

## ВЫВОДЫ

Использование предлагаемой методики может позволить более точно учитывать все факторы, влияющие на работу многовитковых узлопастных винтовых свай «BAU» при их горизонтальном нагружении и приблизить данные методик расчета, к действительным данным работы свай полученных в ходе проведения натурных экспериментов.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Железков В.Н. Разработка нормативного документа "Проектирование и устройство фундаментов из винтовых свай" / В.Н. Железков, П.И. Романов, Л.И. Качановская, М.С. Ермошина // Вестник гражданских инженеров. - 2008. - №2. - С. 42-45.
2. Носков И.В. Исследование работы многовитковых винтовых свай / И.В. Носков, А.Ю. Халтурин // Ползуновский вестник. - 2011. - №1. - С. 142-147.

3. Бахолдин Б.В. Сопротивление свай горизонтальным нагрузкам / Б.В. Бахолдин, Е.В. Труфанова // Основания, фундаменты и механика грунтов. - 2010. - №6. - С. 8-13.
4. Мителюк Н.С. Сваи и свайные фундамент: справочное пособие / Н.С. Мителюк. - Киев. - Изд-во "Будивельник". - 1977. - 256 с.
5. Железков Н.В. Винтовые сваи в энергетических и других отраслях строительства. - СПб.: Издат. дом "Прагма", 2004. - 125 с.
6. СНиП 2.02.03-85. Свайные фундаменты
7. СП 50-102-2003. Проектирование и устройство свайных фундаментов.
8. ГОСТ 5686-94. Грунты. Методы полевых испытаний сваями.- М.: ИПК Изд-во стандартов, 1996.- 51 с.

*Заикин И.В. - аспирант, Носков И.В. - к.т.н., профессор, E-mail: noskov.56@mail.ru, Алтайский государственный технический университет; Коробова О.А. - д.т.н., профессор, Новосибирский государственный архитектурно-строительный университет.*

УДК 666.9.015.4

## ПОТЕНЦИОМЕТРИЧЕСКИЙ МЕТОД ОПРЕДЕЛЕНИЯ ЭФФЕКТИВНОСТИ ДОБАВОК, ЗАМЕДЛЯЮЩИХ СХВАТЫВАНИЕ ЦЕМЕНТОВ

В.К. Козлова, В.Г. Григорьев, А.М. Маноха., Е.Ю. Малова

*Изучен механизм действия добавок замедляющих схватывание цементных тест изготовленных из портландцемента и высокоглиноземистого цемента. Показано, что все добавки-замедлители схватывания снижают скорость роста показателя pH жидкой фазы цементного теста. Потенциометрический метод позволяет оценить эффективность действия добавок-замедлителей.*

*Ключевые слова: цементное тесто, показатель pH, добавки, замедление схватывания.*

## ВВЕДЕНИЕ

Авторами работы [1] отмечалось, что схватывание цементного теста и природа индукционного периода являются наименее изученными в химии цемента. Схватывание представляет собой процесс перехода цементного теста из жидкотекучего состояния в состояние твердого тела. В начальный период реакции взаимодействия с водой минералов, слагающих портландцементный клинкер, протекает очень быстро и приводят к потере пластичности цементного теста. С целью удлинения сроков, при которых смеси цемента с водой сохраняют необходимую пластичность, при производстве цемента или при изготовлении растворных и бетонных смесей

для регулирования скорости начальных реакций вводят различные химические добавки. Известен целый ряд добавок, замедляющих протекание реакций гидратации в начальный период: природный гипсовый камень, лигносульфонат и его модификации, гидроксикарбоновые кислоты и их соли, углеводы (глюкоза, сахароза, глицерин), гидроксильированные полимеры, растворимые бораты и фосфаты, соли свинца, меди, цинка, а также различные сочетания этих добавок.

Большинство исследователей убеждены, что замедление схватывания происходит вследствие адсорбции замедлителя на поверхности цементных зерен и продуктов гидратации, а также вследствие образования

продуктов гидратации, создающих защитную пленку, препятствующую проникновению воды к внутренней части зерен. Так, в частности, объясняется замедляющее влияние гипса на гидратацию трехкальциевого алюмината и цемента [2]. Однако таким механизмом влияния добавок не удается объяснить замедляющий эффект многих из них [3], и было высказано мнение, что видимо, нет единого механизма, с помощью которого можно истолковать действие всех замедлителей. Однако автор отметил, что замедляющее действие в некоторых случаях зависит от pH среды.

При производстве цемента в России в качестве добавки, замедляющей схватывание, в основном, используется двуводный гипс. Изучению его влияния на гидратацию трехкальциевого алюмината посвящено большое количество работ, результаты которых достаточно противоречивы. Некоторые авторы утверждают, что гидратация  $C_3A$  происходит одинаково быстро как в составе молотого клинкера, так и в составе цемента, содержащего добавки-замедлители. Степень гидратации  $C_3A$  в цементах с добавками и без добавок высока.

Необходимо отметить, что портландцементные клинкеры, выпускаемые заводами России, являются низкоалюминатными. Есть виды цемента, в которых расчетное содержание  $C_3A$  ограничивается 2-5 %, а фактическое может быть еще меньше, но, тем не менее, вводимая добавка гипсового камня замедляет схватывание малоалюминатных цементов, что хорошо согласуется с мнением авторов [3], что схватывание портландцементных тест в первую очередь зависит от реакции минералов-силикатов.

Многие зарубежные производители и потребители портландцемента стремятся не применять в качестве добавок, замедляющих схватывание цементного теста, природный гипсовый камень или ангидрит в связи с тем, что сернокислый кальций из их состава в процессе гидратации цемента и при дальнейшей службе цементного камня участвует в образовании экспансивных фаз таких, как этрингит и таумасит. Особенно опасно позднее образование этих минералов.

В настоящее время не выработаны единые принципы оценки эффективности действия различных добавок-замедлителей. В отечественной и зарубежной литературе не уделяется достаточного внимания выяснению механизма влияния добавок, действие каждой объясняется, как правило, несколькими

причинами. Без четкого понимания механизма влияния трудно выбрать виды наиболее эффективных добавок и определить их количество. В большинстве случаев тип добавки и ее количество определяются экспериментально. Теоретическое обоснование протекающих процессов может дать возможность предвидения результатов и отдаленных последствий применения химических добавок-замедлителей.

Анализ литературных данных и результаты наших исследований [4] позволили утверждать, что роль всех добавок-замедлителей схватывания заключается в регулировании концентрации гидроксида кальция в жидкой фазе цементного теста. Однако необходимо проведение дополнительных исследований по изучению действия различных добавок, чтобы уточнить и конкретизировать сделанные раньше выводы.

С целью выяснения истинного механизма влияния добавок-замедлителей и их эффективности был изучен характер изменения показателя pH жидкой фазы цементных тест различного состава от момента затворения до начала схватывания.

### ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНАЯ ЧАСТЬ

Цементные теста готовились на основе портландцементного клинкера цементного завода ОАО «Искитимцемент» и высокоглиноземистого цемента, приготовленного из высокоглиноземистых клинкеров алюминиотермического производства Ключевской обогатительной фабрики. В качестве добавок, замедляющих схватывание, использовались гипсовый камень, сахароза, борная кислота, тринатрийфосфат, виннокислый натрий, известняк, доломит. Последние вводились в цемент в качестве добавок частично или полностью заменяющих добавку доменного гранулированного шлака. Определение величины показателя pH жидкой фазы цементного теста осуществлялось при помощи универсального иономера ЭВ-74, замеры показателя pH производились сразу после приготовления теста, затем через каждые 5 минут, для теста с добавками тринатрийфосфата и борной кислоты – через 10 минут. Все виды цементного теста приготовлены с водоцементным отношением равным 0,6. По полученным данным построены зависимости, представлены на рисунках 1-5.

### ОБСУЖДЕНИЕ РЕЗУЛЬТАТОВ

Как видно из приведенных данных, для жидкой фазы теста, приготовленного из мо-

## ПОТЕНЦИОМЕТРИЧЕСКИЙ МЕТОД ОПРЕДЕЛЕНИЯ ЭФФЕКТИВНОСТИ ДОБАВОК, ЗАМЕДЛЯЮЩИХ СХВАТЫВАНИЕ ЦЕМЕНТОВ

лотового клинкера без добавок-замедлителей, характерно быстрое увеличение показателя pH, от значения 12,85 до 13,30 за 25 минут, при таком показателе pH тесто начинает схватываться. Рост показателя pH цементного теста от момента затворения объясняется повышением концентрации гидроксида кальция в жидкой фазе за счет выделения  $\text{Ca}(\text{OH})_2$  при гидролизе всех клинкерных минералов, особенно при гидролизе трехкальциевого силиката. Рост уровня pH заканчивается к моменту пересыщения жидкой фазы цементного теста растворенным  $\text{Ca}(\text{OH})_2$ , начинается его кристаллизация, сопровождающаяся некоторым снижением значения pH.

Введение добавки гипса приводит к снижению начального значения показателя pH и более медленному увеличению его со временем до значения равного 13,00. Начало схватывания наступает при более низком значении показателя pH, продолжающегося еще некоторое время увеличиваться.

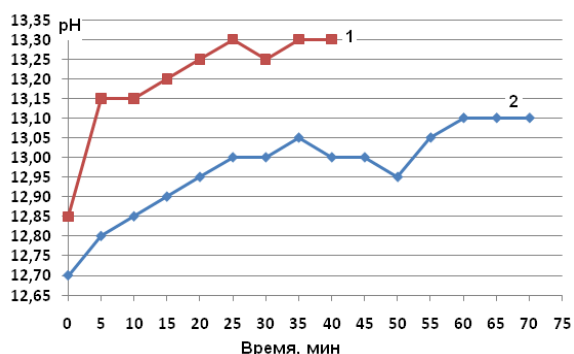


Рисунок 1 – Изменение показателя pH для теста из молотого портландцементного клинкера (1) и из цемента, содержащего 5% двуводного гипса (2)

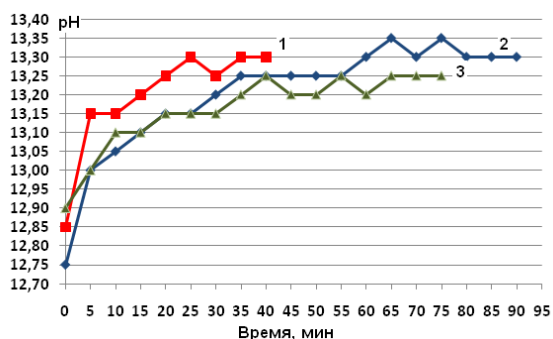


Рисунок 2 - Изменение показателя pH для теста из молотого портландцементного клинкера (1), для теста из молотого клинкера с добавкой 0,15% виннокислого натрия (2), с добавкой 0,05% лимонной кислоты (3)

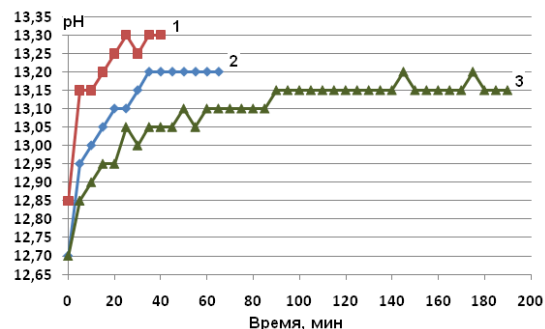


Рисунок 3 - Изменение показателя pH для теста из молотого портландцементного клинкера (1), для теста из молотого клинкера с добавкой 0,1% сахарозы (2), с добавкой 0,1% тринатрийфосфата (3)

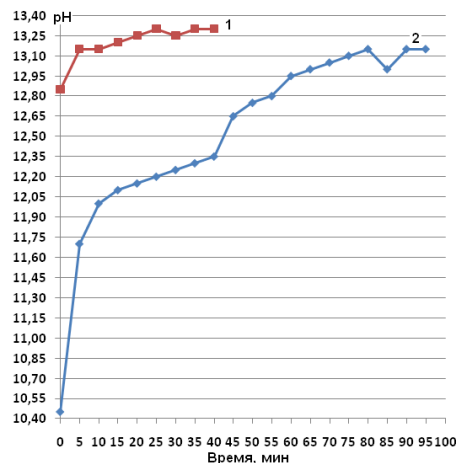


Рисунок 4 - Изменение показателя pH для теста из молотого портландцементного клинкера (1) и для теста из молотого клинкера с добавкой 0,1% борной кислоты (2)

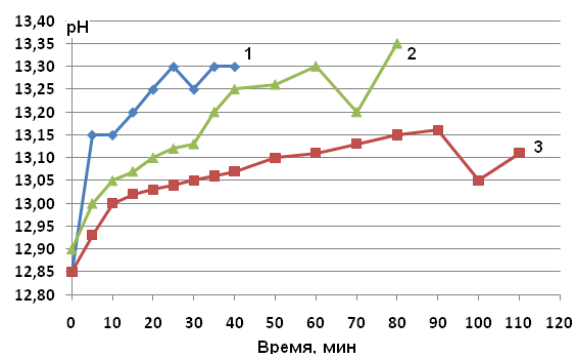


Рисунок 5 – Изменение показателя pH для теста из молотого портландцементного клинкера (1), для теста из молотого клинкера с добавкой 20% известняка (2), с добавкой 20% доломита (3)

Приготовление цементного теста с другими добавками, замедляющими его схваты-

вание, также приводит к уменьшению скорости роста показателя pH и увеличению времени, при котором достигается его уровень, соответствующий началу схватывания. Механизм понижающего влияния добавок на величину показателя pH различен, но все взаимодействия добавок с цементным тестом приводят к уменьшению содержания  $\text{Ca}(\text{OH})_2$  в растворенном состоянии в жидкой фазе цементного теста.

Введение добавок-замедлителей при приготовлении цементного теста на основе высокоглиноземистых клинкеров алюмо-термического производства также сопровождается снижением скорости роста показателя pH и увеличением времени, необходимого для достижения предельного уровня, при котором начинается схватывание. Для высокоглиноземистых цементов этот уровень соответствует величине 11,50-11,65 (рисунок 6).

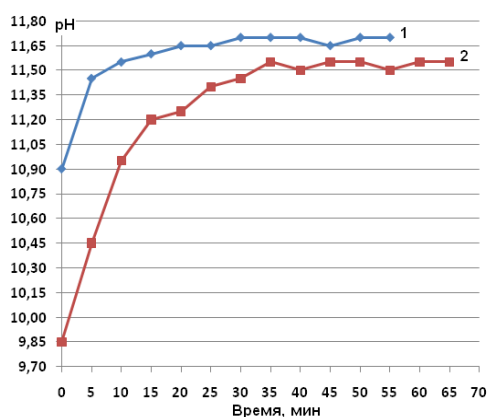


Рисунок 6 - Изменение показателя pH для теста из высокоглиноземистого клинкера (1) и для теста из высокоглиноземистого клинкера с добавкой 0,05% борной кислоты (2)

Рассмотрим возможный механизм влияния добавок-замедлителей на характер изменения величины показателя pH жидкой фазы цементного теста.

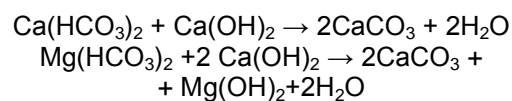
Уменьшение скорости роста показателя pH в цементном тесте с добавкой двуводного сернокислого кальция, по сравнению с бездобавочным цементным тестом, а следовательно и снижение концентрации  $\text{Ca}(\text{OH})_2$  в жидкой фазе может быть объяснено, с одной стороны, тем, что в цементном тесте происходит взаимодействие между гидроксидом и сульфатом кальция с образованием гидрокосульфата кальция состава  $\text{Ca}(\text{OH})_2 \cdot \text{CaSO}_4 \cdot n\text{H}_2\text{O}$ , с другой стороны известно, что в присутствии сульфата кальция резко снижается растворимость  $\text{Ca}(\text{OH})_2$  [5].

Снижение показателя pH при введении в цементное тесто добавок слабых кислот объясняется их взаимодействием с гидроксидом кальция, что приводит к уменьшению концентрации последнего в жидкой фазе цементного теста. Добавка сахарозы в цементном тесте взаимодействует с  $\text{Ca}(\text{OH})_2$  с образованием сахаратов кальция.

Виннокислый натрий также способен взаимодействовать с  $\text{Ca}(\text{OH})_2$  с образованием труднорастворимой кальциевой соли винной кислоты. Аналогичным механизмом влияния обладает добавка тринатрийфосфата, которая реагирует с  $\text{Ca}(\text{OH})_2$  с образованием труднорастворимого фосфата кальция.

Добавки карбонатов кальция и магния оказывают более выраженное сдерживающее влияние на рост показателя pH жидкой фазы цементного теста, чем добавка двуводного гипса.

В процессе гидролиза указанных карбонатов образуются растворимые гидрокарбонаты состава  $\text{Ca}(\text{HCO}_3)_2$  и  $\text{Mg}(\text{HCO}_3)_2$ , которые взаимодействуют с гидроксидом кальция по реакциям



При этом гидрокарбонат магния связывает в 2 раза большее количество  $\text{Ca}(\text{OH})_2$ , что хорошо согласуется с экспериментальными данными, показывающими, что добавка доломита является более эффективным замедлителем схватывания, чем добавка известняка. Необходимо отметить, что в присутствии карбонатных добавок в цементном тесте возможно образование гидрокарбонатов состава  $m\text{Ca}(\text{OH})_2 \cdot \text{CaCO}_3 \cdot n\text{H}_2\text{O}$ , что приведет к связыванию дополнительного количества  $\text{Ca}(\text{OH})_2$ .

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

1. Потенциометрический метод определения изменений показателей pH жидкой фазы цементного теста от момента затворения позволяет зафиксировать для них начало схватывания.

2. Установлено, что от момента затворения до начала схватывания наблюдается быстрый рост показателя pH жидкой фазы цементных тест, изготовленных на основе различных цементов.

3. Вводимые добавки-замедлители схватывания снижают скорость роста показателя pH жидкой фазы и приводят к увеличению

отрезка времени, за который достигается уровень рН, соответствующий началу схватывания. Действие всех видов добавок-замедлителей заключается в уменьшении количества Са(ОН)<sub>2</sub>, находящегося в растворенном состоянии в жидкой фазе цементного теста.

4. Эффективность добавок-замедлителей схватывания можно оценивать по их количеству, способному обеспечивать схватывание цементного теста в нормируемое время.

5. В настоящее время вид добавок, замедляющих схватывание цементов, и их необходимое количество определяют путем изготовления пробных замесов. Эти задачи могут быть решены при помощи предлагаемого потенциометрического метода.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Пашенко А.А. Безгипсовые цементы для бетонов с короткими режимами пропаривания // Цемент. – 1990. – С.15-17.
2. Ратинов В.Б., Розенберг Т.И. Добавки в бетоны. – М.: Стройиздат, 1956. – 280 с.
3. Тэйлор Х. Химия цемента.–М.: Мир,1996. –560 с.
4. Козлова В.К. Состав алюминатно-алюмоферритных фаз и их продукты гидратации в различных цементах и смешанных вяжущих. Часть II. / В.К. Козлова, Ю.В. Карпова, А.В. Вольф. – Барнаул: Изд-во АлтГТУ, 2009. – 186 с.
5. Бойтон Р.С. Химия и технология извести. – М.: Стройиздат, 1972.–69 с.

*Козлова В.К. – д.т.н., профессор, Григорьев В.Г. – к.т.н., докторант, Маноха А.М. – к.т.н., доцент, Малова Е.Ю. - аспирант, Алтайский государственный технический университет, E-mail: kozlova36@mail.ru..*

УДК 624.131.23

## ПРОЧНОСТЬ ИНДИВИДУАЛЬНЫХ КОНТАКТОВ МЕЖДУ ТВЕРДЫМИ СТРУКТУРНЫМИ ЭЛЕМЕНТАМИ ЛЕССОВИДНЫХ ГРУНТОВ В УСЛОВИИ СИНЕРЕЗИСА

В.Н. Лебзак, Г.И. Швецов, А.И. Тищенко, Д.В. Куликова, О.В. Буйко

*В статье приводятся Динамика изменения прочности индивидуальных контактов между твердыми структурными элементами лессовидных грунтов. Конструкция разработанного прибора*

*Ключевые слова: лессовидный грунт, индивидуальный контакт, частица.*

#### ВВЕДЕНИЕ

Основным количественным показателем энергетических признаков структуры лессовых грунтов является величина силы сцепления между твердыми структурными элементами в единичном контакте. Такие силы получили название структурных связей. Структурные связи в лессовых грунтах результат суммарного действия сил притяжения и отталкивания.

На практике применяют различные методы определения прочности индивидуальных контактов в глинистых грунтах. Расчетный метод определения прочности индивидуальных контактов основан на знании величины макроскопической прочности структуры  $P_c$  и микроскопического параметра  $\chi$  – число контактов в единице площади сечения разрушения. Особую трудность при проведении экспериментов по прямому измерению сил

сцепления в контактах представляет точная фиксация момента соприкосновения частиц и определения площади контакта после его разрушения. Расчетный метод и прямые методы определения прочности индивидуального контакта между твердыми структурными элементами оснований зданий имеют некоторые недочеты.

В расчетном методе невысока его точность, так как число контактов в единице площади сечения разрушения принимается по графической зависимости среднего числа частиц от узла до узла от пористости. Прямые методы измерения прочности индивидуального контакта требует высокочувствительных установок и измерения производят в растворах электролитов, что недопустимо при определении прочности индивидуального контакта между твердыми структурными элементами образцов лессовых грунтов основа-