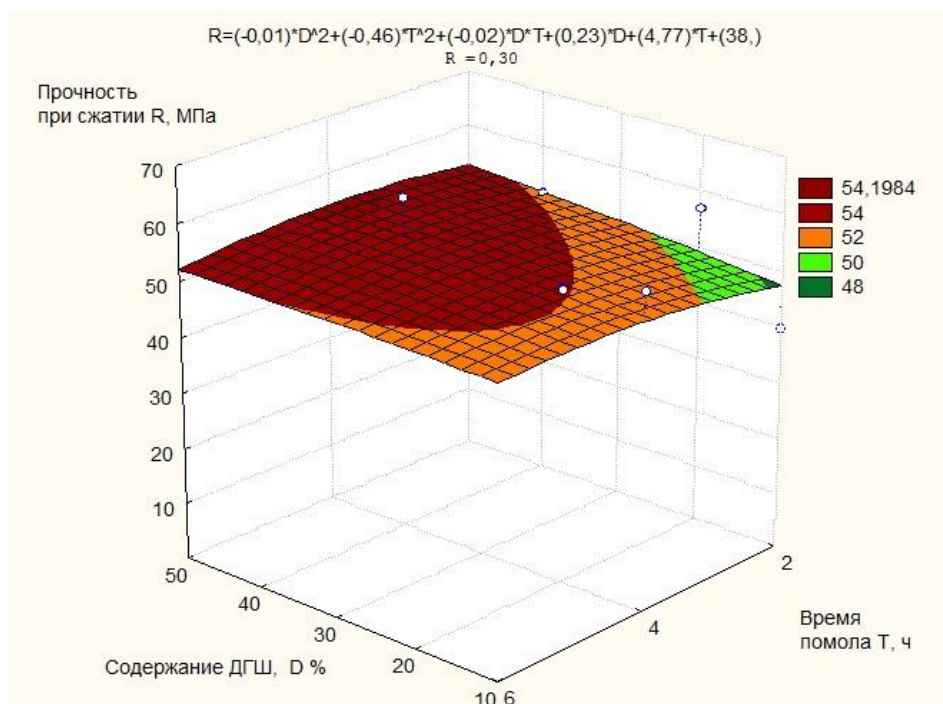


Рисунок 4 - Зависимость прочности при сжатии на 28 суток (НУ)+2 % Na_2SO_4

ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ МИКРОЗАПОЛНИТЕЛЕЙ НА ПРОЧНОСТЬ ЦЕМЕНТНО-ПЕСЧАНОГО РАСТВОРА С ПРИМЕНЕНИЕМ ГИПЕРПЛАСТИФИЦИРУЮЩИХ ДОБАВОК.

Алсараев Н.С., Кутявин С. Ю. – студенты, Овчаренко Г. И. – д.т.н., профессор
Алтайский государственный технический университет им. И.И. Ползунова (г. Барнаул)

Самоуплотняющимся называется бетон, способный не расслаиваясь заполнять форму в точности повторяя заданный контур без дополнительного уплотнения.

В XXв. японским ученым Окамурой впервые был открыт такой вид бетона, как самоуплотняющийся. В его составе использовалась в качестве микрозаполнителя каменная мука. В нашем регионе актуальны другие микрозаполнители. К тому же, на рынке существует множество различных пластификаторов. Поэтому целью нашего исследования является влияние микрозаполнителей на прочность цементного камня с применением гиперпластифицирующих добавок.

В качестве сырьевых материалов для нашего исследования использовались: портландцемент М400 Д20 Голухинского цементного завода. В качестве заполнителя применялись обской песок ($M_{кр}=1,2$). В качестве микрозаполнителя использовались высококальциевая зола (ВКЗ) ТЭЦ-3 г. Барнаула, кислая зола (КУЗ) ТЭЦ-5 г. Новосибирск : высококальциевая зола ТЭЦ-3 г. Барнаул, кислая зола (КУЗ) ТЭЦ-5 г. Новосибирск и кварцевый песок, вводимые в состав смеси в количестве 30 %, 40 % и 50 % от массы цемента с частичной его заменой. В качестве пластифицирующих добавок использовались гиперпластификаторы на основе поликарбоксилатных эфиров: GLENIUM 115 фирмы BASF и Sika ViscoCrete T100, вводимые в состав смеси в количестве 0,5 %, 1 % и 1,5 % от массы цемента.

Испытания проводились на цементно-песчаных образцах-балочках размерами 4×4×16 см. Образцы набирали прочность при тепловлажностной обработке по режиму: 3-6-3 при 60 °С: 3 часа - набор температуры до 60 °С + 6 часов выдержка при температуре 60 °С + 3 часа – понижение температуры до 23 °С Балочки подвергались испытаниям на прочность на изгиб и на сжатие через 2 часа после ТВО и после 28 суток твердения в камере нормальных условий.

В начале нашей работы использовалось 54 состава и 9 составов в качестве эталонных без введения в состав смеси гиперпластификатора.

После тепловлажностной обработки все образцы с добавлением пластифицирующей добавки Glenium 115 показали повышение прочности на 30 - 50 % от эталонной. Образцы с ВКЗ показали большую прочность (рисунок 1).

Использование пластификатора Sika T100 показало, что после тепловлажностной обработки прочность образцов с ВКЗ снизилась в среднем на 30 %. У образцов с КУЗ и кварцевым песком наблюдается повышение прочности на 10 - 60 % от эталонной (рисунок 2).

На 28е сутки образцы с Glenium 115 показали рост прочности на 20 - 75 % от прочности образцов, прошедших тепловлажную обработку и на 30 – 40 % от эталонных. Образцы с кварцевым песком в большей степени показали рост прочности. Образцы с Sika T100 на 28 сутки показали повышение прочности на 30 – 75 % от прочности образцов после тепловлажной обработки и 25 – 40 % от эталонных.

Таким образом, с Glenium 115 целесообразно использовать в качестве микрозаполнителя ВКЗ, так как прочность таких образцов, уже на ранних стадиях была выше, чем с другими микрозаполнителям на 30 -70%, на 28 сутки – на 15 – 60 %. В качестве микрозаполнителя в составе вяжущего с Sika T100 целесообразно применять КУЗ, на ранних стадиях прочность образцов примерно не отличается от ВКЗ, и выше на 30 - 60 % чем у образцов с кварцевым песком. На 28 сутки прочность на 10 – 30 % выше прочности образцов с другими микрозаполнителями.

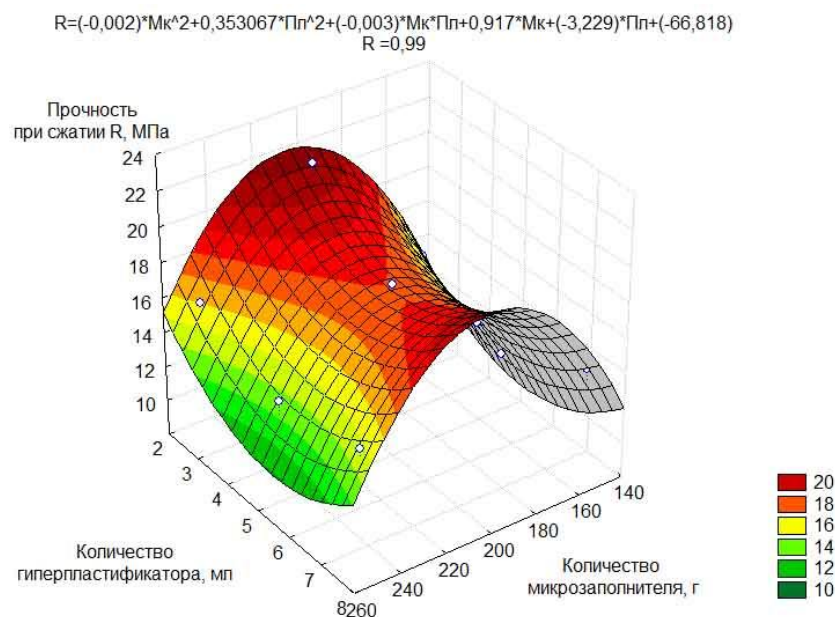


Рисунок 1 – Зависимость прочности на сжатие от дозировки ВКЗ и Glenium115

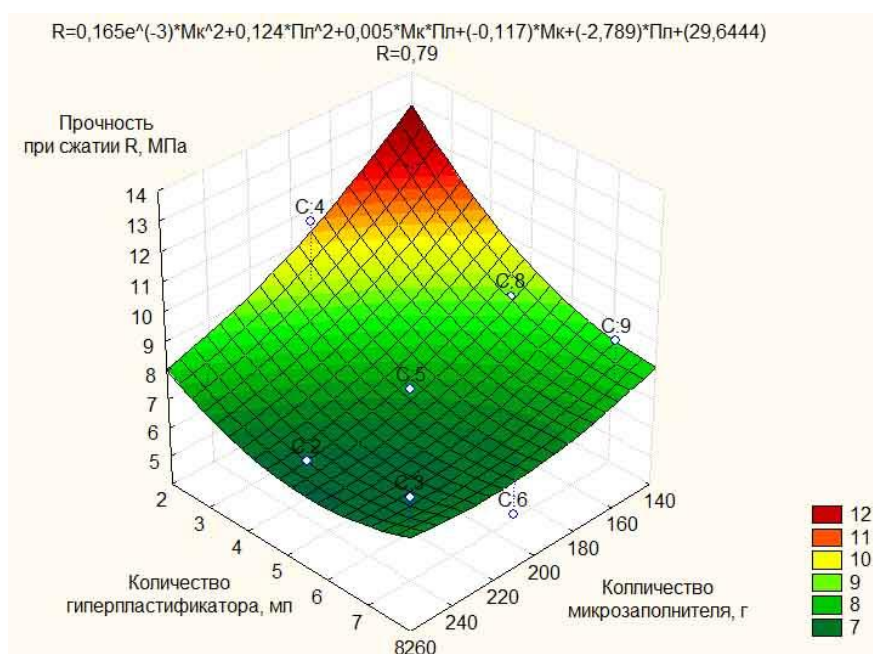


Рисунок 2 – Зависимость прочности при сжатии от дозировки ВКЗ и Sika T100.

СРАВНИТЕЛЬНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ СВОЙСТВ ИЗВЕСТКОВО-ЗОЛЬНОГО АВТОКЛАВНОГО КАМНЯ РАЗЛИЧНОЙ ОСНОВНОСТИ

Головатенко Е.В., Пахомов А.В. – студенты, Овчаренко Г.И. – д. т. н. профессор
Алтайский государственный технический университет им. И.И. Ползунова (г. Барнаул)

Полная переработка кислых золошлаковых отходов ТЭЦ часто осуществляется с производством из них материала типа силикатного кирпича. Учитывая то, что золошлаковые отходы являются не кварцевым алюмосиликатным сырьем, возникают вопросы о том, какие формируются фазы в автоклавном материале и как эти фазы влияют на его свойства.

Целью работы является исследование влияния фаз, образующихся в известково-зольном камне, на свойства автоклавного материала.

В эксперименте использовали кислую золу (КУЗ) Новосибирской ТЭЦ5 от сжигания каменного угля Кузбаса; товарную известь I сорта с содержанием активных CaO и MgO в

количестве 97 % ; добавку-активизатор Na_2SO_4 ; доменный гранулированный шлак (ДГШ) ЗапСиб; активизатор NaOH ; в качестве укрупняющей добавки для приготовления контрольных известково-кварцевых образцов – кварцевый песок.

В ходе эксперимента изготавливались известково-зольные образцы-цилиндры диаметром и высотой 50 мм по стандартной для силикатного кирпича технологии, с содержанием извести по массе 20 и 50 % . Образцы запаривались в автоклаве при давлении 1 МПа в течение 50 или 80 часов. Контрольные образцы изготавливались из молотой извести и кварцевого песка по той же технологии и запаривались в автоклаве в течение 10 часов.

Как показано в [1], при автоклавировании в течение 50 – 100 часов композиции из 20 % извести + 80 % кислой золы, в камне примерно в равных количествах формируется Al – замещенный тоберморит и C-A-S-H – гель. Добавление в систему Na_2SO_4 приводит к почти полной кристаллизации C-A-S-H в Al – замещенный тоберморит. Прочность автоклавного камня определяется содержанием геля C-A-S-H, а не тоберморита. Для получения только C-A-S-H – геля ДГШ активизировали 3 % NaOH и запаривали в автоклаве при 1 МПа в течение 10 часов. В работе [2] показано, что фазовый состав камня из высокоосновной ($K_{\text{осн.}}=1,5$) известково-зольной композиции после автоклавирования в течение 50 часов изотермы при 1,0 МПа представлен гелевидной фазой C-A-S-H, альфа-гидратом $\text{C}_2\text{SH(A)}$ и тоберморитом, при этом с увеличением времени автоклавирования содержание фаз $\text{C}_2\text{SH(A)}$ и тоберморита растет, а гелевидной фазы – уменьшается. Поэтому нами выбраны аналогичные системы, для сопоставления свойств автоклавного камня.

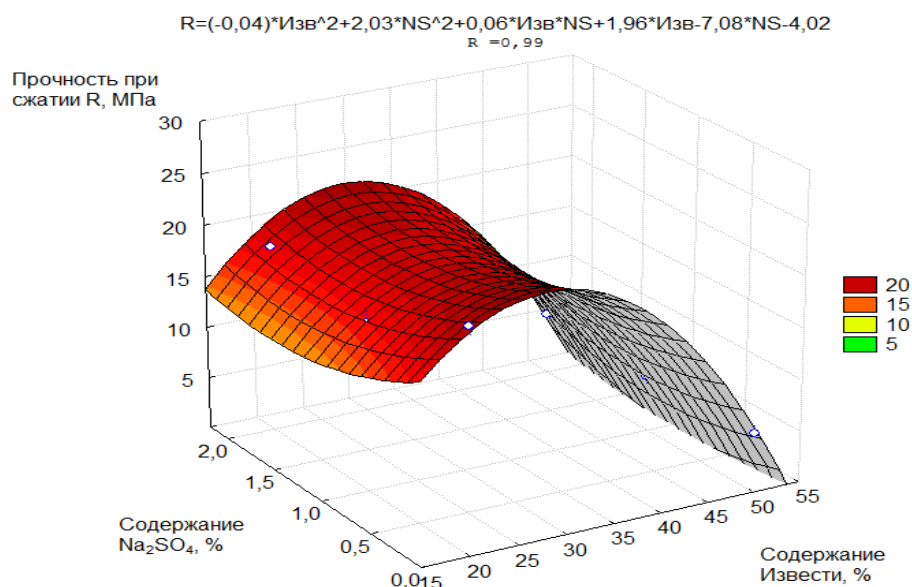


Рисунок 1 - Зависимость прочности при сжатии от количества извести и добавки Na_2SO_4

Как видно из графика представленного на рисунке 1, с увеличением содержания извести прочность автоклавированного камня падает. Это объясняется тем, что в системе КУЗ + известь содержание известкового компонента в количестве 50 % приводит к образованию высокоосновных гидросиликатов кальция $\text{C}_2\text{SH(A)}$ при длительном времени изотермы, которые, в свою очередь, имеют низкие прочностные характеристики и высокую пористость, что подтверждается высоким водопоглощением в сравнении с другими составами. Состав КУЗ + известь (80/20 %) имеет высокую прочность, 21,7 МПа, в связи с тем, что представлен преимущественно низкоосновными гидросиликатами кальция. Так же высокая прочность характеризуется большим содержанием гелевидной фазы, что подтверждается сопоставимыми прочностными характеристиками состава C-A-S-H – 18,8 МПа (рисунок 2). Прочность камня из указанных смесей прямо пропорциональна содержанию гелевидной фаз C-A-S-H и обратно пропорциональна содержанию фазы $\text{C}_2\text{SH(A)}$ и тоберморита.

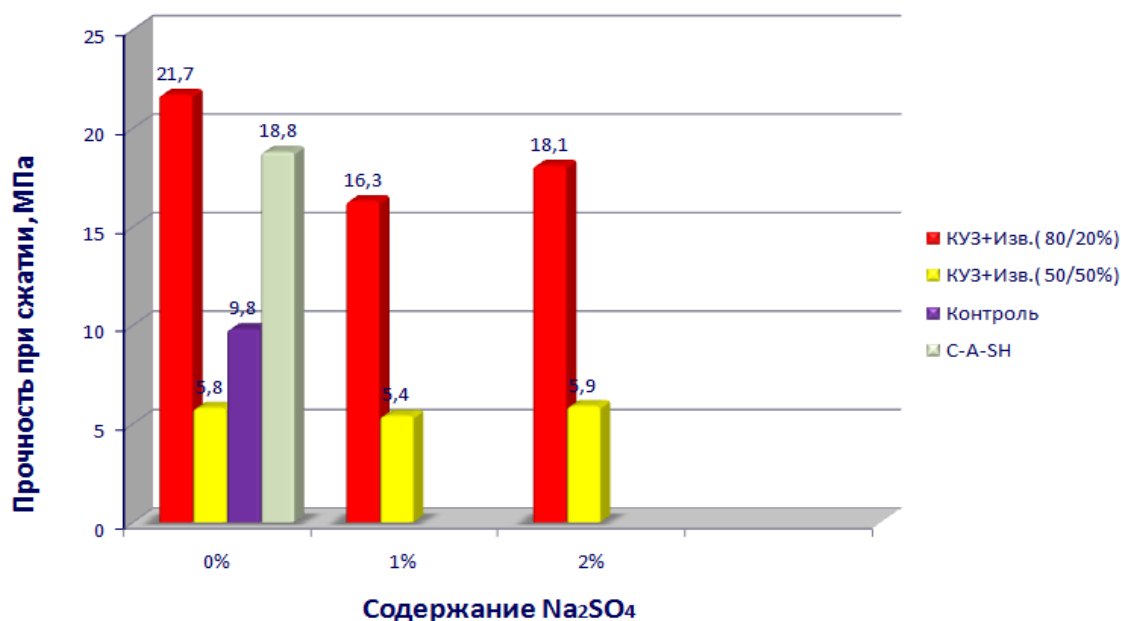


Рисунок 2 - Зависимость прочности при сжатии от состава автоклавного камня

Содержание в системах КУЗ + известь добавки Na₂SO₄ не оказывает большого влияния на прочность составов, после столь длительной изотермической выдержки.

Анализируя график представленный на рисунке 3 можно сделать вывод о том, что преобладание гелеведной фазы в камне позволяет получить более плотную структуру, что подтверждается значениями водопоглощения состава C-A-S-H, при этом прочность материала высокая. Однако, преобладание содержания высокоосновных гидросиликатов создает в камне более рыхлую, менее плотную структуру камня, водопоглощение достигает 40 %, прочность при этом низкая.

Таким образом, сравнительные исследования свойств автоклавного камня разного фазового состава показывают, что важной фазой в таких материалах должна быть гелевидная фаза C-A-S-H. Тогда камень обладает высокой плотностью, прочностью и морозостойкостью. Присутствие кристаллических фаз, тоберморита и, особенно, α – гидрата C₂S, значительно ухудшает свойства камня.

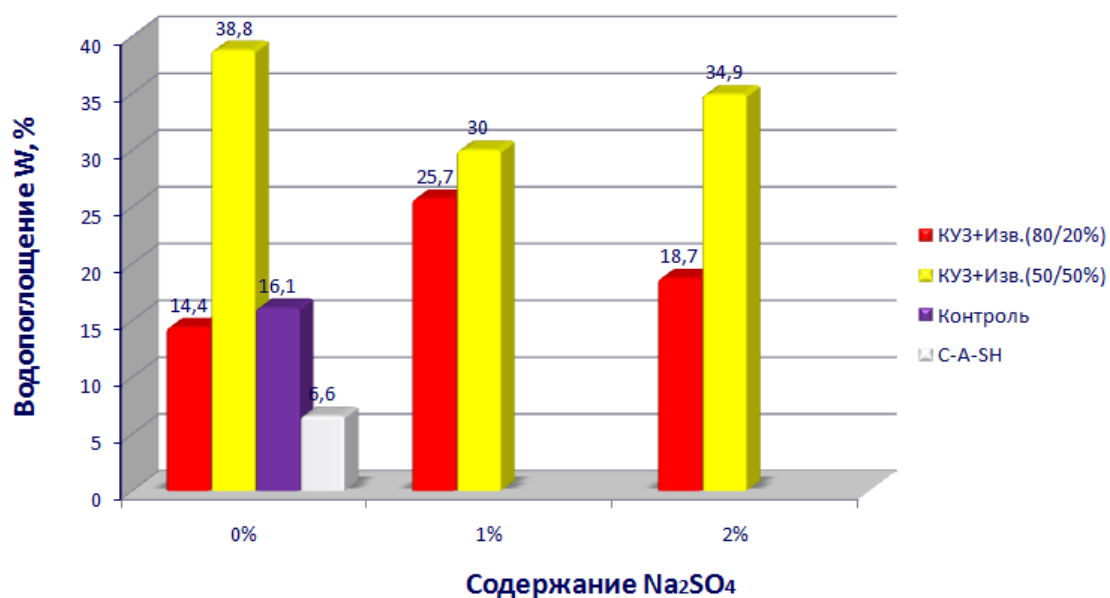


Рисунок 3 - Зависимость водопоглощения от состава автоклавного камня

Список литературы

- 1 Овчаренко Г.И. Фазовый состав и прочность силикатного камня из известково-зольных масс на основе кислой золы /Г.И. Овчаренко, Д. И. Гильмияров// Ползуновский вестник. Строительство – 2012, февраль - № 1
- 2 Овчаренко Г.И. Взаимосвязь прочности и фазового состава автоклавного известково-зольного камня повышенной основности /Г.И. Овчаренко, А.А. Михайленко// Ползуновский вестник. Строительство – 2014, февраль - № 1

ВЛИЯНИЕ АКТИВНЫХ МИНЕРАЛЬНЫХ ДОБАВОК НА ПРОЧНОСТЬ ЗОЛО-ПУЦЦОЛАНОВОГО АВТОКЛАВНОГО МАТЕРИАЛА.

Горшкова М.С., Шакин Д.А. – студенты, Овчаренко Г.И. – д.т.н., профессор,
Бортникова О.В. - ассистент

Алтайский государственный технический университет им. И.И. Ползунова (г. Барнаул)

В настоящее время снова становится актуальной проблема полной переработки зол и золо-шлаковых отходов ТЭЦ в связи с тем, что энергогенерирующие компании не могут бесконечно повышать тарифы на тепловую и электрическую энергию, а переработка ЗШО в полезный продукт улучшает экономику работы ТЭЦ. Наиболее выгодно перерабатывать высококальциевые отходы ТЭЦ в автоклавные материалы, так как тогда не требуется применять товарную известь или другие вяжущие. Однако такой способ производства материала требует предварительного гашения свободной извести в золе, что значительно усложняет технологию. Поэтому в настоящей работе нами исследованы различные активные минеральные добавки с целью производства материала без предварительного гашения высококальциевой золы.

В работе использовалась высококальциевая зола (ВКЗ) ТЭЦ-3 г. Барнаула, полученная от сжигания бурого угля Канско-Ачинского месторождения с содержанием свободной извести 2,7 %. В качестве активной минеральной добавки были применены: микрокремнезем (МК) Новокузнецкого завода ферросплавов, высокоактивный метакаолин производства компании «Синерго» (г. Магнитогорск), цеолитовый туф Лютогского месторождения (о.Сахалин), опока Балашейского месторождения (Самарской области), каменноугольная зола (КУЗ) Новосибирской ТЭЦ - 5 от сжигания газового угля Кузбасса. В качестве добавки - активизатора применяли 1 - 3 % NaCl. ВКЗ предварительно размалывалась при трех энергиях помола (Е) 50, 100, 150 % от стандартного помола клинкера на цемент. Образцы-цилиндры размером 50x50 мм прессовали под удельным давлением 20 МПа и запаривали при 1,0 МПа в течении 8 часов.

Как уже было выяснено ранее [1], главной проблемой при использовании высококальциевых зол в качестве вяжущего считается устранение деструктивных явлений за счет позднего гашения пережженного свободного СаО. Деструктивные явления зависят от синхронизации процессов гидратации свободного СаО и отвердевания вяжущей композиции, а также от скорости этих процессов. В нашем случае при запарке в автоклаве избежать деструктивных процессов в плотном камне без специальных мероприятий не удастся. Поэтому мы используем добавку-активизатор NaCl для ускорения процесса гидратации свободной извести золы. Свободная известь золы превращается в СаCl₂, который в дальнейших реакциях гидратации взаимодействует с алюминатной и алюмоферритной фазами. При этом будет ускоряться гидратация СаОсв золы, и высвобождаются щёлочь NaOH:

$$\text{NaCl} + \text{CaO}_{\text{отк}} + x\text{CaO}_y\text{Al}_2\text{O}_3 + \text{H}_2\text{O} \rightarrow \text{C}_3\text{A} \text{ CaCl}_2 \cdot 12\text{H}_2\text{O} + \text{NaOH}$$
, которая является активизатором автоклавных процессов, способствует повышению прочности камня. Помол золы с целью вскрытия частиц свободного СаО и их измельчения, изготовление изделий ячеистой структуры способствуют снижению деструктивных явления. Для эксперимента мы взяли 7 составов, указанных на рисунках 1 - 3.

Из рисунков 1 - 3 видно, что самым эффективным является помол при 50 и 100 %. При этих энергиях помола составы показали хорошую и стабильную прочность. При энергии помола 150 прочность составов уменьшается, за исключением составов с микрокремнеземом. Также мы видим влияние на составы добавки-активизатора. Оптимальным является введение 2 - 3 % NaCl.

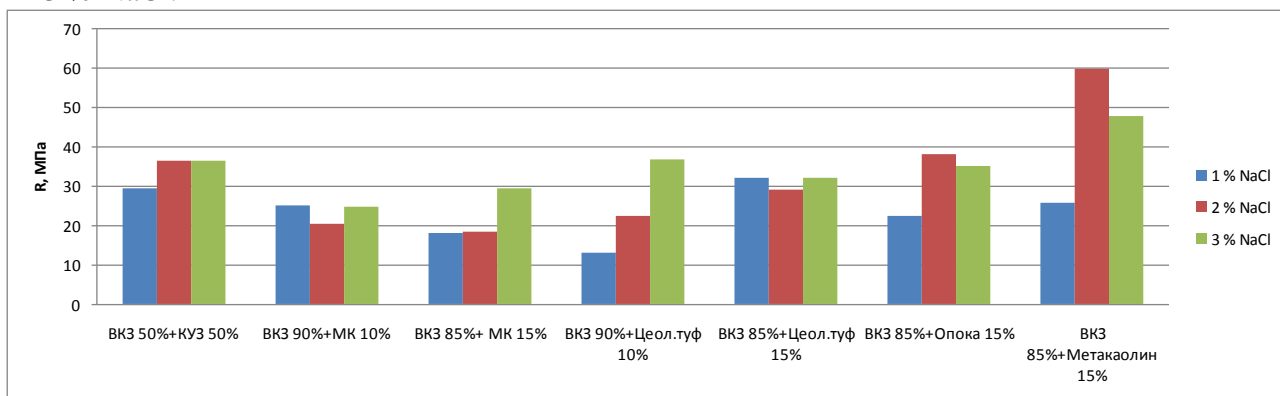


Рисунок 1 - Зависимость прочности от процентного содержания NaCl в составах с различными минеральными добавками при энергии помола 50 %

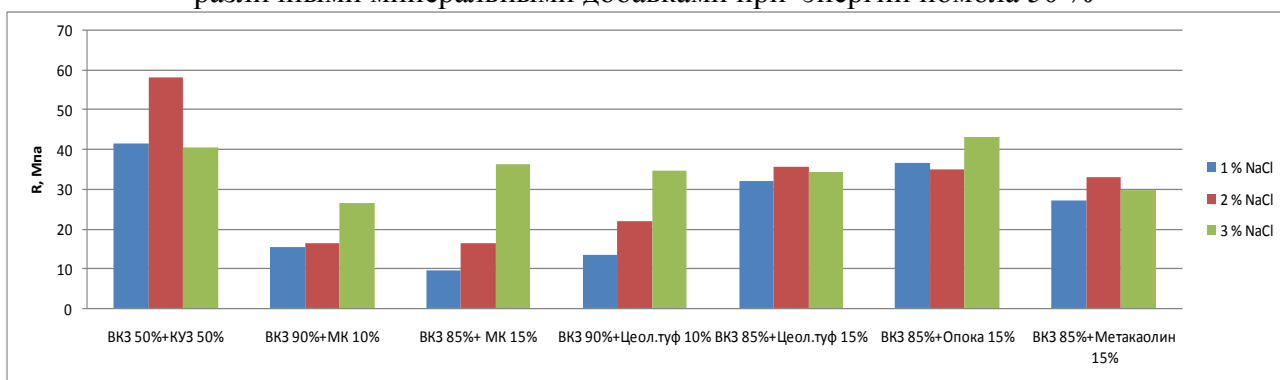


Рисунок 2 - Зависимость прочности от процентного содержания NaCl в составах с различными минеральными добавками при энергии помола 100%

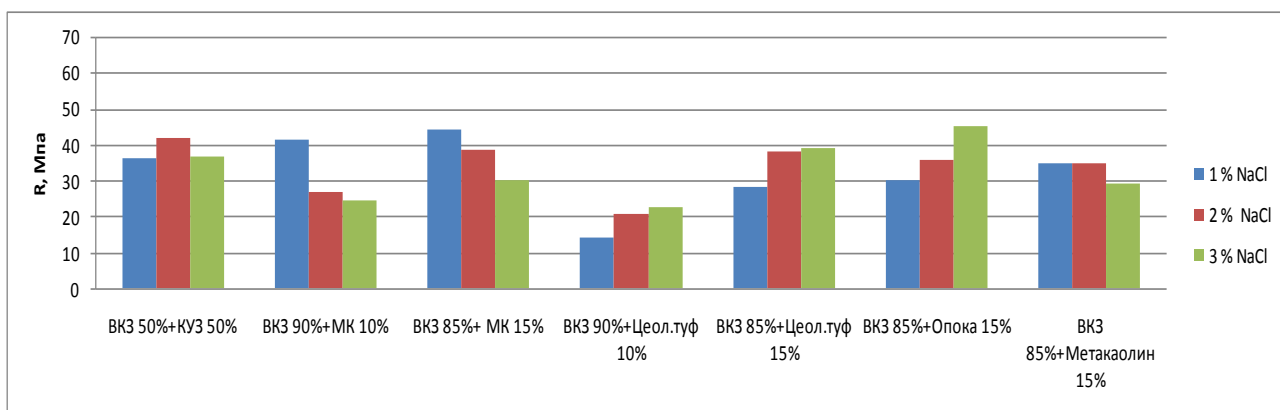


Рисунок 3 - Зависимость прочности от процентного содержания NaCl в составах с различными минеральными добавками при энергии помола 150%

Из всех исследованных составов наименьшим линейным расширением (Δl) и отсутствием деформаций обладают составы с добавками 50 % КУЗ, 15 % метакаолина и 15 % цеолитового туфа. При добавке 15 % цеолитового туфа, максимальная прочность достигается при введении 3% NaCl и E помола 100 – 150 %, это подтверждает выводы [1], что цеолиты не только интенсивно связывают CaO, но и способны также хорошо поглощать из раствора SO₃, за счет чего исчезает деструкция и увеличивается прочность. Введение 15 % метакаолина, в качестве пуццолана, с активностью > 1000 мгCaO(OH)₂/г позволяет получить

прочность до 60 МПа и 2 %NaCl уже при 50% энергии помола, при дальнейшем увеличении E происходит спад прочности (рисунок 4).

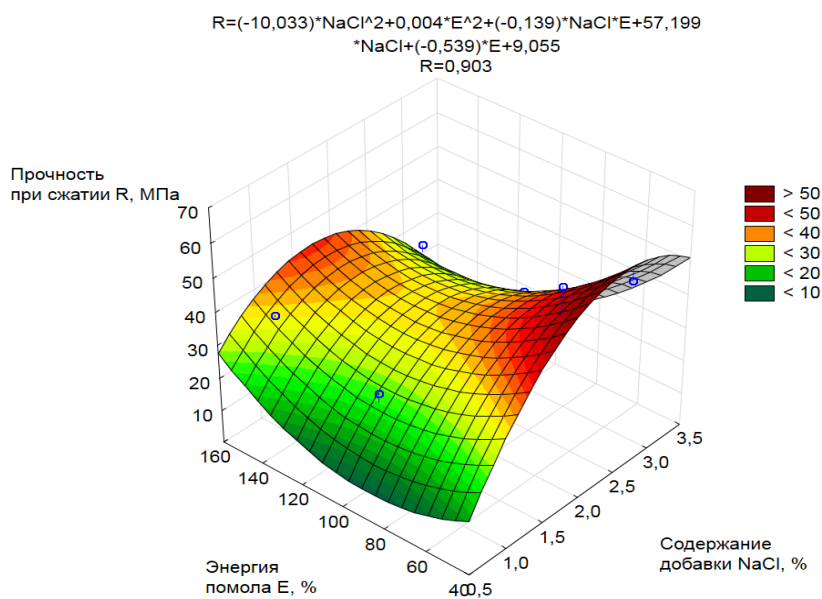


Рисунок 4 - Зависимость прочности при сжатии от энергии помола и добавки NaCl в композиции ВКЗ 85 % + метакаолин 15 %

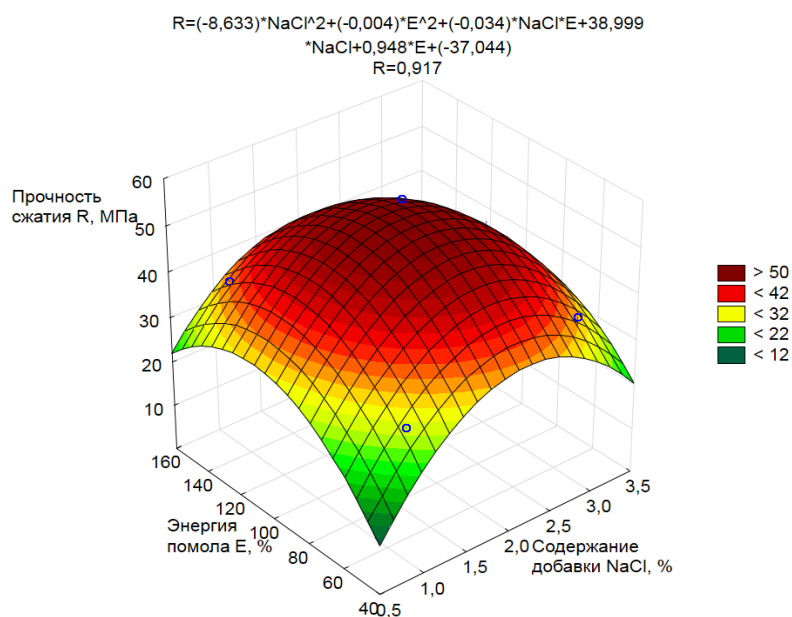


Рисунок 5. Зависимость прочности при сжатии от энергии помола и добавки NaCl в композиции ВКЗ 50 % + КУЗ 50 %

На рисунке 5 показана зависимость влияния E помола и добавки- активизатора на композицию с добавкой 50% КУЗ. Этот состав имеет наименьшее линейное расширение и уже при 50% энергии помола достигает прочность свыше 36 Мпа. Кроме того состав является наиболее экономически и практически целесообразным для нашего региона в качестве внедрения на производство. Полученный материал, типа силикатного кирпича имеет заводскую прочность.

Список литературы:

1. Овчаренко, Г. И. Зола углей КАТЭКа в строительных материалах. Изд-во Красноярского ун-та, 1991. – 180 с.

БЕЗУСАДОЧНЫЕ ЦЕМЕНТНО-ЗОЛЬНЫЕ ВЯЖУЩИЕ НА ОСНОВЕ ВЫСОКОКАЛЬЦИЕВЫХ ЗОЛ

Панюшов С.Н., Попов В.О. - студенты, Хижинкова Е.Ю. – к.т.н., доцент
Алтайский государственный технический университет им. И.И. Ползунова (г. Барнаул)

При схватывании и твердении обычных цементов происходят физико-химические процессы, сопровождающиеся суммарной усадкой, выраженной в уменьшении внешнего объема твердеющего камня на протяжении длительного периода.

Введение высококальциевой золы ТЭЦ (ВКЗ) позволяет компенсировать усадочные деформации цементного камня. Поэтому целью данной работы являлась разработка состава смешанного вяжущего на основе ВКЗ, обеспечивающего безусадочное твердение цементно-песчаного раствора.

В данной работе применялись следующие сырьевые материалы: портландцемент М400 Д20 Голухинского цементного завода, высококальциевая зола (ВКЗ) Барнаульской ТЭЦ-3 с содержанием свободного CaO – 4,5% , двуводный гипс полученный с гипса ГЗАП, глиноземистый цемент ГЦ 40, песок с поймы реки Оби.

Для проведения эксперимента формовались балочки смешанного вяжущего размерами $4 \times 4 \times 16$ см с реперами для измерения собственных деформаций, с различными составами ВКЗ от 0% до 100% от содержания ПЦ в составе. Также были изготовлены составы с содержанием ВКЗ 42,5% + ГЗАП 15% и ВКЗ 35% + ГЦ 15% + ГЗАП 15% от содержания ПЦ .

Одна часть образцов твердела в нормальных условиях, а вторая проходила тепло-влажностную обработку (ТВО) при режиме 3-6-3, 60°C . Хранение образцов в течение 28 суток осуществлялось в нормальных условиях. Испытания проводились на индикаторе часового типа первые две недели через сутки, а затем через двое. Прочность образцов на изгиб и сжатие определялась на 2 и 28 сутки.

В ходе эксперимента было установлено, что с увеличением содержания высококальциевой золы в составе вяжущего собственные деформации образцов увеличиваются. Наибольшего линейного расширения достигли образцы, изготовленные на основе 100 % ВКЗ (рисунок 1). Их удлинение составило 1,22 мм/м на 13 сутки. Наименьшее удлинение (в пределах 0 %) дал контрольный образец, изготовленный из ПЦ (100 %). Введение 20 % ВКЗ в ПЦ дало небольшую усадку.

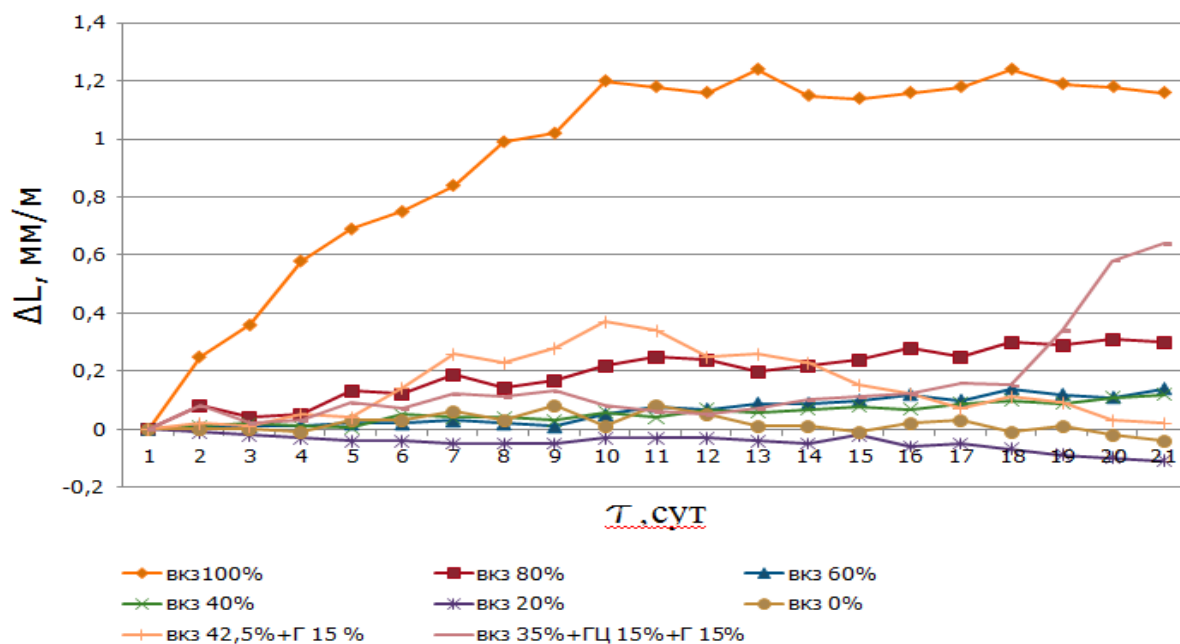


Рисунок 1 - Изменение собственных деформаций цементно-зольных вяжущих при твердении в нормальных условиях

Удлинение остальных образцов дало максимальное значение 0,6 мм/м. Как видно из рисунка 2, образцы после ТВО дают похожий результат. Высококальцевые золы отличаются широким разбросом содержания свободного оксида кальция. Используемая зола содержала СаО свободное в количестве 4,5%, что является средним значением. Это привело к тому, что образцы дали незначительную деформацию.

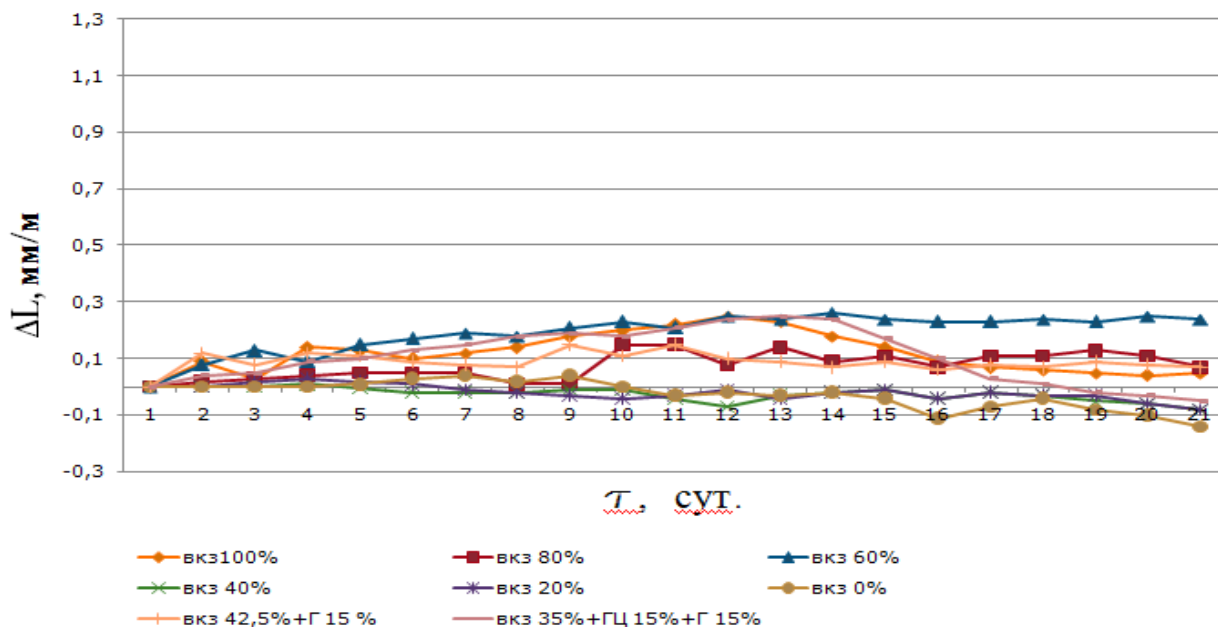


Рисунок 2 - Изменение собственных деформаций цементно-зольных вяжущих при твердении после ТВО

За счет фазового состава, расширение высококальцевой золы будет обеспечиваться гидратацией пережженных оксидов кальция и магния с образованием дополнительного количества этtringита и этtringитоподобных фаз.

Однако для обеспечения безусадочности золоцементных композиций достаточно добиться линейного расширения 2-3 мм/м, которое не будет приводить к деструкции образца. Такого удлинения не достиг не один из исследуемых образцов, в результате чего сделан вывод о том, что они являются безусадочными.

$$\Delta L = (-0,18e-4) \cdot \text{ВКЗ}^2 + (-0,27e-3) \cdot \tau^2 + (0,438e-4) \cdot \text{ВКЗ} \cdot \tau + (0,003) \cdot \text{ВКЗ} + (0,0048) \cdot \tau + (-0,0614)$$

R=0,92

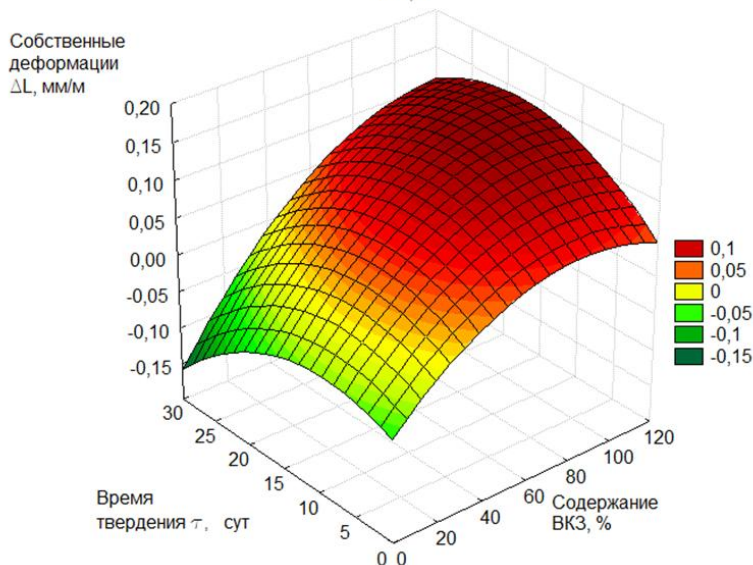


Рисунок 3 - Зависимость собственных деформаций во времени образцов после ТВО от содержания ВКЗ

Проведенные исследования показали, что с увеличением содержания ВКЗ в составе вяжущего, а значит и количества свободного оксида кальция в золе линейные деформации расширения возрастают и достигают максимальной величины на 14 сутки твердения (рисунок 3).

Однако прочность образцов с увеличением содержания ВКЗ уменьшается. Наименьшее значение прочности на сжатие (0,3 МПа) показали образцы, изготовленные из 100 % ВКЗ, а наибольшее значение (22 МПа) - из 20 % ВКЗ.

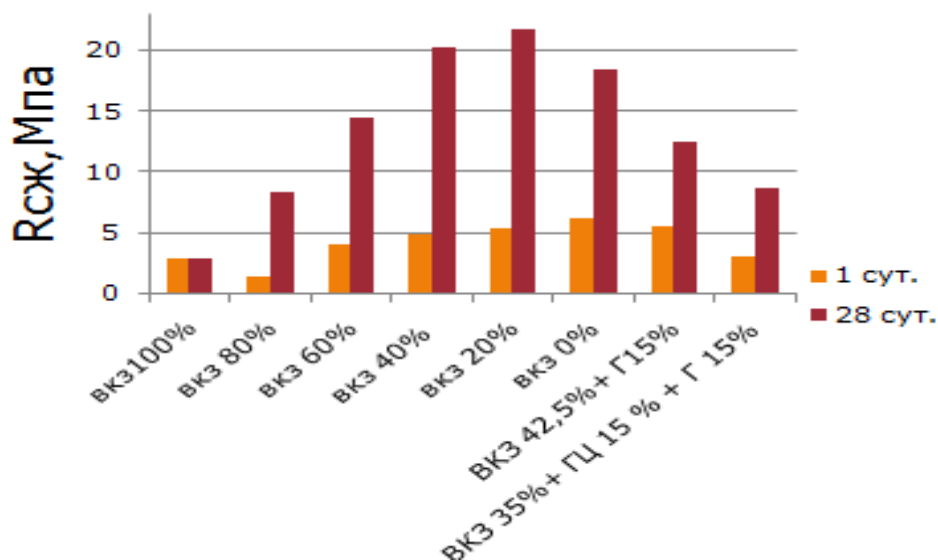


Рисунок 4 - Прочность на сжатие после ТВО образцов-балочек из цементно-зольного вяжущего

Таким образом, наиболее оптимальными составами с точки зрения безусловности и прочности являются композиции с содержанием высококальциевой золы 40 – 60 %.

ВЛИЯНИЕ ПЛАСТИФИКАТОРОВ НА ВОДОСТОЙКОСТЬ ГИПСОВОГО ВЯЖУЩЕГО

Юлдашев А.Б, Ходжамырадов Г. И. – студенты, Овчаренко Г.Е. - д. т. н., профессор,
Гаин О.А - аспирант

Алтайский государственный технический университет им.И.И. Ползунова (г. Барнаул)

Гипсовые вяжущие материалы получили ограниченное распространение в строительстве из-за низкой водостойкости камня - коэффициент размягчения их составляет 0,3 – 0,5. Как известно, возможны несколько путей повышения водостойкости материалов на основе гипсовых вяжущих – это производство их из гипсоцементно-пуццолановых вяжущих (ГЦПВ), гипсо-известково-шлакового вяжущего (ГИШ).

Целью данной исследовательской работы было изучение влияния пластификаторов на повышение водостойкости гипсового вяжущего.

В работе были использованы следующие сырьевые материалы: гипс марки Г5 БП, гиперпластификаторы Sika ViscoCrete T100, Glenium 115 и GS 20 и отечественный суперпластификатор С-3.

Изготовленные по ГОСТ балочки из гипсового вяжущего с пластификаторами твердели в течение одних, трех и семи суток. После твердения часть балочек испытывалась на прочность, часть замачивалась в воде. Балочки выдерживались в воде в течение 48 часов, после чего также испытывались на прочность.

Как известно, повышение плотности материала, а значит и водостойкости, можно добиться путем прессования образцов. Поэтому, в работе также прессовали образцы –

цилиндры, размером 50x50 мм, при удержании давления на 20 МПа при влажности смеси 15-16%.

На первом этапе работы было произведено сравнение прочностных показателей материалов, полученных методом прессования и литьевым способом. В ходе эксперимента было выявлено, что прочность прессованных образцов значительно превышает прочность литых образцов (рисунок 1). Так, для материалов с использованием Glenium 115 прочность составила через 1, 3, 7 сутки: для прессованных образцов 40,2; 41,7; 35 МПа соответственно, для литых – 5,7; 5,95; 6,11 МПа; для материалов с использованием GS 20: для прессованных образцов 46,4; 47,1; 45,35 МПа, для литых – 7,24; 7,6; 10,4 МПа; для материалов с использованием С-3: для прессованных образцов 45,26; 24,6; 34,6 МПа, для литых – 6,58; 5,4; 6,48 МПа; для материалов с использованием SIKA ViscoCrete T100: для прессованных образцов - 36; 57,1; 51 МПа; для литых: 6,76; 7,12; 8,42 МПа соответственно.

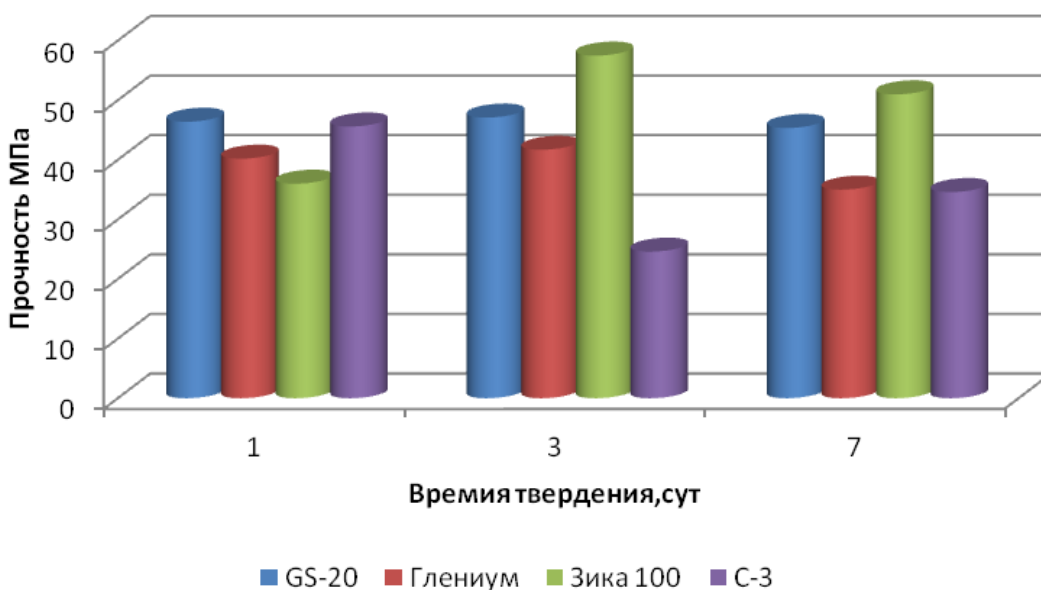


Рисунок 1 - Прочность прессованного гипсового камня

Вторым этапом было сравнение коэффициентов размягчения материалов полученных обоими способами. В ходе эксперимента было обнаружено, что коэффициент размягчения материалов, полученных методом прессования, значительно ниже, чем у литых материалов (рисунок 2).

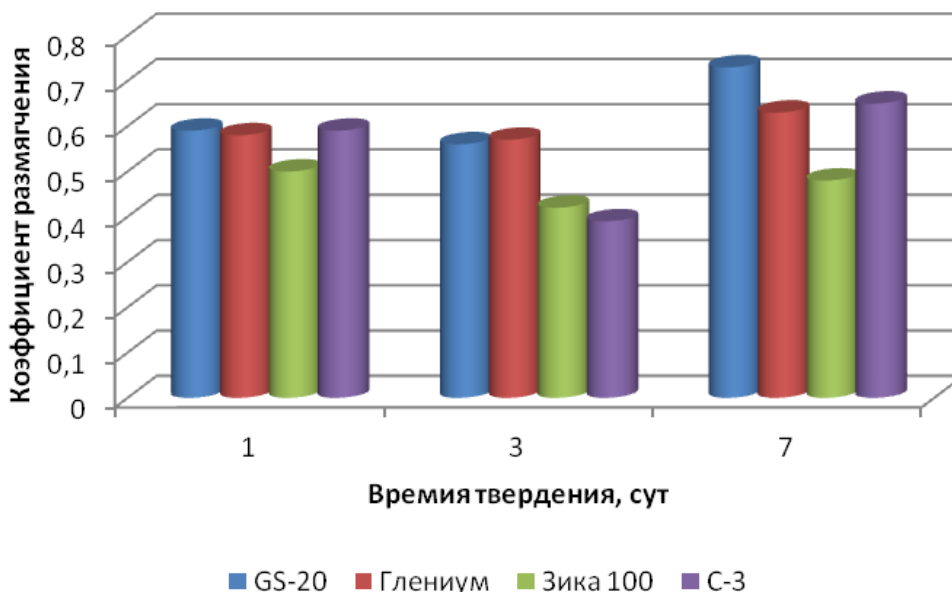


Рисунок 2 - Водостойкость прессованного гипсового камня

Так для прессованных материалов с использованием Sika VescoCrete T100 через 1, 3, 7 сутки после формования коэффициент размягчения составил 0,50; 0,42; 0,48; для материалов с использованием Glenium 115 – 0,58; 0,57; 0,63; для материалов с использованием GS 20 – 0,59; 0,56; 0,73; для материалов с использованием С-3 – 0,59; 0,39; 0,65. Т.е. полученные данные говорят о том, что методом прессования не был получен водостойкий материал.

В связи с этим на следующем этапе работы более подробному изучению, с точки зрения водостойкости, были подвергнуты материалы, полученные литьевым способом (рисунок3).

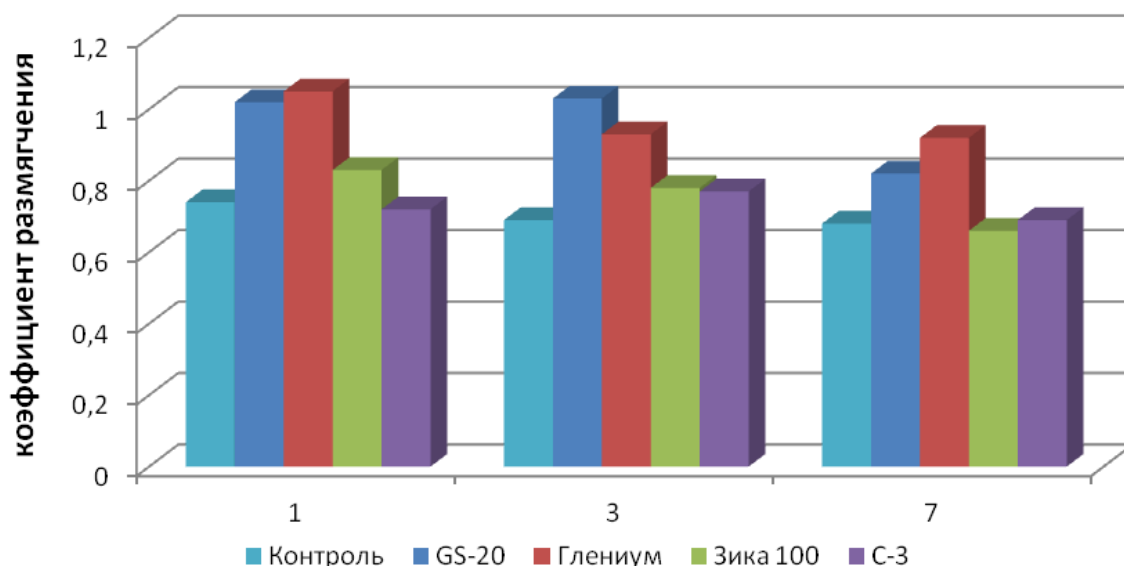


Рис.3 Водостойкость литьевого гипсового камня

Как видно из графиков, не смотря на то, что прессованный камень более плотный, его коэффициент размягчения значительно ниже, по сравнению с камнем, полученным по литьевой технологии. В настоящее время этот эффект объяснить трудно и это требует дополнительных исследований.

СРАВНИТЕЛЬНАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА ПРОТИВОМОРОЗНЫХ ДОБАВОК, ИХ ВЛИЯНИЕ НА ПРОЧНОСТЬ ПОРТЛАНДЦЕМЕНТНОГО КАМНЯ

Шнайдер А.В., Шипулин О.С. – студенты, Щукина Ю.В. – к.т.н., доцент

Алтайский государственный технический университет им. И.И. Ползунова (г. Барнаул)

Монолитное строительство является динамично развивающейся отраслью за счет получения и применения высокоподвижных бетонных смесей, постоянного совершенствования методов бетонирования, разработки новых конструктивных решений зданий. Важной для монолитного строительства задачей является обеспечение круглогодичного бетонного цикла. Эффективным и экономически выгодным решением данной задачи может являться применение противоморозных добавок. Согласно действующему ГОСТ 24211-2008 («Добавки для бетонов и строительных растворов.Общетехнические условия.») противоморозные добавки по основному эффекту действия делятся на добавки для «холодного» бетона, обеспечивающие его твердение при отрицательных температурах, и «теплого», обеспечивающие защиту бетонной смеси от замерзания на время от ее изготовления до укладки в опалубку и подачи внешнего тепла.

Целью настоящей работы являлось проведение сравнительной характеристики различных противоморозных добавок, их влияние на прочность цементного камня при сжатии, а также их экономическая эффективность. В работе использовали бездобавочный портландцемент марки ПЦ500 искитимского цементного завода и химические добавки:

- формиат натрия - 6 %, 9 % от массы цемента;
- хлорид кальция - 4.5 %, 9 %;
- нитрит и нитрат натрия - 5 %, 10 %;
- комплексные добавки: глениум - 150 2 %и позолит - 1.5 %.

Для исключения влияния водо-цементного отношения на результаты исследования, работу вели на камне, полученном из теста нормальной густоты. Противоморозные добавки предварительно растворяли в воде затворения.

Испытания на прочность при сжатии проводились на образцах – кубах, с ребром 2 см.

Образцы твердели:

- в нормальных условиях (влажность – 95 – 100%, температура – 20°C) – контроль;
- по «теплому» режиму (-20°C) с выдержкой 4 и 8 часов при отрицательной температуре и последующем твердением в нормальных условиях.

Оценка результатов эффективности использования противоморозных добавок осуществляли по ГОСТ 24211-2008, где прочность образцов с добавками должна быть не менее 95% от контроля.

Результаты испытаний представлены на рисунках 1 и 2.

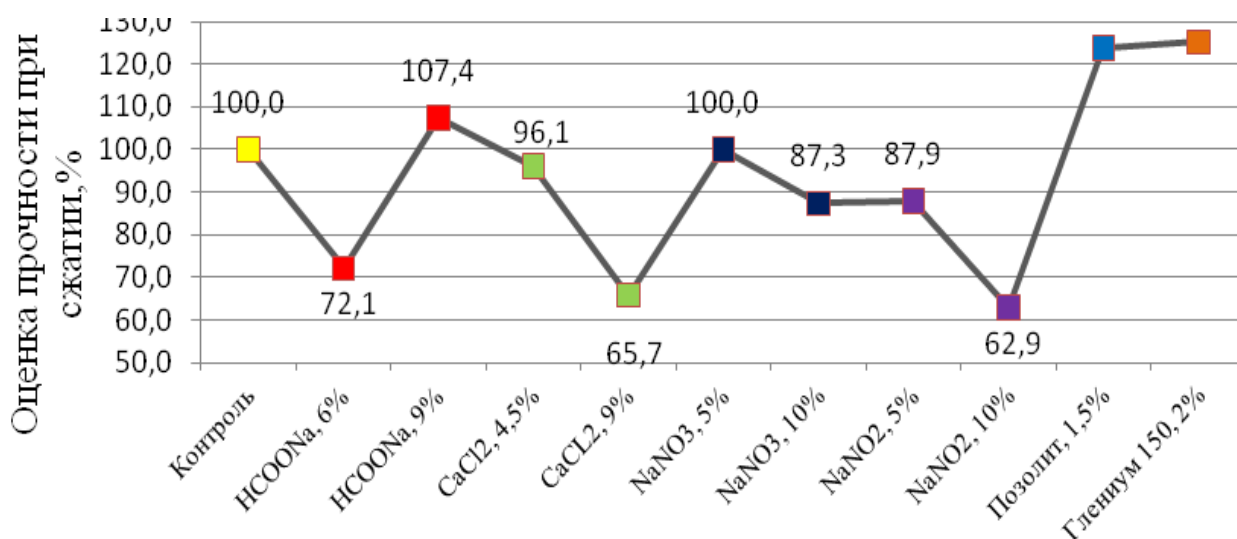


Рисунок 1 – Оценка результатов эффективности использования добавок по «теплому» способу при выдержке в морозе 4 ч

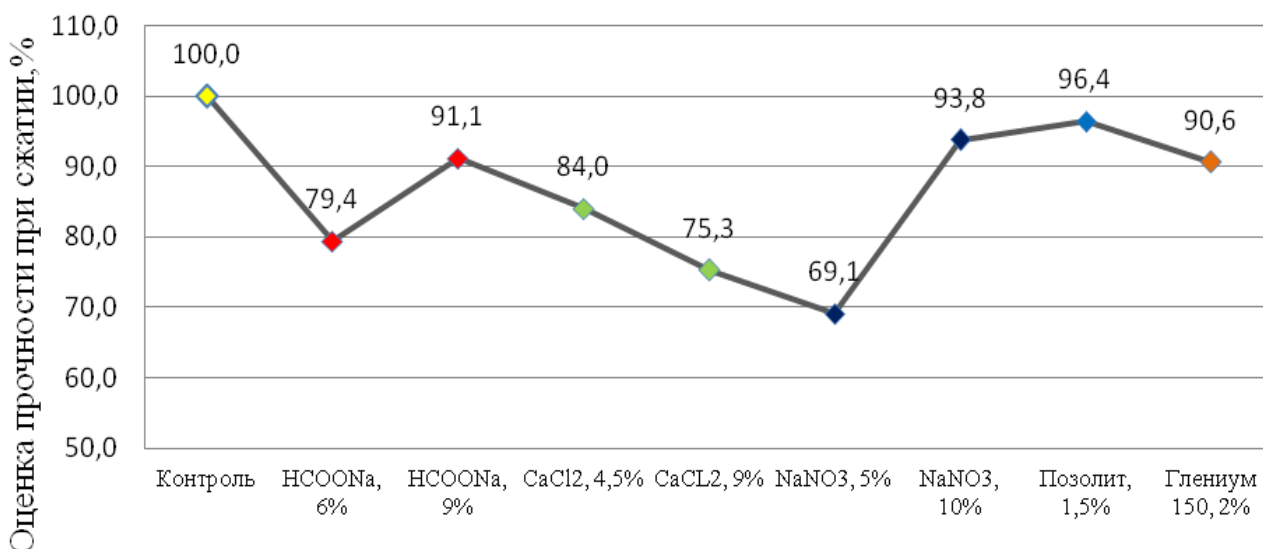


Рисунок 2– Оценка результатов эффективности использования добавок по «теплому» способу при выдержке в морозе 8 ч

На рисунке 1 можно увидеть, что такие добавки как формиат натрия в дозировке (9 %), хлорид кальция (4.5 %), нитрат натрия (5 %), а также комплексные добавки Позолит и Глениум 150 - показывают наиболее высокую эффективность после 4-х часов выдержки в морозильной камере.

Второй график подтверждает эффективность использования комплексных добавок. Практически все образцы, при выдержке в морозильной камере 8 часов, имеют более низкую прочность, по сравнению с 4-х часовой выдержкой. Из этого можно сделать вывод о том, что эффективность добавок снижается с увеличением времени пребывания на отрицательной температуре. На графике видно что образцы с добавками нитрат натрия (10 %), Позолит (1.5 %) и Глениум 150 (2 %) – показали наиболее высокую эффективность, по сравнению с другими образцами. Но только образец с комплексной добавкой Позолит (1.5 %) удовлетворяет условию ГОСТ 24211-2008, его прочность составляет 96.4 % от прочности контрольного образца.

В данной работы также была выявлена экономическая эффективность использования, рассматриваемых добавок. Учитывались средние цены за 1 кг добавок по г. Барнаул.

Таблица 1 - Экономическая эффективность использования противоморозных добавок.

Добавка	Процент добавки	Средняя цена за 1кг добавки, руб.	Стоимость добавки на 1кг цемента, руб.	Стоимость добавки на 1 куб раствора, руб.*
Формиат натрия	6	25	1,5	825
	9		2,25	1237,5
Нитрит натрия	5	45	2,25	1237,5
	10		4,5	2475
Нитрат натрия	5	25	1,25	687,5
	10		2,5	1375
Хлорид кальция	4,5	20	0,9	495
	9		1,8	990
Глениум 150	2	90	1,8	990
Позолит	1,5	60	0,9	495

*Расход цемента составляет 550 кг на кубометр раствора по ГОСТ 24211-2008

Исследования показали: что наиболее эффективными в условиях зимнего бетонирования являются комплексные противоморозные добавки, образцы с этими добавками показали не только высокую прочность при длительном пребывании в условиях отрицательной температуры, но и экономическую выгоду, так как их стоимость за 1м³ раствора составляет на порядок меньшую стоимость по сравнению с остальными рассмотренными добавками. Низкая стоимость объясняется небольшим процентом введения комплексных добавок в раствор (1.5 – 2 %). Также в состав рассмотренных комплексных добавок входят пластификаторы, обеспечивающие лучшую удобоукладываемость бетонной смеси. Кроме того, эти добавки не токсичны, так как не содержат хлора.

ПРОЧНОСТЬ ШЛАКО-ЩЕЛОЧНЫХ ВЯЖУЩИХ НА ДОМЕННОМ ШЛАКЕ ОАО «ЗСМК» ЗАПСИБ

Козлов К.Д. – студент, Овчаренко Г.И. – д.т.н. профессор

Алтайский государственный технический университет им. И.И. Ползунова (г. Барнаул)

Известно, что шлако-щелочные вяжущие (ШЩВ) могут давать камень высокой и очень высокой прочности. Однако конкретные их характеристики зависят от основности доменного гранулированного шлака (ДГШ), тонкости его помола, вида и количества щелочного активизатора. Поэтому для каждого конкретного шлака требуется экспериментальная проверка.

Целью работы является определить оптимальный расход энергии помола и процент добавки щелочного активизатора, для получения камня высокой прочности.

В эксперименте использовали ДГШ ОАО «ЗСМК» ЗАПСИБ с разной энергией помола; добавку-активизатор NaOH; низкомолекулярное высоко щелочное жидкое стекло.

До эксперимента можно было ожидать, что ДГШ ОАО «ЗСМК» ЗАПСИБ наиболее низкоактивный материал, так как модуль его активности равен единице. Кроме того ДГШ с низкой основностью трудно размалывается. Поэтому в настоящей работе ДГШ размалывали при высоких энергиях помола: 100, 200, 300% от стандартного помола клинкера на цемент. Кроме этого, применялись достаточно высокие расходы щелочных компонентов: NaOH и жидкое стекло с $M=1$.

При твердении в нормальных условиях полученное вяжущее с 2% NaOH может обеспечить прочность в пределах 30 МПа. С повышением расхода щелочи до 6% активность его возрастает до 50 МПа, что может составлять 70-80 % активности ПЩ (рисунки 1, 2). Построенные двухпараметрические зависимости прочности камня после тепловлажностной обработки (рисунок 3) отражают повышение прочности шлакощелочного вяжущего с увеличением затрат энергии на помол и расхода щелочного компонента.

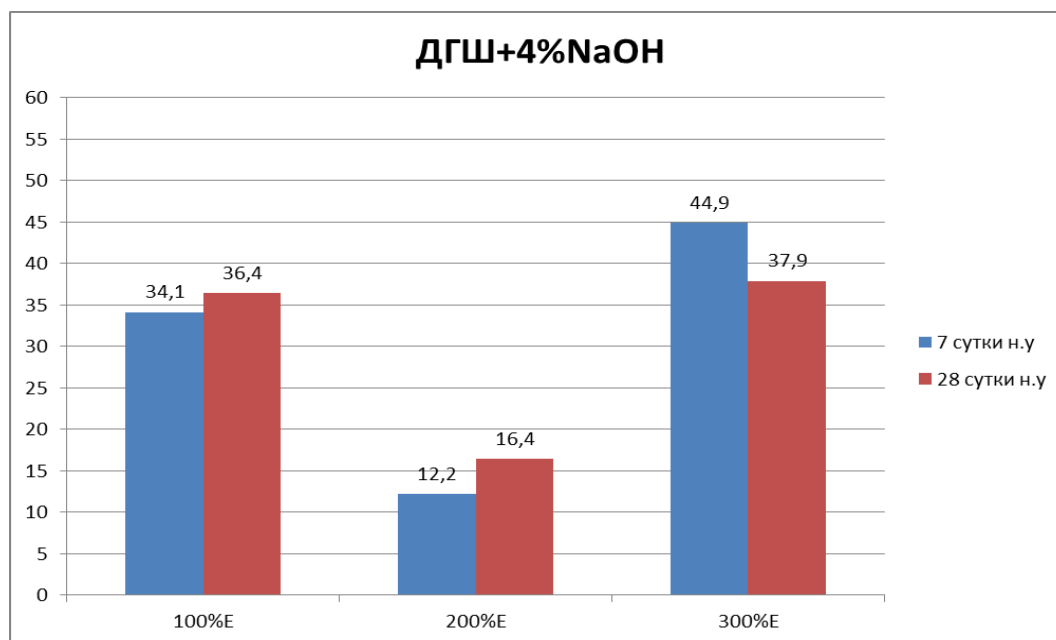


Рисунок 1 – Прочность ШЩВ на ДГШ + 4 % NaOH при твердении в Н.У.

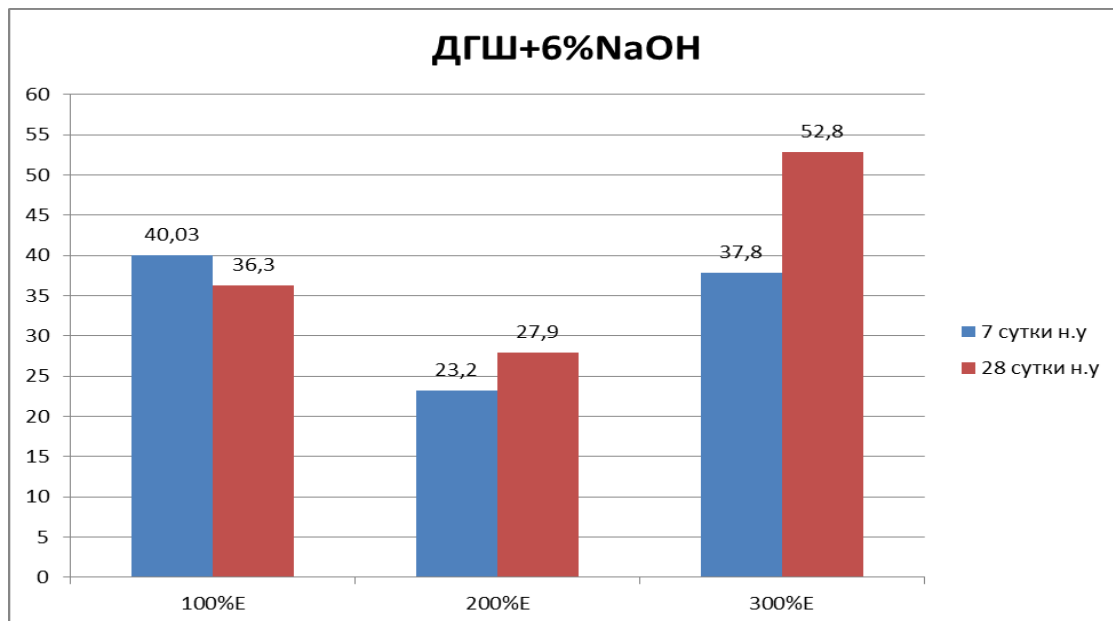


Рисунок 2 – Прочность ШЩВ на ДГШ + 6 % NaOH при твердении в Н.У.

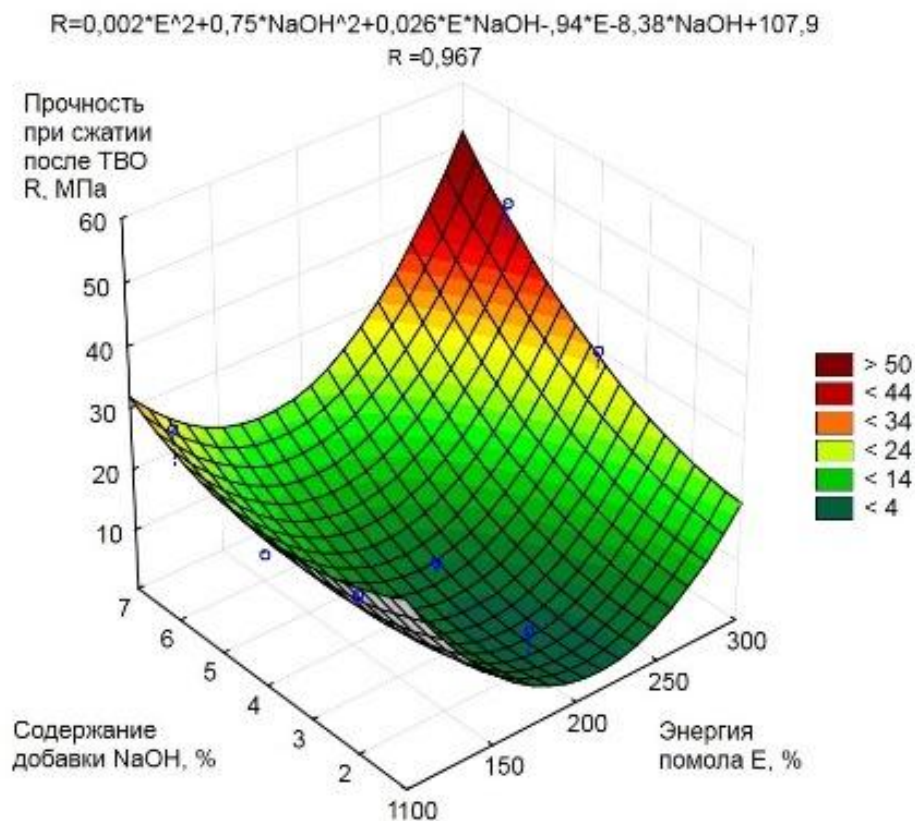


Рисунок 3 - Зависимость прочности камня после ТВО от содержания NaOH и энергии помола ДГШ

Замена щелочного активизатора с NaOH на низко модульное высоко щелочное жидкое стекло, показывает что при малых его расходах шлак не твердеет даже при ТВО и только при 6% достигается примерно такая же прочность, как и с NaOH.

Таким образом на основе ДГШ ЗапСибя и щелочных активизаторов можно получить с активностью около 70-80% от ПЩ но при этом требуются высокие затраты энергии и щелочного активизатора. Экономическая активность требует дополнительных оценок.

СИЛИКАТНЫЙ КИРПИЧ ИЗ НЕГАШЕНОЙ ВЫСОКОКАЛЬЦИЕВОЙ ЗОЛЫ ТЭЦ
Бердышева О. В., Столбова С. В. – студенты, Овчаренко Г. И. - д.т.н., профессор
Алтайский государственный технический университет им. И.И. Ползунова (г. Барнаул)

В РФ ежегодно сжигается 650 млн. тонн угля, вследствие чего, образуется 300 млн. тонн золы и шлаков. Под хранение зола шлаковых отходов (ЗШО) ТЭЦ в РФ отчуждено более 20 тысяч км² земельных участков, на которых хранится 1,3 - 1,5 млрд. тонн зола шлаков. Обеспечение хранения 1 тонны ЗШО обходится государству в 68 - 100 \$ ежегодно. Один из наиболее очевидных путей решения данной проблемы, при увеличении объема жилищного строительства в настоящее время – использование зол и золошлаковых отходов для производства силикатного кирпича.

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

Целью данной работы является разработка технологии силикатного кирпича на основе высококальциевой золы (ВКЗ) ТЭЦ без предварительного ее гашения, кислой золы (КУЗ) и в отдельные составы 5% товарной извести, а также добавка NaCl.

В ходе эксперимента требовалось подобрать оптимальные составы золосиликатных масс на основе негашеной ВКЗ и кислой золы, обеспечивающих получение бездефектного материала с максимальной прочностью и долговечностью камня.

Для изготовления образцов - цилиндров диаметром 50 мм, высотой 50 мм использовались ВКЗ Барнаульской ТЭЦ-3 и КУЗ Новосибирской ТЭЦ-5; товарная известь второго сорта в некоторых составах.

В ходе работы изготавливался предварительно помолотый пресс- порошок из ВКЗ и КУЗ при соотношении отходов от 50:50 до 25:75 , который подвергался силосованию в сушильном шкафу при температуре 60⁰ в течение 2-4 часов. В отдельные составы вводилось 5% товарной извести и добавка NaCl. При давлении 20 МПа прессовались образцы - цилиндры, которые запаривались в автоклаве по режиму: 2 + 6 + 2 час при температуре 170 °С и давлении 10 МПа. В качестве контрольного был изготовлен образец - аналог силикатного кирпича, содержащий 11,5% извести и 88,5% кварцевого песка.

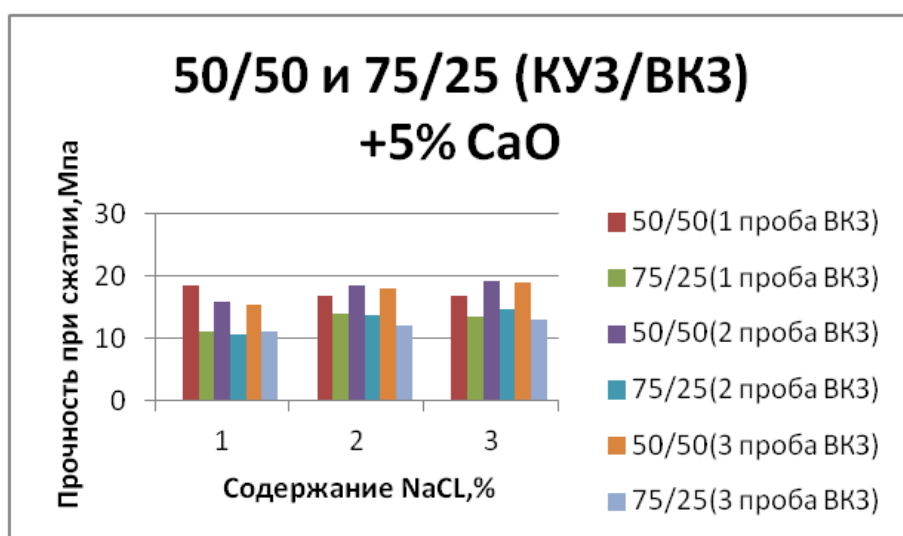


Рисунок 1 – Прочность золосиликатного кирпича из сырьевой смеси 25 % ВКЗ 75 % КУЗ и 50 % ВКЗ и 50 % КУЗ для различных проб высококальциевых зол

На рисунке 1 видно, что прочность образцов, где 50 % ВКЗ и 50 % КУЗ выше, чем у образцов, где 25 % ВКЗ 75 % КУЗ. Сырьевые смеси обеспечивают бездеструктивное твердение и показывают прочность материала от 10 до 18 МПа в зависимости от состава композиции.

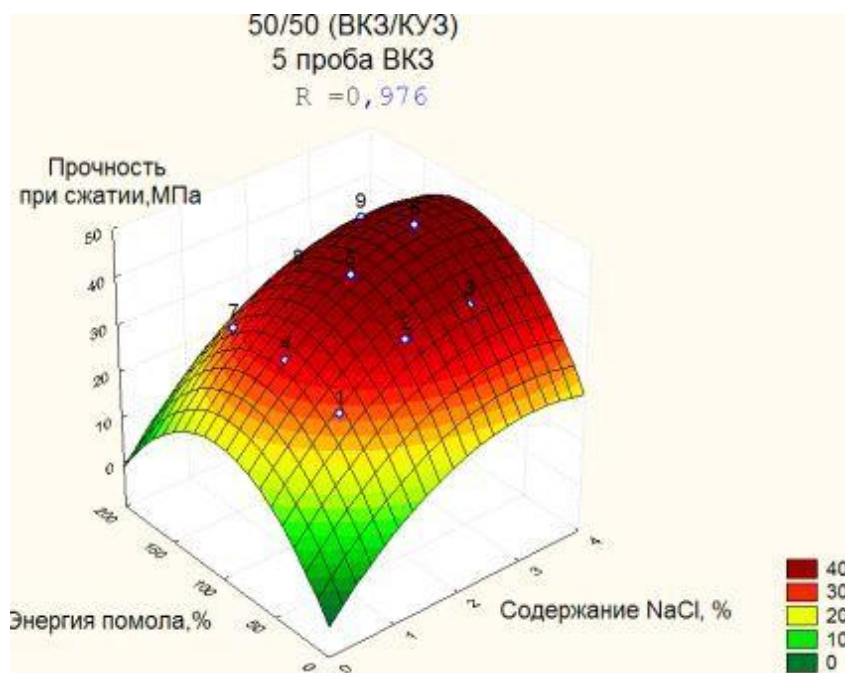


Рисунок 2 – Зависимость прочности золосиликатного кирпича из сырьевой смеси 50 % ВКЗ(5 проба) и 50 % КУЗ от содержания добавки NaCl в массе и энергии помола зол.

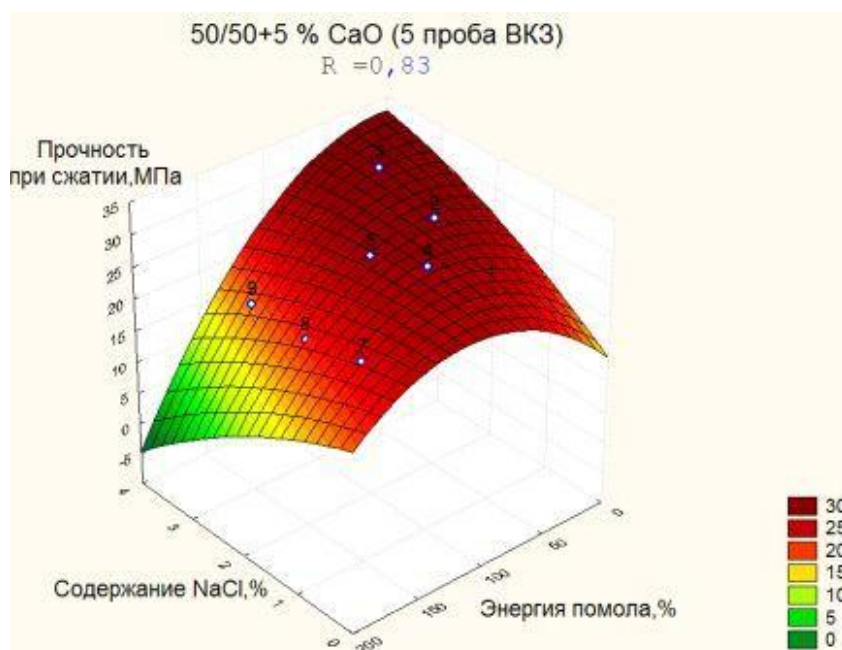


Рисунок 3 – Зависимость прочности золосиликатного кирпича из сырьевой смеси 50 % ВКЗ(5 проба) и 50 % КУЗ с добавлением 5% извести от содержания добавки NaCl в массе и энергии помола зол.

Из рисунка 2 можно сделать вывод, что прочность образцов возрастает с увеличением добавки NaCl и энергии помола. Одна и та же проба ведет себя по-разному с добавлением извести. Без извести образцы показали большую прочность, чем с известью. Другая проба показала другой результат – образцы с добавлением 5% извести немного выше показали прочность.

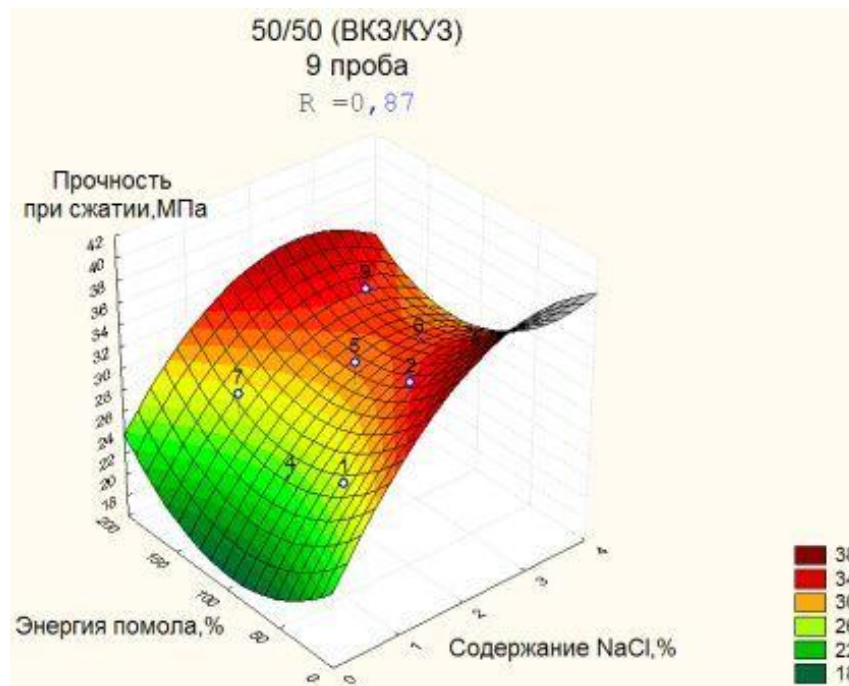


Рисунок 4 – Зависимость прочности золосиликатного кирпича из сырьевой смеси 50 % VK3(9 проба) и 50 % КУЗ от содержания добавки NaCl в массе и энергии помола зол.

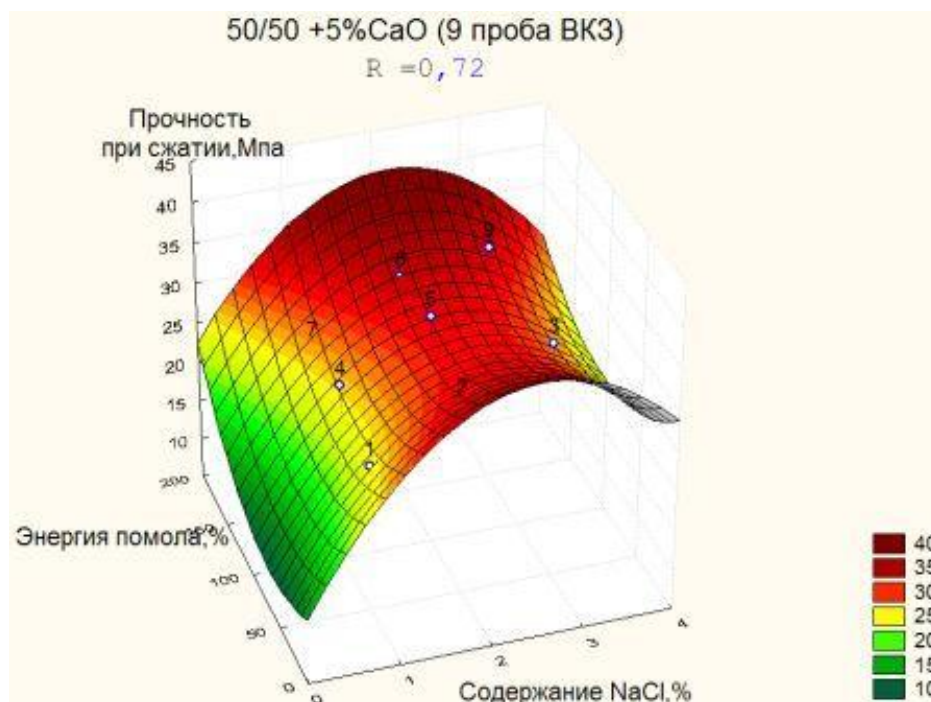


Рисунок 5 – Зависимость прочности золосиликатного кирпича из сырьевой смеси 50 % VK3(9 проба) и 50 % КУЗ с добавлением 5% извести от содержания добавки NaCl в массе и энергии помола зол.

По результатам исследования мы видим, что возможна разработка технологической линии по производству золосиликатного кирпича без ее предварительного гашения. В зависимости от свойств зол необходима корректировка состава, так как в отдельные композиции нужно добавлять товарную известь для получения качественного и прочного кирпича, но с экономической точки зрения целесообразнее изготавливать золосиликатный кирпич без добавления товарной извести.

ИССЛЕДОВАНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ ПЛАСТИФИКАТОРОВ В БЕТОНАХ

Гужвина М.П., Бойков Д.В. – студенты, Хижинкова Е.Ю. – к. т. н., доцент
Алтайский государственный технический университет им. И.И. Ползунова (г. Барнаул)

В данное время происходит постепенное замещение обычных традиционных бетонов многокомпонентными бетонами. В последних используются химические модификаторы структуры, свойств и технологических характеристик бетона, в том числе комплексные модификаторы, включающие порой несколько десятков индивидуальных химических добавок.

В зависимости от функционального назначения и достигаемого эффекта различают следующие добавки: регулирующие реологические свойства бетонных смесей, регулирующие схватывание бетонных смесей и твердение бетонов, регулирующие пористость бетона, придающие бетону специальные свойства, сокращающие расход цемента, добавки полифункционального действия.

В связи с этим появилось огромное количество производств пластификаторов, а также комплексных добавок с различным воздействием на свойства бетона, что приводит к необходимости исследования эффективности работы добавок в цементах и бетонах.

В работе использовались: ПЦ М400 Д20 Голухинского цементного завода, добавки: Полипласт П-1, Реламикс М, Реламикс Т-2, Штайнберг F 10, Sika T 100, Sika 5-600, Sika 3300, Штайнберг Gross-63, Glenium 115, Эдванс Супер, Эдванс Ферро, Реламикс ПК, Линамикс ПК, Rheobuild 181 А, Полипласт 1МБ, АКМ — 20 Стандарт, Вилаком-ПФМ Прима, Феррокрит Стандарт, Феррокрит Прима, ПФМ НЛК, КДБ.

Первый этап эксперимента проводился на образцах кубиках 2х2х2 см, заформованных из цементного теста с различными добавками с одинаковым водоцементным отношением равном нормальной густоте цементного теста. Процентное содержание добавки применялось средним между двух рекомендованных пределов конкретно каждой добавки. В качестве контроля принималось цементное тесто без добавки. Таким образом проводилось выявление работы добавки на снижение или повышение прочности образцов по сравнению друг с другом и контролем.

На втором этапе определялся водоредуцирующий эффект каждой добавки. Для каждого состава определялась своя нормальная густота и формовались образцы кубики 2х2х2 см, из цементного теста с теми же добавками. Процентное содержание добавки так же среднее. В качестве контроля принималось цементное тесто без добавки. Испытания проводились на 3, 7 и 28 суток при нормальных условиях и ТВО на 1 и 28 суток. Режим ТВО 3+6+3 часа при температуре 60°C.

Перед началом испытаний все добавки из-за разности состава и своих особенностей были разбиты на четыре группы:

- суперпластификаторы на основе нафталиновых кислот и формальдегидов;
- гиперпластификаторы на основе поликарбонатов;
- комплексные добавки на основе гиперпластификаторов;
- комплексные добавки на основе суперпластификаторов.

Как видно из рисунка 1, добавки ведут себя практически одинаково, но все образцы на 28 суток, в том числе и контроль опережают Реламикс М по прочностным показателям. Показатели прочности ниже контрольного были ожидаемы, ведь воды в тесте находится в избытке, но две добавки показали результат выше контрольного, что говорит о их положительных качествах.

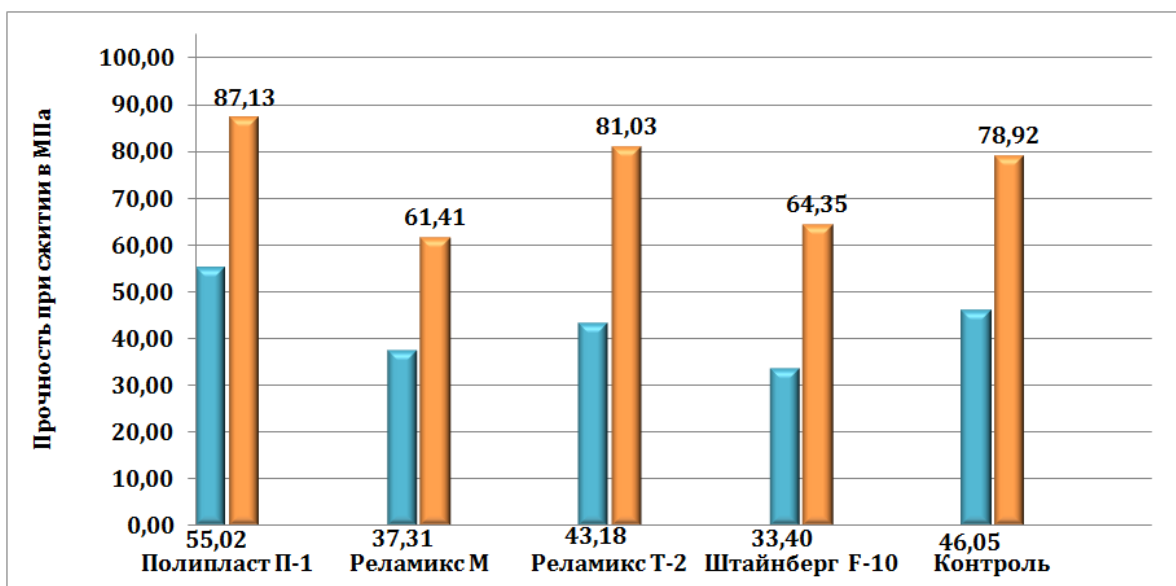


Рисунок 1 - Результаты сравнительных испытаний добавок – суперпластификаторов на 1 и 28 сутки после ТВО с В/Ц=0,28

Следующим этапом являлось определение водоредуцирующего эффекта (рисунки 2,3).

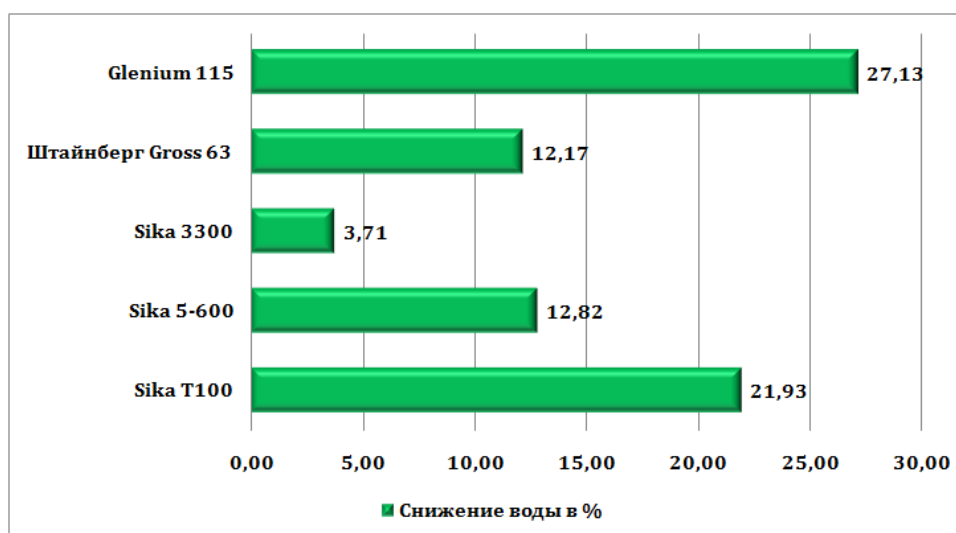


Рисунок 2 – Снижение воды в % от контроля добавок - гиперпластификаторов

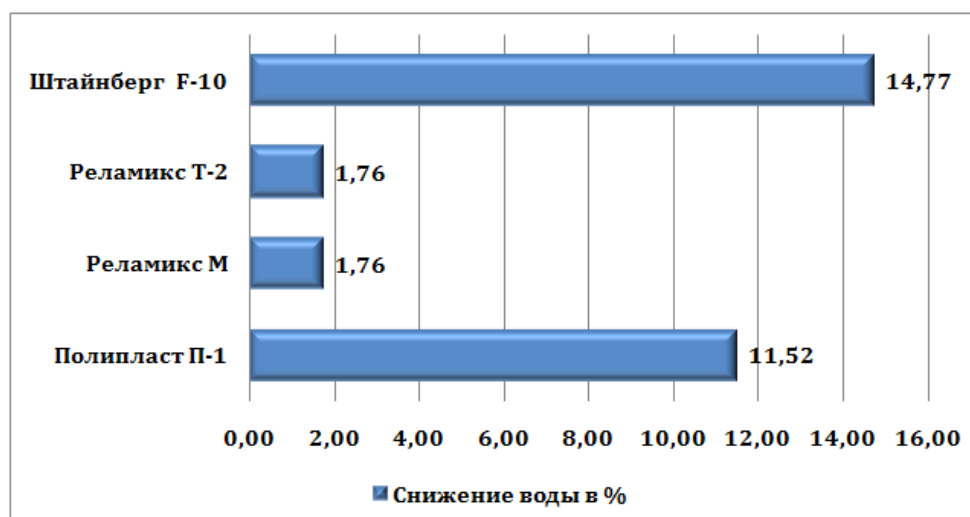


Рисунок 3 – Снижение воды в % от контроля добавок - суперпластификаторов

Как и предполагалось, добавки-гиперпластификаторы наиболее снижают количество воды затворения, что объясняется поликарбоксилатной основой гиперпластификаторов. Наибольший водоредуцирующий эффект показали Глениум 115 и Зика Т100.

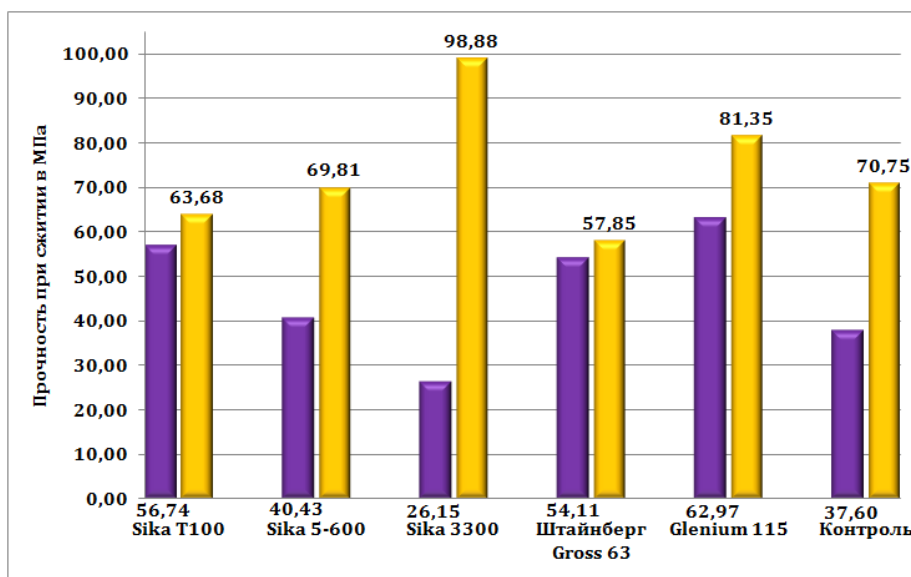


Рисунок 4 – Прочность при сжатии после ТВО и ТВО+28 цемента с добавками гиперпластификаторами

Далее была проанализирована прочность цементного камня с добавками из теста нормальной плотности (рисунки 4, 5). Наиболее высокую прочность позволяют получить добавки с наибольшим водоредуцирующим эффектом – Глениум 115 и Зика Т100.

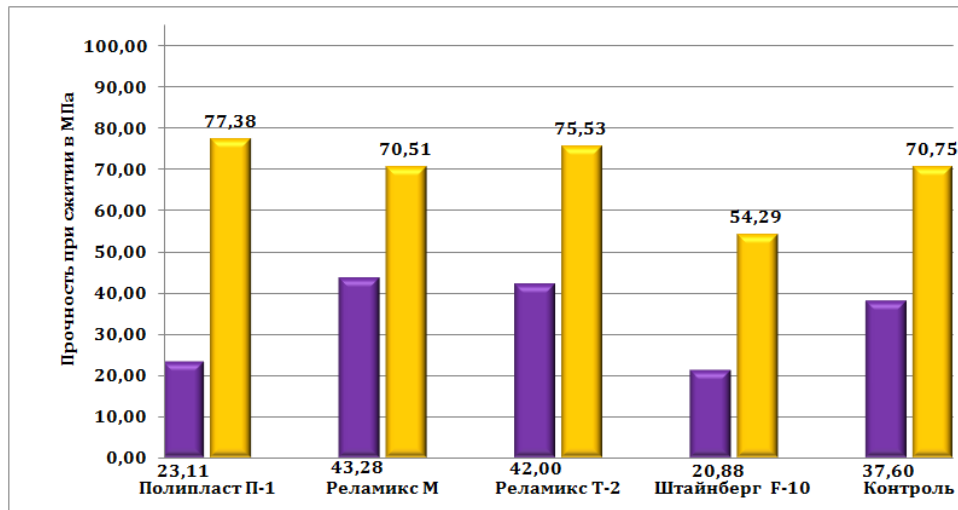


Рисунок – Прочность при сжатии после ТВО и ТВО+28 цемента с добавками суперпластификаторами

По результатам двух этапов испытаний были выявлены наиболее интересные для дальнейшего исследования в бетонах добавки. Из каждой группы две добавки, исключая группу суперпластификаторов в которую входит Реламикс М, дабы произвести более полный сравнительный анализ его с представителями других групп: Реламикс М, Sika Т 100, Glenium 115, Эдванс Супер, Линамикс ПК, Феррокрит Прима, КДБ.

Выводы по работе можно сделать следующие. Составы показали высокую прочность даже при В/Ц=0,28, чем ожидалось, а значит можно добиться высокой пластификации смеси с повышением прочности. При применении добавок пластификаторов можно значительно сократить расход вяжущего, вследствие уменьшения воды затворения.

ИССЛЕДОВАНИЕ МИНЕРАЛЬНЫХ ДОБАВОК К ЦЕМЕНТУ

Сухорукова Н. И., Садрашева А. О.-студенты, Овчаренко Г. И.-д. т. н. профессор
Алтайский государственный технический университет им. И. И. Ползунова (г. Барнаул)

Существует огромное количество различных минеральных добавок для вяжущих веществ. Заменяя ими определенную часть цемента, можно получить более стойкие системы, сокращая расходы дорогостоящего вяжущего.

Как правило – это активные минеральные добавки (АМД), связывающие при твердении известь. Существуют и инертные добавки (микронаполнители), которые при очень тонком измельчении оказывают положительный эффект на твердение цемента. Зерна микронаполнителей создают поверхность, на которой происходит рост фаз гидратных соединений.

Целью нашего исследования было сравнение различных минеральных добавок (МД) к цементу в отсутствие и совместно с суперпластификатором.

Для определения влияния на прочность различных природных и искусственных минеральных добавок мы вводили их в количестве 10% от массы цемента. Также рассматривались составы с добавлением 1% суперпластификатора Глениум115.

В качестве вяжущего в работе использовался портландцемент М500Д0 Искитимского цементного завода, в качестве минеральных добавок применялись такие добавки, как природный волластонит, корунд, топливный и доменный шлаки, высококальциевая зола (ВКЗ), кислые золошлаковые отходы (ЗШО), кварцевый песок. Также были и добавки, синтезированные в лабораторных условиях. Это такие добавки, как тоберморит, ксонотлит, ранкинит и синтетический волластонит, полученный прокаливанием тоберморита.

Дисперсность добавок достигалась измельчением в планетарной мельнице АГО-3 при одинаковых условиях помола и продукты помола имели средний диаметр частиц 50% тонкой фракции изменяющийся от 5 до 25 мкм (таблица 1).

Таблица 1 – Средний диаметр 50% тонкой фракции измельченного материала

Материал	ДГШ	Кварцевый песок	Природный волластонит	Топливный шлак	Корунд	Синтетический волластонит	Ранкинит	Тоберморит	Ксонотлит
Размер частиц	5,14	5,27	5,57	6,3	6,86	14,97	16,32	18,71	25,28

Испытания проводились на образцах-кубиках 2×2×2 см, изготовленных из теста нормальной густоты. После формования кубики хранились в ванне с гидравлическим затвором (20°C, относительная влажность 100 %), затем образцы расформовывались и хранились в воде до момента испытания. Контролем являлся состав 100% ПЦ500.

На рисунке 1 показаны сравнения прочностей при сжатии в процентах от контроля образцов с различными добавками.

В результате проведенного эксперимента получили, что лучшие прочностные свойства имеют системы с добавкой природного волластонита, ранкинита, ДГШ и ЗШО, повышающие прочность на 20-27% выше контроля. Хорошо проявили себя в поздние сроки ЗШО и ВКЗ. Это можно объяснить тем, что кислые ЗШО и шлаки в процессе гидратации связывают известь гидролизующихся клинкерных силикатов.

Добавки типа волластонита, ранкинита, тоберморита и ксонотлита содержат элементы структуры, сходные по составу и структуре с элементами геля С-S-H– основной фазы затвердевшего цементного камня. Они содержат в структуре диортогруппу [Si₂O₇] (шлаковые стекла, ранкинит), волластонитовую цепочку [SiO₃] (природный или синтетический волластониты), кремнекислородные ленты или слои, построенные путем трансляции диортогруппы [Si₂O₇].

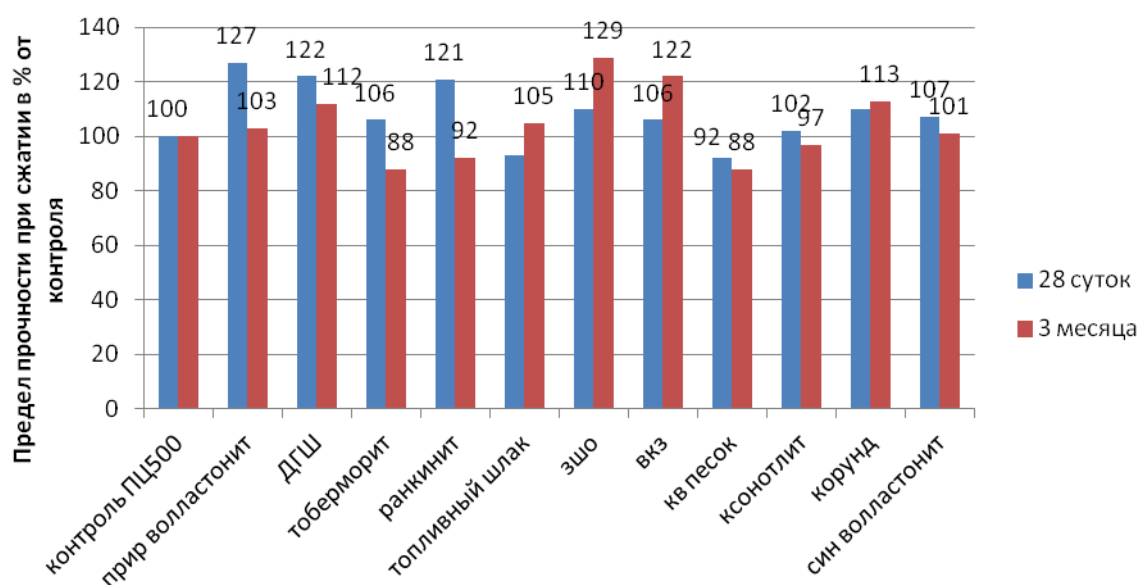
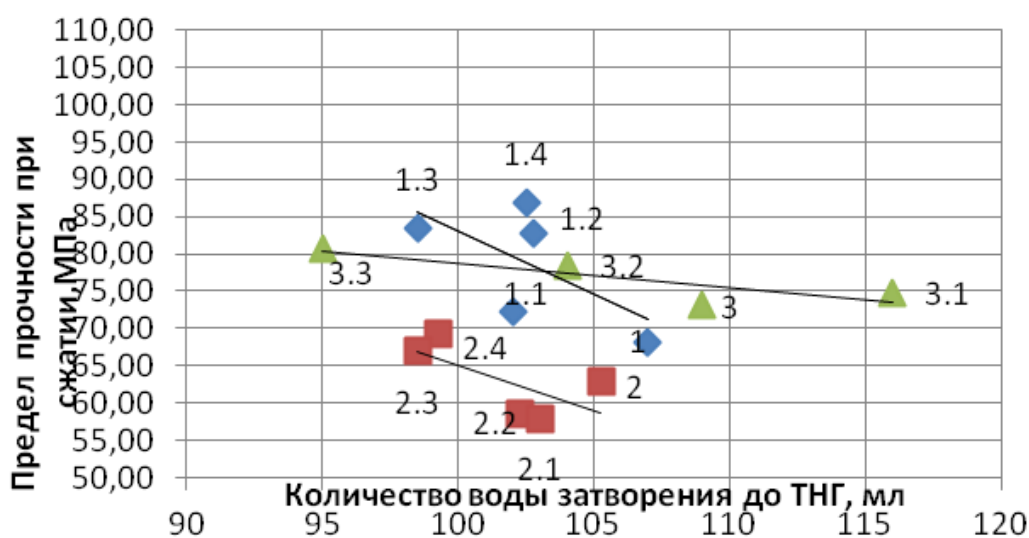


Рисунок 1 – Влияние вида добавок на прочность цементного камня при их содержании 10% после твердения в нормальных условиях

Эффективным является действие добавок, когда частица добавки со всех сторон плотно окружена частицами цемента. При плотнейшей упаковке частиц будет достигаться максимально возможный контакт частиц добавки с частицами цемента. Это зависит от водоцементного отношения, химического и гранулометрического состава микронаполнителей.



1 – 1 контроль; 1.1 – тоберморит; 1.2 – ранкинит; 1.3 – ДГШ; 1.4 – прир. волластонит;
 2 – 2 контроль; 2.1 – кв песок; 2.2 – топл. шлак; 2.3 – ВКЗ; 2.4 – ЗШО;
 3 – 3 контроль; 3.1 – ксонотлит; 3.2 – син. волластонит; 3.3 – корунд.

Рисунок 2 – Зависимость прочности цементного камня с 10% минеральных добавок от ТНГ

Составы минеральная добавка + суперпластификатор (рисунок 2) показали прочности в 28 суток ниже контроля с глениумом115, но в 3 месяца – в большинстве случаев – выше контроля.

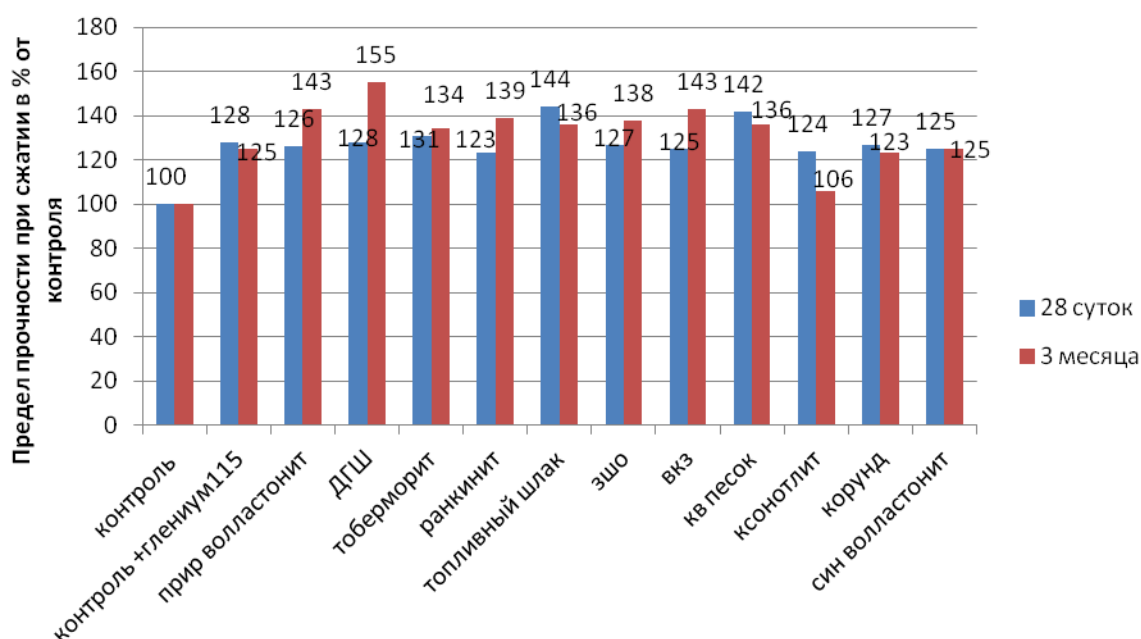
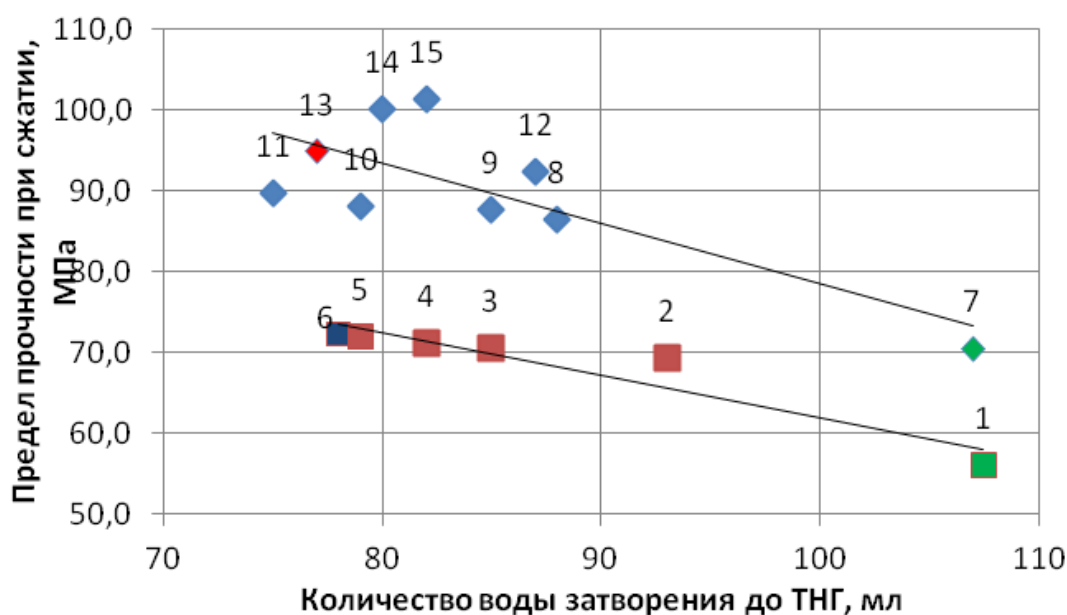


Рисунок 3 – Влияние вида добавок на прочность цементного камня при их содержании 10% и 1% суперпластификатора Глениум 115 после твердения в нормальных условиях



1- 2 контроль; 2 – ксонотлит; 3 – прир волластонит; 4 – корунд+ глениум 115; 5 – ДГШ; 6 – 2 контроль + глениум 115; 7 – 1 контроль; 8 – ранкинит; 9 – синтетический волластонит; 10 – ВКЗ; 11 – ЗШО; 12 – тоберморит; 13 – 1 контроль + глениум 115; 14 – кварцевый песок; 15 – топливный шлак

Рисунок 4 – Зависимость прочности цементного камня с 10% минеральных добавок и 1% суперпластификатора Глениум 115 от ТНГ

Таким образом, в ходе эксперимента была установлена возможность использования структурирующих минеральных добавок, которые включают в качестве основного элемента тройную кремне(алюмо-)кислородную цепь на основе диортогруппы $[\text{Si}_2\text{O}_7]$ и «мостикового» (Si, Al) – тетраэдра.

ВЛИЯНИЕ КРУПНОСТИ ПЕСКА НА ПРОЧНОСТЬ БЕТОНА С ВЫСОКОКАЛЬЦИЕВОЙ ЗОЛОЙ ТЭЦ

Мокров А. В. Семькина Т. В. – студенты, Овчаренко Г. И. – д. т. н., профессор
Алтайский государственный технический университет им И. И. Ползунова (г. Барнаул)

Самоуплотняющийся бетон на данный момент теряет свою популярность, в связи с тем, что его высокая подвижность заключается в больших затратах цемента, что делает его стоимость высокой, а получаемая прочность такого бетона просто не нужна. Решением этой проблемы стал высокоподвижный бетон, в нем в отличие от СУБ высокой подвижности добиваются не увеличением количества добавляемого цемента, а его заменой на тонкодисперсные заполнители и модификациями крупности песка. Актуальность высокоподвижных бетонных смесей на сегодняшний день стоит на высоком уровне. Как и в строительстве монолитных зданий, которые используют бетононасосы для подачи бетона на высокие этажи, так и на заводах ЖБИ высокоподвижный бетон получает популярность, из-за широкого использования кассетного производства. В СУБ используется 500-600 кг/м³ ПЦ, в то время как в высокоподвижном бетоне то же количество тонкодисперсной фракции состоит из 350-400 кг/м³ ПЦ с добавкой 150-200 кг/м³ тонкодисперсной фракции минерального наполнителя, что заметно снижает затраты при одинаково получаемой прочности.

Таблица 1 – Составы высокоподвижных бетонных смесей М 200 , ОК=20 см

Компо-ненты	Подбор состава по Окамуру		Подбор состава по Калашникову		КЖБИ-2 (контрольный)	
	Объем V, л	Масса, кг	Объем V, л	Масса, кг	Объем V, л	Масса, кг
ПЦ	113	350	119,4	370	135,8	421
минеральный наполнитель (ВКЗ)	100	200	111	222	-	-
Песок	248	650	214,1	561	265,2	694,7
Щебень	362,6	950	363,4	952	389,7	1021
Вода	180	180	230	230	221	221
Ип	1,58		2,15		1,35	
Ищ	1,768		1,856		1,596	
ρ кг/м ³	1003,6	2330	1038	2335	1012	2240

Примечание: Ип – избыток тонкодисперсной фракции над песком; Ищ – избыток песка над щебнем

В таблице 1 приведены конкретные составы бетонных смесей подвижностью по ОК=15 см, полученные по методам Окамуры и Калашникову В.И., а также в сравнении дан контрольный заводской состав кассетного производства КЖБИ-2.

Для эксперимента был выбран состав КЖБИ-2, на его основе были проведены эксперименты по регулированию избытка тонкодисперсной фракции наполнителя над песком (Ип), которые в своих работах описывают Окамура и Калашников. Была получена зависимость влияния модуля крупности (Мкр) и Ип на прочность бетона и его осадку конуса. Данные эксперимента приведены на рисунках 1 и 2.

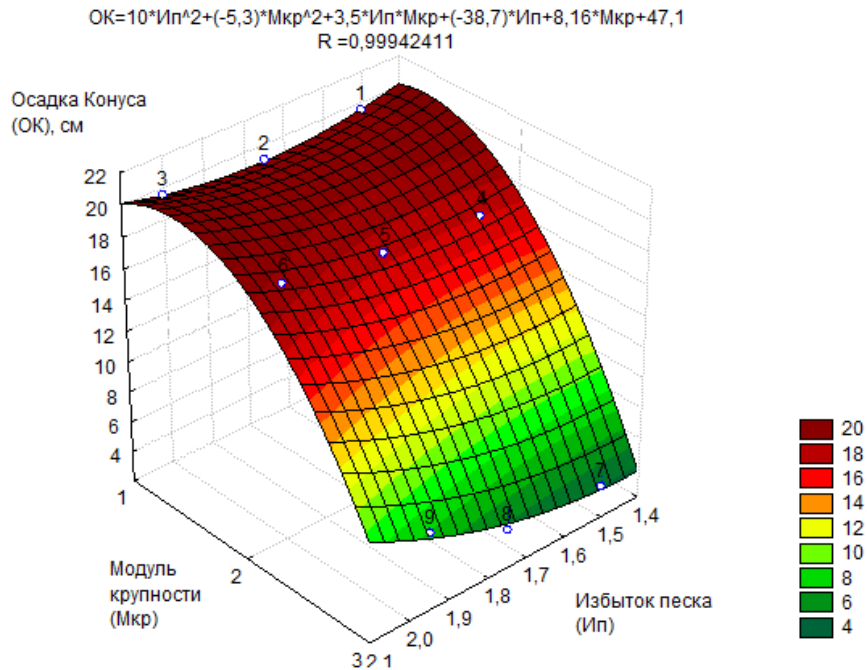


Рисунок 1 – Зависимость осадки конуса от модуля крупности и избытка песка

На рисунке 1 мы наблюдаем, что увеличение наполнителя от $I_{п} = 1,4$ до $I_{п} = 2,1$ существенно не сказывается на изменении подвижности бетонных смесей. Крупность песка до модуля $M_{к} = 2,0$ так же существенно не уменьшает подвижность. Однако песок с $M_{к} = 3$ нельзя применять для высокоподвижных бетонных смесей. Из рисунка 2 видно, что изменения прочности в рассматриваемых составах не значительные и можно сделать вывод, что нет смысла калибровки крупности песка, ради прочностных характеристик.

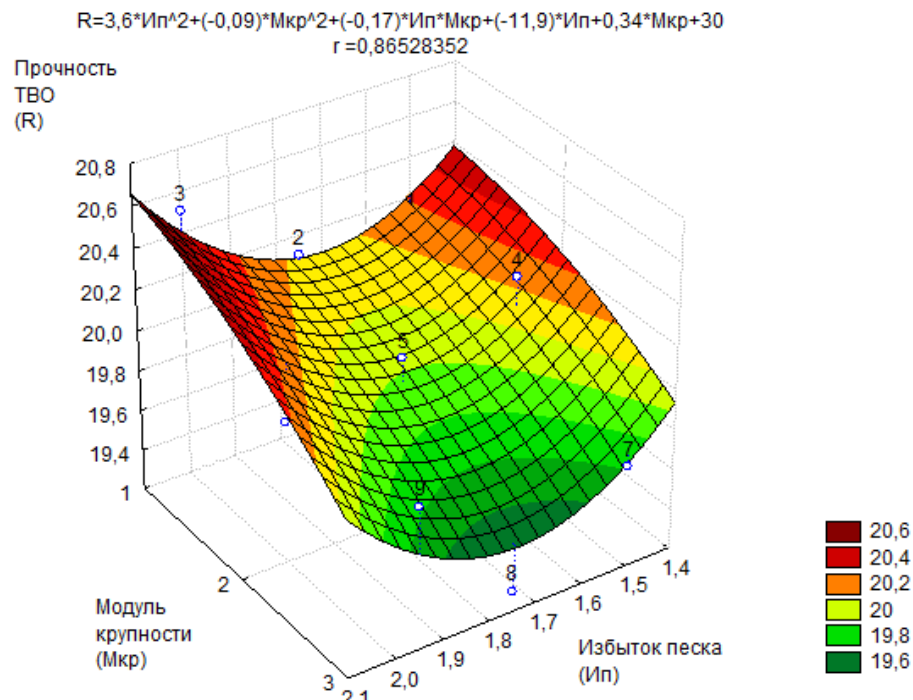


Рисунок 2 – Зависимость прочности от модуля крупности и избытка песка

Таким образом, можно уменьшить крупность мелкого заполнителя для увеличения требуемой осадки конуса, при этом, не повлияв на прочностные характеристики бетонной смеси.

ВЫБОР ДОБАВОК, ОБЕСПЕЧИВАЮЩИХ ПОЛУЧЕНИЕ ПОРТЛАНДЦЕМЕНТА С НОРМИРОВАННЫМ ВОДОУДЕЛЕНИЕМ

Недопёкина В.А., Неупокоев А.Н. – студенты, Козлова В. К. – д.т.н., профессор,
Божок Е. В. – аспирантка

Алтайский государственный технический университет им. И.И. Ползунова (г. Барнаул)

При производстве железобетонных изделий из бетонных смесей высокой подвижности, очень часто возникает проблема повышенного водоотделения бетонной смеси. Водоотделение — это процесс отжима воды в цементном тесте, растворе или бетоне под действием силы тяжести зерен заполнителя и частиц цемента. Водоотделение препятствует получению однородного бетонного тела и полноценному сцеплению твердеющих продуктов гидратации цемента с крупным заполнителем и стальной арматурой. Отделяющийся от бетона слой воды скапливается над последовательно укладываемыми слоями бетона. Это мешает сцеплению слоев и вызывает образование между соседними слоями более слабой по прочности прослойки с относительно большим содержанием воды. Такое расслаивание нарушает однородность бетонного монолита и в конечном счете ослабляет его прочность.

Водоотделение цементного теста усиливается при транспортировании, поэтому для приготовления бетонных смесей, транспортируемых на большое расстояние должны применяться портландцементы с нормированным водоотделением.

Что бы снизить водоотделение на заводах по производству бетонных смесей используют цементы с активными минеральными добавками, которые способствуют повышению водоудерживающей способности. В основном используются цементы с такими минеральными добавками как диатомит, трепел, опока. Они обладают водоудерживающей способностью, но в то же время увеличивают нормальную плотность, что не является положительным качеством при производстве изделий. Поэтому необходимо выбирать такие минеральные добавки, которые не только обладают способностью снижать водоотделение, но и незначительно влияют на водопотребность.

Целью исследования является определение влияния минеральных добавок различного происхождения на водоотделение подвижной бетонной смеси.

В качестве сырьевых материалов для проведения исследования использовались клинкер ОАО «Цемент», гипс, доменный гранулированный шлак (ДГШ), а так же минеральные добавки: доломит, зола, шлаки, являющиеся побочным продуктом алюмотермического производства хрома марок КВЦ 70, КВЦ 75.

Перед проведением эксперимента выполнена подготовка материалов, заключающийся в совместном помоле компонентов вяжущего:

- 1) клинкер+5%гипс+20%ДГШ(контроль);
- 2) клинкер+5%гипс+10%КВЦ70+10%ДГШ;
- 3) клинкер+5%гипс+10%КВЦ75+10%ДГШ;
- 4) клинкер+5%гипс+10%доломит+10%зола;
- 5) клинкер+5%гипс+10%доломит+10%ДГШ;
- 6) клинкер+5%гипс+10%зола+10%ДГШ;
- 7) клинкер+5%гипс+10%доломит.

Для данных составов определялось водоотделение, нормальная плотность и начало схватывания.

Доменный гранулированный шлак повышает водоотделение, а замена 10% ДГШ другими минеральными добавками приводит к его снижению. Зависимость водоотделения от состава цемента показана на рисунке 1.



Рисунок 1 – Зависимость водоотделения от состава цемента

Из полученных результатов видно, что каждая из добавок (и зола и доломит) значительно снижают водоотделение, но наибольший эффект достигается при их совместном введении. Добавка КВЦ тоже приводит к снижению водоотделения, но при этом существенно ускоряет схватывание портландцементного теста. Поэтому с целью снижения водоотделения может быть рекомендована добавка, состоящая из 10% доломита и 10% золы.

Влияние добавок золы и доломита на кинетику твердения цементных растворов изучалось на лабораторных образцах 20x20x20 мм, которые твердели в н.у. Образцы испытывались через 3, 7, 28 сутки.

При введении добавок золы и доломита происходит более медленное нарастание прочности (рисунок 2), но в возрасте 180 сут. прочность таких цементов превышает прочность контрольного состава.

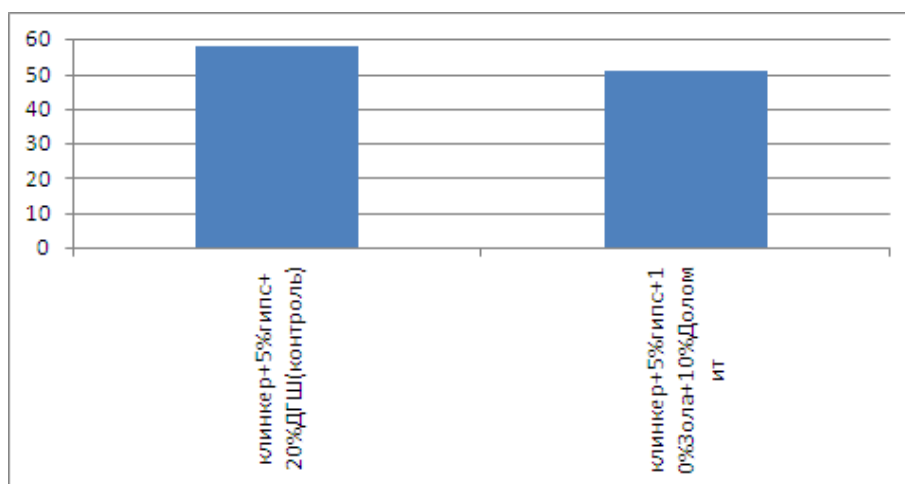


Рисунок 2 – Предел прочности на 28 суток, МПа

Полученные результаты позволяют утверждать, что ПЦ, полученный с добавкой 10% золы и 10% доломита, обладает нормированным водоотделением, но с более медленным нарастанием прочности.

ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОТИВОМОРОЗНЫХ ДОБАВОК ДЛЯ БЕТОНА

Ушкало А. В., Штраух М.В. – студенты, Щукина Ю. В. –к.т.н. доцент

Алтайский государственный технический университет им. И. И. Ползунова (г. Барнаул)

На начальном этапе развития технологии зимнего бетонирования основными приемами были: применение повышенных дозировок добавок-электролитов, в том числе и хлорсодержащих, раннее замораживание, термосное выдерживание конструкций, электротермообработка. Это повышало трудоемкость технологического процесса и снижало долговечность возводимых зданий и сооружений.

В целях обеспечения надежности и долговечности возводимых конструкций, современные методы зимнего бетонирования должны основываться на применении современных противоморозных добавок, не содержащих компонентов, вызывающих коррозию бетона и арматуры, в комплексе с прогрессивными методами выдерживания бетона при заданных положительных температурах до набора требуемой критической прочности.

В работе применялись следующие сырьевые материалы: ПЦ М 400 Д 20 Искитимского цементного завода, испытание согласно стандартной методике по ГОСТ 10178-85; песок - речной с поймы реки Оби, испытание согласно методике по ГОСТ 8735-88 ; добавки: Frost 25, ПМП, NNK, Rheobuild 181a, Pozzolith 501HE, Криопласт П25-1, Антифриз, Glenium 150.

Эксперимент проводился в соответствии с ГОСТ 30459-2008 «Добавки для бетонов и строительных растворов. Определение и оценка эффективности».

В работе была произведена сравнительная оценка эффективности современных противоморозных добавок применительно к «теплому» и «холодному» бетону.

Таблица 1 - Результаты оценки эффективности противоморозных добавок применительно к «теплому» бетону

Вид добавки	% введ. добавки (от массы цемента)	Расход цемента, кг/м ³	Водоцементное отношение (В/Ц)	Погружение конуса (Пк - 2)	Прочность при сжатии (среднее значение, МПа /% от конт.)	
					1 партия: 4ч мороз 28 сут. норм. тверд.	2 партия: 8ч мороз 28 сут. норм. тверд.
Контрольные образцы	-	550	0,78	5,5	18,0/ 100	18/ 100
Frost 25	4		0,73	5,6	18,0/ 100	19,1/ 107
ПМП	4		0,70	5,5	18,5/ 103	18,6/ 103
NNK	4		0,72	5,6	17/ 95	16,2/ 90
Rheobuild 181a	2		0,70	5,5	15,7/ 87	16,0/ 89
Pozzolith 501 HE	1,5		0,72	5,7	17,9/ 99	14,4/ 80
Криопласт П25-1	4,5		0,73	5,6	17,2/ 96	17/ 94
Антифриз	4		0,74	5,5	18,9/ 105	18,0/ 100
Glenium 150	1,65		0,70	5,5	21,8/ 121	18,4/ 102

Бетон, подвергнутый воздействию отрицательной температуры в первые четыре часа после формирования, только в одном случае не набирает необходимую прочность (95% и более от R28норм.тв.), это добавка Rheobuilt 181a -87% от контроля.

Бетон, подвергнутый воздействию отрицательной температуры в первые 8 часов после формирования, в большинстве случаев не набирает необходимую прочность (95% и более от R28норм.тв.). Введённое в раствор количество противоморозной добавки оказывается недостаточным для защиты смеси от замерзания, интенсификации процесса твердения и набора в дальнейшем необходимой прочности.

По истечению восьми часов морозного воздействия, когда образцы были помещены в нормальные условия твердения, после оттаивания процессы схватывания и твердения возобновились. Раствор начал набирать прочность. Однако, под воздействием раннего замораживания, вследствие расширения воды затвердения при замерзании, в бетоне образовался дополнительный объем пор и каналов. Воздействие отрицательных температур на ранней стадии твердения, даже в течение недлительного времени, отрицательно влияет на формирование структуры цементного камня.

Таблица 2 - Результаты оценки эффективности противоморозных добавок применительно к «холодному» бетону

Вид добавки	% введ. добавки (от массы цемента)	Расход цемента, кг/м ³	Водоцементное отношение (В/Ц)	Погружение конуса (Пк -2)	Прочность при сжатии (среднее значение, МПа /% от конт.)		
					1 партия: 28 сут. мороз 6ч разморозки	2 партия: 28 суток мороз 1 сут. разморозки	3 партия 28 суток мороз 28 сут. норм.тв.
Контрольные образцы	-	550	0,78	5,5	18,0/ 100	18/ 100	18,5/ 100
Frost	4		0,73	5,5	2,0/ 11	3,7/ 21	12,5/ 70
ПМП	4		0,70	5,6	2,2/ 12	4,8/ 27	13,5/ 75
NNK	4		0,72	5,7	1,3/ 7	2,3/ 13	12,5/ 70
Rheobuilt 181a	2		0,70	5,6	2,9/ 16	2,6/ 14	16,2/ 90
Pozzolith 501 HE	1,5		0,72	5,5	1,2/ 7	1,6/ 9	16,6/ 92
Криопласт П25-1	4,5		0,73	5,7	2,0/ 11	4,2/ 23	11,0/ 61
Антифриз	4		0,74	5,6	1,7/ 9	2,4/ 13	9,7/ 54
Glenium 150	1,65		0,70	5,8	1,0/ 6	3,0/ 17	19,7/ 110

Данная методика определения и оценки эффективности противоморозных добавок для «холодного» бетона или раствора не обеспечивает набора критической прочности до момента замерзания бетона. К тому же, сроки оттаивания на воздухе при температуре 20°C ±2, указанные в нормативных или технических документах на добавки разных производителей, различны. В большинстве случаев, предлагаемое время оттаивания недостаточно для возобновления процессов твердения и набора необходимой прочности бетонов на нормальнотвердеющих общестроительных цементах.

Из анализа таблицы 2 можно сделать вывод, что необходимо более длительное нахождение растворов в нормальных условиях после мороза, так как результаты прочности

растворов, которые размораживались 6 часов, составляют 6-16 % от прочности раствора, твердеющего в нормальных условиях, а которые размораживались сутки (рисунок 3 и 4) 9-26% , от контрольного. Из анализа результатов, при котором контрольные образцы бетона сразу после изготовления были помещены в морозильную камеру с температурой минус $16^{\circ}\text{C} \pm 2$ на 28 суток, видно что набора требуемой прочности (30% от прочности бетона, твердевшего в нормальных условиях) не произошло. По истечении 28 суток нормального твердения (возраст бетона 56 суток) бетон набирает порядка 70% от прочности бетона контрольного состава, твердевшего в нормальных условиях.

Степень воздействия отрицательных температур на дальнейшее твердение бетона определена тем, какую начальную прочность набрал бетон к моменту полного замораживания. Бетоны, набравшие к моменту полного замораживания критическую прочность, в большей степени восполняют потери прочности в дальние сроки твердения в нормальных условиях (56-90 суток).

При оценке эффективности действия той или иной противоморозной добавки, важно, насколько добавка интенсифицирует процесс схватывания и твердения в первые минуты и часы после укладки бетона в конструкцию и благотворно влияет на формирование плотной структуры цементного камня, чтобы обеспечить набор бетоном критической прочности до момента полного замораживания оставшейся воды и прекращения процесса твердения.