

**ФЕДЕРАЛЬНОЕ АГЕНТСТВО ПО ОБРАЗОВАНИЮ**  
**Белгородский государственный технологический**  
**университет им. В. Г. Шухова**

**Ш. М. Рахимбаев, Н. Н. Оноприенко**  
**Т. В. Аниканова, С. В. Минаков**

**МИНЕРАЛЬНЫЕ ВЯЖУЩИЕ**  
**ВЕЩЕСТВА**

Лабораторный практикум

**Белгород**  
**2010**

ФЕДЕРАЛЬНОЕ АГЕНТСТВО ПО ОБРАЗОВАНИЮ  
Белгородский государственный технологический  
университет им. В. Г. Шухова

Ш. М. Рахимбаев, Н. Н. Оноприенко  
Т. В. Аниканова, С. В. Минаков

## МИНЕРАЛЬНЫЕ ВЯЖУЩИЕ ВЕЩЕСТВА

Рекомендовано Учебно-методическим объединением вузов РФ  
по образованию в области строительства в качестве учебного  
пособия для студентов, обучающихся по направлению  
270100 «Строительство»

Белгород  
2010

УДК 666.9  
ББК 35.41  
М 61

Рецензенты: д-р техн. наук, проф. В.Т.Перцев  
д-р техн. наук, проф. А.И.Везенцев  
д-р техн. наук, проф. А.С.Коломацкий

**Минеральные** вяжущие вещества: лабораторный практикум:  
М61 учебное пособие / Ш.М.Рахимбаев, Н.Н. Оноприенко,  
Т.В. Аниканова, С.В. Минаков. – Белгород: Изд-во  
БГТУ, 2010. – 92 с.

ISBN 978–5–361–00122–4

Данный лабораторный практикум посвящен методам испытаний и анализа важнейших неорганических вяжущих материалов – портландцемента и его разновидностей, строительного гипса и шлаковых цементов. Такие виды вяжущих, как магнезиальные цементы, гипсовые вяжущие, полученные высокотемпературным обжигом, не рассматриваются, так как они не производятся и не применяются в строительном комплексе Российской Федерации.

Учебное пособие может быть использовано студентами специальности 270106 – Производство строительных материалов, изделий и конструкций очной и заочной форм обучения при изучении дисциплины «Вяжущие вещества».

УДК 666.9  
ББК 35.41

ISBN 978–5–361–00122–4

© Белгородский государственный  
технологический университет  
(БГТУ) им. В.Г. Шухова, 2010

## ОГЛАВЛЕНИЕ

ВВЕДЕНИЕ.....	5
РАЗДЕЛ 1. ПОРТЛАНДЦЕМЕНТ И ШЛАКОПОРТЛАНДЦЕМЕНТ	
Лабораторная работа № 1. Определение минерального состава клинкера.....	5
Лабораторная работа № 2. Определение удельной поверхности порошков вяжущих и других материалов.....	10
Лабораторная работа № 3. Определение равномерности изменения объема цементного камня.....	19
Лабораторная работа № 4. Испытание портландцемента. Определение свойств цементного теста.....	24
Лабораторная работа № 5. Кинетика твердения цементного камня.....	31
Лабораторная работа № 6. Определение аномального схватывания цементного теста.....	35
Лабораторная работа № 7. Определение вида цемента.....	41
РАЗДЕЛ 2. ГИПСОВЫЕ ВЯЖУЩИЕ.....	45
Лабораторная работа № 1. Определение содержания свободной и гигроскопической воды в природном гипсовом камне.....	45
Лабораторная работа № 2. Определение содержания в гипсе гидратной (химически связанной) влаги.....	47
Лабораторная работа № 3. Водопотребность, сроки схватывания теста, механическая прочность гипсового камня.....	50
Лабораторная работа № 4. Определение реологических свойств гипсовых суспензий. Краткие сведения по основам реологии.....	54
Лабораторная работа № 5. Кинетика структурообразования гипсового теста.....	59
Лабораторная работа № 6. Влияние добавок на водостойкость гипсового камня.....	64
РАЗДЕЛ 3. ШЛАКОВЫЕ ВЯЖУЩИЕ.....	66
Основные сведения о шлаках.....	66
Лабораторная работа № 1. Изучение зависимости основных показателей от вида шлака, состава и дозировки активатора.....	72
ПРИЛОЖЕНИЯ.....	80
Приложение 1. Перечень государственных стандартов на испытание основных строительных материалов и изделий.....	80

Приложение 2. Перечень государственных стандартов на химические реактивы.....	82
Приложение 3. Международная система единиц (СИ).....	85
Приложение 4. Расчет количества химического реагента.....	88
Приложение 5. Наименование и состав основных пластификаторов и суперпластификаторов.....	89
Приложение 6. Классы вредности соединений, применяемых для производства разжижителей цементных систем.....	90
БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК.....	91

## ВВЕДЕНИЕ

Перечень лабораторных работ составлен на основе утвержденных программ по дисциплине «Вязущие вещества».

Особенностью данного лабораторного практикума является то, что в нем подробно описываются лишь те лабораторные работы, по которым отсутствуют государственные стандарты.

Перепечатки ГОСТ 310.3–76 и 310.4–81 в нем отсутствуют, так как при выполнении лабораторных работ с их использованием легко снабдить студентов подлинными текстами этих стандартов.

Так как в настоящее время приборы и расходные материалы, согласно Евростандарту EN19, не производятся и не поставляются, выполнение лабораторных работ по ГОСТ 30744–2001 «Цементы. Методы испытаний с использованием полифракционного песка» взамен ГОСТ 310.3 и 310.4 не предусмотрено.

### РАЗДЕЛ 1. ПОРТЛАНДЦЕМЕНТ И ШЛАКОПОРТЛАНДЦЕМЕНТ

#### Лабораторная работа № 1

#### Определение минерального состава клинкера

*Цель работы:* определение минерального состава цементного клинкера или цемента.

*Материалы и оборудование:* цементный клинкер, цемент, рентгенографическая установка фазового анализа, фарфоровая ступка.

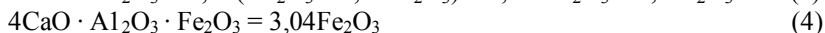
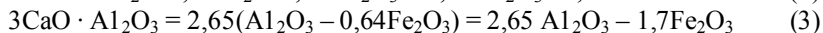
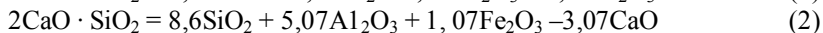
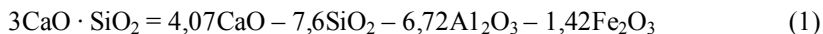
*Расчетный способ.* Портландцементный клинкер представляет собой спек в форме горошин, состоящий из кристаллических и стекловидных соединений. Это полуфабрикат. Портландцемент получают путем тонкого измельчения (помола) клинкера в смеси с 4...7 % гипса.

Химический состав портландцементного клинкера обычно находится в следующих пределах, мас. %:  $\text{CaO} = 61 \dots 67$ ;  $\text{SiO}_2 = 20 \dots 24$ ;  $\text{Al}_2\text{O}_3 = 3 \dots 8$ ;  $\text{Fe}_2\text{O}_3 = 0,5 \dots 6$ ;  $\text{MgO} < 5 \dots 6$ ;  $(\text{K}_2\text{O} + \text{Na}_2\text{O}) < 1,0 \dots 1,5$ .

В составе клинкера эти оксиды находятся в виде химических соединений – минералов: алита, состав которого в упрощенном виде можно выразить в виде трехкальциевого силиката  $3\text{CaO} \cdot \text{SiO}_2$ , белита – двухкальциевого силиката  $2\text{CaO} \cdot \text{SiO}_2$ , трехкальциевого алюмината  $3\text{CaO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3$  и алюмоферритов кальция, которые обычно имеют приближенный состав  $4\text{CaO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot \text{Fe}_2\text{O}_3$  (четырёхкальциевый алюмоферрит).

Зная химический состав, можно рассчитать минеральный состав клинкера. Расчет делают, исходя из следующих предположений: при синтезе и охлаждении клинкера происходит равновесная кристаллизация минералов с образованием алита, белита, трехкальциевого алюмината и алюмоферритов кальция. Оксид магния в небольшом количестве входит в кристаллическую решетку алита, а большая его часть выделяется в свободном виде. Оксиды калия и натрия, реагируя с сульфат-ионами клинкерного расплава, образуют соответствующие кристаллические сульфаты, а их избыток входит в кристаллическую решетку белита (оксид калия) либо трехкальциевого алюмината (оксид натрия).

Исходя из этого, были разработаны различные способы расчета минералогического состава клинкера по результатам химического анализа. В нашей стране обычно используются следующие формулы:



Для характеристики поргланцементного клинкера служат также коэффициент насыщения КН, глиноземный  $p$  и силикатный  $n$  модули.

Коэффициент насыщения характеризует отношение количества извести, входящей в состав алита и белита клинкера, к тому его количеству, которое необходимо для того, чтобы весь кремнезем клинкера был связан в составе трехкальциевого силиката. Последнее равно  $2,8 \text{SiO}_2$ , так как в трехкальциевом силикате на 1 часть (по массе) кремнекислоты  $\text{SiO}_2$  приходится 2,8 части извести. Коэффициент насыщения можно рассчитать по следующей упрощенной формуле:

$$\text{КН} = \frac{\text{CaO} - 1,65 \text{Al}_2\text{O}_3 - 0,35 \text{Fe}_2\text{O}_3 - 0,75 \text{SO}_3}{2,8 \text{SiO}_2} \quad (5)$$

Глиноземный и силикатный модули рассчитывают по формулам:

$$p = \frac{\text{Al}_2\text{O}_3}{\text{Fe}_2\text{O}_3}; \quad (6)$$

$$n = \frac{\text{SiO}_2}{\text{Al}_2\text{O}_3 + \text{Fe}_2\text{O}_3}. \quad (7)$$

Чем больше коэффициент насыщения клинкера, тем выше содержание в нем алита и при прочих равных условиях скорость твердения и марка цемента по прочности.

В современных клинкерах коэффициент насыщения обычно находится в пределах 0,80...0,95.

Глиноземный модуль отражает соотношение в клинкере алюмината и алюмоферрита кальция. Его увеличение обычно сопровождается ускорением твердения цемента в ранние сроки.

Глиноземный модуль варьирует в пределах 1,0...3,0.

Силикатный модуль находится в пределах 1,7...3,5. Он характеризует отношение в клинкере силикатов к сумме алюминатных и алюмоферритных фаз.

По формулам (1)...(4) можно рассчитать минеральный состав клинкеров, зная их химический состав.

Содержание в клинкере различных минералов в процентах можно рассчитать также, если известны коэффициент насыщения, глиноземный модуль, а также содержание  $\text{Al}_2\text{O}_3$  либо  $\text{Fe}_2\text{O}_3$ .

Для этого можно использовать формулы, предложенные В.А.Киндом:

$$\begin{aligned} 3\text{CaO} \cdot \text{SiO}_2 &= 3,8\text{SiO}_2(3\text{KH} - 2) \\ 2\text{CaO} \cdot \text{SiO}_2 &= 8,6\text{SiO}_2(1 - \text{KH}) \end{aligned}$$

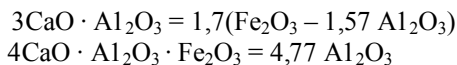
Содержание трехкальциевого алюмината и четырехкальциевого алюмоферрита в клинкере рассчитывают по различным формулам, которые выбирают, исходя из численного значения глиноземного модуля.

При  $p > 0,64$ , что чаще всего наблюдается на практике, содержание минералов в процентах рассчитывают по формулам:

$$\begin{aligned} 3\text{CaO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 &= 2,65(\text{Al}_2\text{O}_3 - 0,64\text{Fe}_2\text{O}_3) \\ 4\text{CaO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot \text{Fe}_2\text{O}_3 &= 3,04\text{Fe}_2\text{O}_3 \end{aligned}$$



При  $p < 0,64$ :



Расчетное содержание клинкерных минералов часто значительно отличается от фактического, так как кристаллизация клинкерного расплава происходит в неравных условиях.

*Петрографический метод.* Более точно содержание минералов портландцементного клинкера можно рассчитать с помощью оптического микроскопа. Этот метод основан на том, что при увеличении в несколько сот раз минералы портландцементного клинкера можно отличить друг от друга по внешнему виду и показателям преломления света [1, 2].

Этот метод является наиболее надежным, требует минимального количества вещества для анализа, однако его могут использовать лишь очень опытные специалисты, поэтому его применяют не во всех лабораториях цементных заводов.

*Рентгенографический фазовый анализ.* Более широко, особенно в научно-исследовательских лабораториях, применяется качественный и количественный рентгенографический анализ фазового состава портландцементного клинкера [1, 2].

Этот метод основан на том, что высокодисперсный порошок клинкера подвергается облучению рентгеновскими лучами, длина волны которых находится в пределах  $1^{-3} \dots 10^{-5}$  нм (нанометр равен  $10^{-9}$  м).

Длина волны рентгеновских лучей близка к межплоскостным расстояниям в кристаллической решетке твердых тел. При этом рентгеновские лучи, отражаясь от регулярно расположенных атомных и ионных слоев кристаллических веществ, отражаются от них и фиксируются на диаграммной ленте в виде ряда пиков.

Относительная высота и взаимное расположение этих пиков являются характерными для разных веществ, что позволяет по рентгенограмме определить наличие в данном порошке тех или иных кристаллических соединений.

Так, например, основными аналитическими пиками алита являются, нм: 0,322; 0,302; 0,277; 0,2602; 0,2185; 0,1926; 0,1771; 0,1752; 0,1632 и др.

Пики других клинкерных минералов, нм:

$\beta$ - $C_2S$  (белит) – 0,2785; 0,2748; 0,2609; 0,2189 и др.;

$C_3A$  – 0,4235; 0,4080; 0,2700; 0,2204; 0,1908; 0,1558 и др.;

$C_4AF$  – 0,277; 0,263; 0,204; 0,192 и др.

При прочих равных условиях относительная интенсивность пиков клинкерных минералов пропорциональна их количественному содержанию в смеси. На этом основано количественное определение минерального состава клинкера.

Однако высота пиков клинкерных минералов в смеси зависит также от степени их кристаллизации, дисперсности частиц, их ориентации в смеси, толщины слоя порошка и других факторов. В связи с этим для достаточно точного количественного определения минерального состава клинкера в порошок добавляют так называемый внутренний стандарт, т.е. вещество, которое отличается высоким совершенством кристаллической структуры и интенсивными пиками отражения. В качестве такого вещества применяют, например, фтористый кальций  $CaF_2$ . Исходят из того, что все факторы, влияющие на интенсивность пиков исследуемого вещества, оказывают такое же влияние на эталонные пики. Тогда отношение интенсивностей пиков анализируемой фазы  $J_x$  и эталона  $J_0$  пропорционально содержанию первого X:

$$J_x / J_0 = KX.$$

В качестве аналитических пиков минералов портландцементного клинкера используют:

$C_3S$  – 0,302 нм,

$C_2S$  – 0,2878 нм,

$C_3A$  – 0,270 нм,

$C_4AF$  – 0,263 нм.

### Последовательность выполнения работы

1. Получить у преподавателя задание и пробу испытуемого вещества.
2. Сдать пробу в лабораторию рентгенофазового анализа.

3. Рассчитать межплоскостные расстояния, соответствующие основным пикам рентгенограммы.
4. Произвести расшифровку рентгенограмм.

### **Контрольные вопросы**

1. В двух одинаковых печах в одинаковом режиме обжигается одна и та же сырьевая смесь. В одном случае клинкер охлаждается в колосниковом холодильнике, в другом – в рекуператорном. Будут ли отличаться рентгенограммы клинкеров и как?
2. Как повлияет на результаты рентгенографического анализа переизмельчение клинкера?
3. Как влияет на результаты расчета и определения минерального состава клинкера содержание в нем оксидов щелочей и магния?
4. Какова размерность результатов определения минерального состава клинкера расчетным, рентгенофазовым и петрографическим методами? Как это влияет на результаты, полученные разными методами?
5. Как можно отделить основную часть алюмоферритов кальция от остальных клинкерных минералов?
6. Как влияет на определение минерального состава клинкера различными методами содержание в клинкере свободного оксида кальция?

### Лабораторная работа № 2

#### **Определение удельной поверхности порошков вяжущих и других материалов**

*Цель работы:* изучение методики определения удельной поверхности цемента и минеральных добавок методом воздухопроницаемости.

*Материалы и оборудование:* проба порошка массой не менее 30 г, ступка агатовая или фарфоровая, прибор ПСХ-2 или Т-3, секундомер.

Увеличение дисперсности вяжущих в определенных пределах приводит к росту их гидратационной активности. В связи с этим показатель, характеризующий размер частиц цемента, относится к числу важнейших.

Известны различные способы выражения дисперсности порошков; простейшим из них является величина остатков на ситах 02 и 008. Более содержательной является кривая отсева на нескольких ситах.

Ситовый анализ целесообразно применять для характеристики грубодисперсных зернистых материалов с размером частиц от десятых долей до десятков миллиметров, а также на цементных заводах для контроля качества цемента.

Мерой дисперсности порошков является также удельная поверхность, т.е. поверхность единицы их массы или объема.

Размерность удельной поверхности:  $\text{м}^2/\text{кг}$ ,  $\text{м}^2/\text{м}^3$ ,  $\text{см}^2/\text{г}$ .

Применяются различные методы измерения удельной поверхности. Наиболее простым и быстрым является *метод газопроницаемости*. Он основан на том, что скорость истечения газа через слой порошка, подаваемого под определенным давлением, при прочих равных условиях зависит от размера частиц этого зернистого материала. Этот метод применяется для характеристики порошков средней дисперсности от нескольких десятых долей до нескольких десятков микрометров.

Для определения распределения по размеру частиц высокодисперсных порошков применяются *седиментометрический анализ* и *метод низкотемпературной адсорбции паров воды либо инертных газов*. Первый из них основан на известном законе Стокса, согласно которому скорость осаждения частиц разбавленных суспензий зависит от их размера. Автоматические седиментометры, работа которых основана на этом принципе, позволяют построить кривую распределения частиц порошка по размерам.

Величина и скорость адсорбции молекул воды, инертных газов либо азота при низких отрицательных температурах на частицах порошка зависит от их удельной поверхности.

Этот способ является самым сложным, длительным и дорогим, однако он дает наиболее адекватную характеристику удельной поверхности частиц с учетом их шероховатости, наличия открытых пор, микротрещин и т.п.

Для измерения дисперсности порошков исходных вяжущих – портландского, глиноземистого цементов, активных и инертных тон-

комолотых добавок с плотной структурой (шлаки, зола-унос ТЭС, стекловидные породы вулканического происхождения и т.п.) применяют метод газопроницаемости порошков.

В последние годы все шире применяются лазерные гранулометры, но из-за их высокой стоимости они пока редко используются в учебных лабораториях.

Удельную поверхность активных минеральных добавок осадочного происхождения – трепела, опоки, а также гидросиликатов кальция целесообразно измерять методом низкотемпературной адсорбции паров воды либо молекул азота.

## **Последовательность выполнения работы**

### *Проверка исправности прибора*

1. Количество жидкости в манометре должно быть таким, чтобы ее уровень приходился против нижней части риски. Уровень жидкости проверяется при пустой и открытой кювете.

2. Прибор должен быть герметичен. Для проверки герметичности кювета плотно закрывается резиновой пробкой; в приборе, как описано выше, создается разрежение и наблюдается положение уровня жидкости в манометре. Если прибор герметичен, этот уровень не опускается.

3. Опустить плунжер в кювету, в которую положено два слоя фильтровальной бумаги, и проверять совпадение нулевых делений нониуса и шкалы. Если имеется какое-либо несоответствие (нулевые деления не совпадают), то его следует учитывать при измерении высоты слоя испытуемого материала.

### *Расчет удельной поверхности*

1. По измеренным значениям высоты слоя  $L$  и температуре воздуха  $T$ , °C найти в табл. 2 величину  $M$ .

2. По измеренному времени  $\tau$ , с, найти значения корня квадратного из  $\tau(\sqrt{\tau})$ .

3. Произвести вычисление удельной поверхности по формуле

$$a = K \frac{M\sqrt{\tau}}{m},$$

где  $K$  – постоянная прибора для пары рисков, между которыми наблюдалось падение столба жидкости за время  $\tau$  (значение  $K$  содержится в паспорте прибора);  $m$  – величина навески, г.

### *Проведение анализа*

Для определения величины удельной поверхности необходимо:

1. Высушить материал до воздушно-сухого состояния при температуре 105...110 °С (известь-кипелку и цемент высушивать не следует).

2. Охладить до комнатной температуры и взвесить с точностью до 0,01 г пробу массой  $m = 3,33 \cdot \rho$  (величина навески для ряда материалов приведена в табл.1;  $\rho$  – истинная плотность материала).

В тех случаях, когда определению подлежит смесь материалов, приведенных в табл. 1, величина навески определяется по формуле

$$m = 3,33(A \cdot \rho_1 + B \cdot \rho_2 + C \cdot \rho_3),$$

где  $A$ ,  $B$  и  $C$  – выраженное в массовых долях содержание компонентов в смеси;  $\rho_1$ ,  $\rho_2$ ,  $\rho_3$  – соответственно их плотности.

3. Положить в кювету кружок фильтровальной бумаги, вырезанной по внутреннему диаметру кюветы, высыпать на него навеску, предназначенную для испытания. Легким постукиванием выровнять слой вещества, покрыть сверху вторым кружком фильтровальной бумаги и уплотнить плунжером нажатием на него рукой.

4. С помощью нониуса на планке-плунжере и шкалы на внешней поверхности кюветы измерить высоту слоя материала.

5. Удалить плунжер из кюветы, открыть кран и посредством груши создать разрежение под слоем материала.

Это разрежение должно быть таким, чтобы жидкость в манометре поднялась до уровня верхней колбочки.

6. Закрывать кран. Измерить по секундомеру время  $\tau$ , с, прохождения мениска жидкости в манометре между двумя рисками (при бы-

стром оседании столба жидкости – между рисками 3–4; при медленном – между рисками 1–2).

*Определение удельной поверхности грубодисперсных порошков*

Для определения удельной поверхности грубодисперсных порошков (с удельной поверхностью менее 150 м<sup>2</sup>/кг) следует взять навеску, численно равную удесятеренной истинной плотности (см. табл.1), и измерить время падения столба манометра между рисками 3 и 4.

*Таблица 1*

**Перечень материалов и величины навесок для определения удельной поверхности на приборе ПСХ-2**

Материал	Истинная плотность материала, г/см <sup>3</sup>	Навеска материала
Известь-пушонка	2,20	7,32
Пегматит	2,38	7,86
Пемза	2,40	7,99
Белая сажа	2,45	8,16
Песок	2,65	8,83
Кирпичный бой	2,66	8,86
Стеглянная шихта	2,70	9,00
Ферросилиций	2,70	9,00
Опока	2,73	9,09
Асбестовая пыль	2,79	9,32
Известь-кипелка	2,80	9,32
Шлак	2,80	9,32
Известняк	2,80	9,32
Доломит	2,90	9,73
Цемент	3,10	10,00
Зола	3,00	10,00
Клинкер	3,10	10,00
Очажные остатки	3,00	10,00
Силикатная глыба	3,00	10,00
Карборунд	3,20	10,66
Корунд искусственный	3,96	13,20
Диоксид титана	4,00	13,32
Гематит	4,10	17,00

Величина  $M$  в этом случае определяется по табл. 2 для одной трети измеренной высоты слоя, а расчет удельной поверхности производится по формуле

$$M = \left[ 0,14 \cdot 120 \frac{1}{L} \left( 4,9 - 3,33^{\frac{3}{2}} \right) \right] \sqrt{\frac{1}{\eta}}$$

Таблица 2

Значение величины  $M$ 

$L$	$t, ^\circ\text{C}$							
	13	15	17	19	21	23	25	30
1	2	3	4	5	6	7	8	9
0,80	65	65	65	64	64	63	63	62
0,81	73	73	73	72	72	71	71	70
0,82	81	81	81	80	80	80	79	78
0,83	89	89	89	88	88	88	87	86
0,84	97	97	97	96	95	95	94	93
0,85	104	104	104	104	103	103	102	101
0,86	111	111	111	111	110	110	109	108
0,87	119	119	119	119	118	118	117	116
0,88	127	127	127	127	126	126	125	124
0,89	135	135	135	135	134	134	133	132
0,90	143	143	143	143	142	142	141	140
0,91	151	151	151	151	150	150	149	148
0,92	159	159	159	159	158	158	157	156
0,93	168	168	168	167	166	165	165	164
0,94	176	176	176	175	174	173	173	172
0,95	184	184	184	183	183	183	182	181
0,96	192	192	192	192	191	191	190	189
0,97	201	201	201	200	199	199	199	198
0,98	209	209	209	208	208	207	207	206
0,99	218	218	218	217	216	216	215	214
1,00	227	226	226	225	224	224	223	221
1,01	235	234	234	233	232	232	231	229
1,02	243	242	242	241	240	240	239	237
1,03	251	250	250	249	248	248	247	245
1,04	259	258	258	257	256	255	254	252



Продолжение табл.2

1	2	3	4	5	6	7	8	9
1,05	268	267	266	265	265	264	263	261
1,06	276	275	275	274	273	273	272	270
1,07	285	284	283	282	281	281	280	278
1,08	293	292	291	290	289	289	288	286
1,09	299	298	297	296	295	295	294	292
1,10	307	306	305	304	303	303	302	300
1,11	316	315	314	313	312	311	310	308
1,12	325	324	323	322	321	320	319	317
1,13	333	332	331	330	329	328	327	325
1,14	341	340	339	338	337	336	335	332
1,15	349	348	347	346	345	344	343	340
1,16	357	356	355	354	353	352	351	348
1,17	365	364	363	362	361	360	359	356
1,18	374	373	372	371	370	369	368	365
1,19	383	382	381	380	379	377	376	373
1,20	391	390	389	388	387	386	385	382
1,21	399	398	397	396	394	393	392	389
1,22	407	406	405	404	402	401	400	397
1,23	416	414	413	412	410	409	408	405
1,24	423	422	421	420	419	418	416	413
1,25	430	429	428	427	425	424	423	420
1,26	438	437	436	435	433	432	431	428
1,27	445	444	443	441	440	439	438	435
1,28	453	452	451	450	448	447	446	443
1,29	461	460	459	457	456	455	454	451
1,30	469	468	467	465	464	463	462	459
1,31	479	477	475	473	472	471	469	466
1,32	487	485	483	481	479	478	477	474
1,33	495	493	491	489	487	486	485	481
1,34	503	501	499	497	495	494	493	489
1,35	510	508	506	504	502	501	500	496
1,36	517	515	513	512	510	509	507	504
1,37	524	522	520	519	517	515	514	510
1,38	531	529	527	526	524	523	521	518

*Продолжение табл.2*

1	2	3	4	5	6	7	8	9
1,39	538	536	534	532	531	529	528	524
1,40	546	544	542	540	538	537	536	532
1,41	554	552	550	549	547	546	544	540
1,42	561	559	557	556	554	553	551	547
1,43	569	567	565	564	562	561	559	555
1,44	576	574	572	571	569	568	566	561
1,45	583	581	579	578	576	575	574	570
1,46	590	588	586	584	582	581	578	574
1,47	597	595	593	591	589	588	586	581
1,48	604	602	600	599	597	595	593	589
1,49	611	609	607	606	604	602	600	596
1,50	618	616	614	613	611	609	607	603
1,51	627	625	623	621	619	618	616	612
1,52	634	632	630	628	626	625	623	618
1,53	641	639	637	635	633	632	630	625
1,54	648	646	644	642	640	639	637	633
1,55	655	653	651	649	647	646	644	640
1,56	662	660	658	656	654	652	650	646
1,57	669	667	665	663	661	659	657	653
1,58	676	674	672	670	668	666	664	659
1,59	683	681	679	677	675	673	671	667
1,60	690	688	686	684	682	680	678	672
1,61	696	694	692	690	688	686	684	679
1,62	703	701	699	697	795	793	691	686
1,63	710	708	706	704	702	700	698	692
1,64	718	715	713	711	709	707	705	700
1,65	723	721	719	717	715	713	711	705
1,66	730	728	726	724	722	720	718	713
1,67	737	735	733	731	729	727	725	719
1,68	744	741	739	737	735	733	731	723
1,69	750	748	746	742	740	738	738	732
1,70	757	755	753	751	749	747	745	740
1,71	765	762	760	758	756	754	753	748
1,72	771	769	767	765	763	761	759	754

*Окончание табл.2*

1	2	3	4	5	6	7	8	9
1,73	778	775	773	771	769	767	765	760
1,74	783	781	779	777	775	773	771	766
1,75	789	787	785	783	781	779	777	771
1,76	796	794	792	790	788	786	783	773
1,77	803	801	799	796	894	892	790	785
1,78	810	808	806	804	802	800	797	792
1,79	816	814	812	810	808	806	803	797
1,80	823	821	819	817	815	813	810	805
1,81	829	827	825	823	821	819	816	811
1,82	835	833	831	829	827	825	822	816
1,83	841	839	837	835	833	831	828	823
1,84	847	845	843	841	839	837	834	829
1,85	853	851	849	847	845	843	840	835
1,86	859	857	855	852	849	847	845	840
1,87	865	863	861	858	855	853	851	845
1,88	871	869	867	864	861	859	857	851
1,89	877	875	873	871	869	866	863	857
1,90	883	881	879	876	873	871	869	863
1,91	890	888	886	883	880	878	876	870
1,92	897	895	893	891	888	886	883	877
1,93	903	901	899	896	893	891	889	884
1,94	909	907	905	902	900	897	895	890
1,95	915	913	911	909	906	903	901	895
1,96	921	919	917	914	911	909	907	901
1,97	928	926	924	921	918	916	914	908
1,98	934	932	930	927	924	922	920	914
1,99	940	938	936	933	930	928	926	920
2,00	947	945	942	939	936	934	932	925

### Контрольные вопросы

1. Как влияет на результаты определения удельной поверхности порошка содержание в нем фракций различного размера?

2. Как влияет на результаты определения удельной поверхности порошков форма частиц? Как учесть этот фактор?

3. У одного цемента удельная поверхность равна  $280 \text{ м}^2/\text{кг}$ , а остаток на сите 008 – 5 %, а у другого – 320 и 7 % соответственно. Что Вы можете сказать о гранулометрическом составе этих цементов?

4. Какой минерал портландцементного клинкера преобладает в мелкой фракции, а какой – в крупной?

5. Два одинаковых по составу клинкера обожжены в одинаковых условиях, но один охлажден в колосниковом холодильнике, а другой в рекуператорном. Какой из них при одинаковом режиме помола будет более дисперсным?

6. Как влияет на результаты определения удельной поверхности зернистого материала перепад давления?

7. Как влияет на результаты определения удельной поверхности зернистого материала высота слоя?

8. Можно ли способом проницаемости зернистого слоя определить удельную поверхность заполнителя из кварцевого песка или щебня? Если можно, то как?

9. Как пересчитать удельную поверхность, выраженную в  $\text{м}^2/\text{кг}$ , в  $\text{м}^2/\text{м}^3$ ?

10. Каким методом лучше всего определить показатель дисперсности волокнистых материалов типа асбеста?

11. Как влияет на результаты определения дисперсности порошков различными методами образование флокул?

12. Цемент и отход обогащения железистых кварцитов, содержащий 30 %  $\text{Fe}_3\text{O}_4$ , имеют одинаковую удельную поверхность по методу воздухопроницаемости. Какой из этих двух материалов имеет более высокое значение дисперсности, выраженное в  $\text{м}^2/\text{м}^3$ ?

### Лабораторная работа № 3

## Определение равномерности изменения объема цементного камня

*Цель работы:* проверить соответствие цементов требованию равномерности изменения объема.

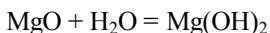
*Материалы и оборудование:* цементы и добавки к ним, прибор ПСХ-2, весы технические, сушильный шкаф, секундомер.

Камень из портландцемента в процессе твердения испытывает изменение объема, связанное с продолжающейся гидратацией либо изменением условий твердения, особенно влажности. Так, в воде цементный камень слабо набухает, а на воздухе, при низкой относительной влажности, испытывает усадку. Объемные изменения цементного камня, обусловленные внутренними процессами набухания и усадки, называются собственными деформациями, а вызванные ими напряжения – собственными напряжениями.

В вяжущих нормального состава собственные деформации и напряжения не достигают опасного уровня. Если же в цементе содержится слишком много вредных примесей – свободных оксида кальция или магния, сульфатов, то собственные деформации и напряжения становятся слишком большими, что может вызвать растрескивание и искривление цементного камня.

В связи с этим в нормативных документах предусмотрено определение равномерности изменения объема портланд- и шлакопортландцементов.

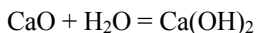
Наиболее сложно определять неравномерность изменения объема цементного камня, вызванного избыточным содержанием в нем оксида магния. Это явление обусловлено тем, что почти весь оксид магния в портландцементном клинкере остается в свободном состоянии. Он способен реагировать с водой со значительным ростом объема:



Чем выше температура обжига оксида магния, тем медленнее он гидратируется. Так, оксид магния, полученный при температуре 800°C, довольно энергично реагирует с водой уже при комнатной температуре. При обжиге цементного клинкера оксид магния подвергается нагреву до 1450...1470°C, поэтому отличается слабой гидратационной активностью. Его заметная гидратация и обусловленное этим расширение цементного камня может наблюдаться через многие месяцы и годы после изготовления изделий из цемента. В связи с этим для ускоренного определения магнезиального расширения применяется автоклавный способ, при котором образец цементного камня выдер-

живают в автоклаве в среде насыщенного водяного пара с давлением до 2 МПа и температурой до 210°C.

Гораздо более интенсивным, чем у оксида магния, является гидратация и расширение, обусловленные избыточным содержанием в цементе свободного оксида кальция, который гидратируется с большим увеличением объема по реакции:



Это расширение, способное вызвать неравномерность изменения объема цементного камня, определяют методом кипячения в воде. Для этого берут четыре навески цемента по 75 г каждая. Из них по ГОСТ 310.3 изготавливают четыре образца теста нормальной густоты, которые скатывают в шарики. Четыре стеклянные или металлические пластины с поперечником не менее 10 см смазывают машинным маслом. На них устанавливают образцы цементного теста и встряхивают пластины с тестом, пока они не расплывутся в лепешки диаметром 7...8 см и толщиной в середине около 1 см. Для получения гладкой закругленной поверхности и ровных краев образцы приглаживают смоченным водой ножом.

Приготовленные лепешки в течение  $24 \pm 2$  ч с момента изготовления хранят в ванне с гидравлическим затвором на решетке, под которой должна быть вода. После этого лепешки испытывают на равномерность изменения объема методом кипячения.

В процессе кипячения цементных лепешек слой воды над ними должен быть не менее 4...6 см, поэтому в бачок, где происходит кипячение образцов, периодически доливают воду.

Для испытания кипячением цементные образцы снимают с пластинок, помещают в бачок с водой и ставят на решетку. Воду доводят до кипения и поддерживают в таком состоянии 4 ч, после чего лепешки оставляют остывать в бачке до комнатной температуры; затем их осматривают.

Цемент считается выдержавшим испытание на равномерность изменения объема, если на лицевой стороне лепешек, подвергнутых испытаниям, не будет радиальных крупных либо сетки мелких трещин, расположенных по краям образцов. Иногда трещины настолько мелкие, что невооруженным глазом их не видно, поэтому рекоменду-

ется пользоваться лупой либо микроскопом при малом увеличении (рис.1).

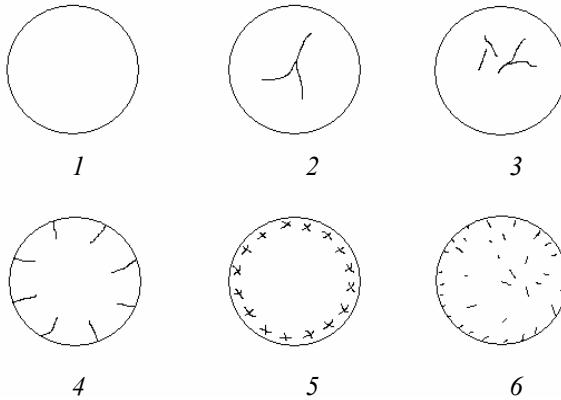


Рис. 1. Вид образцов после кипячения:  
1, 2, 3 – выдержавшие испытание; 4, 5, 6 – не выдержавшие  
испытания

Иногда на образцах еще до кипячения или после него в центральной части образцов появляются извилистые трещины, обычно не доходящие до краев. Это трещины усыхания и усадки. Их появление не является признаком неравномерности изменения объема.

Испытание кипячением позволяет обнаружить неравномерность изменения объема, обусловленное повышенным содержанием в цементе свободного оксида кальция. Во многих случаях эта методика помогает выявить и неравномерность изменения объема цемента, обусловленного избыточным содержанием в нем оксида магния. Однако в некоторых случаях метод кипячения не выявляет магниезиального расширения; более надежным и универсальным является испытание в автоклаве.

### Последовательность выполнения работы

Студент получает от преподавателя задание по составу цементов, склонных к проявлению неравномерности изменения объема.

Рекомендуются следующие добавки в цемент.

1. *Оксид кальция*, обожженный при температуре 1300...1400°C в течение часа. Эта добавка должна быть измельчена и пропущена через сито № 008.

К портуландцементу без добавок или с минеральной добавкой (до 20 % доменного гранулированного шлака) добавляется 2, 4, 6 % оксида кальция и для сравнения берется цемент без добавки. Из тщательно перемешанных смесей цементов с добавкой оксида кальция готовят образцы по изложенной выше методике и производится испытание методом кипячения.

2. К цементу добавляется порошок магнезитовый каустический оксид магния (ПМК) в количестве 0 (без добавки); 3; 5; 10 % от массы смеси и производится испытание кипячением.

3. Работа может носить научно-исследовательский характер, если в цемент добавлять, кроме расширяющих добавок (оксиды кальция, магния, сульфатов), химические добавки (замедлители и ускорители схватывания, пластификаторы и суперпластификаторы, воздухововлекающие добавки), минеральные добавки, в том числе активные. Представляет интерес также исследование влияния температуры на проявление неравномерности объема цементов с повышенным содержанием вредных примесей, а также органическими и минеральными добавками.

ГОСТ 30744–2001 излагает другую, более простую методику определения равномерности изменения объема цементного камня, но пока необходимый для этого прибор не производится и не поставляется.

### **Контрольные вопросы**

1. Как влияет на равномерность изменения объема портуландцемента его длительное хранение?
2. Влияет ли на равномерность изменения объема цементов ввод инертных минеральных добавок? Обоснуйте ответ.
3. Какие требования по содержанию оксида магния в клинкере установлены в национальных стандартах разных стран?
4. Как влияет на равномерность изменения объема тонина помола цемента?
5. Есть ли взаимосвязь между усадкой и равномерностью изменения объема вяжущих?



6. Как влияет на неравномерность изменения объема камня добавка хлористого кальция?

7. На завод ЖБИ поступил цемент, показавший неравномерность изменения объема. Ваши действия.

8. Как влияет на результаты определения равномерности изменения объема в длительные сроки влажность среды, где твердеют образцы?

9. Какие, кроме описанных в данном издании, методы определения неравномерности изменения объема Вы могли бы предложить?

10. Насколько обоснован термин «неравномерность изменения объема»? Каков механизм этого явления? Какой альтернативный термин Вы могли бы предложить?

#### Лабораторная работа № 4

### **Испытание портландцемента. Определение свойств цементного теста**

*Цель работы:* определение водопотребности теста нормальной густоты исследуемой пробы цемента и выяснение ее соответствия требованиям стандарта. Кроме того, требуется изучить влияние пластификаторов, суперпластификаторов, сульфата натрия, хлоридов кальция, натрия и других добавок на водопотребность теста нормальной густоты. В тех случаях, когда изучается новая неисследованная добавка, работа может носить характер УИРС.

*Материалы и оборудование:* портландцемент, кварцевый песок, минеральные добавки, хлористый кальций, пластификатор лигносульфоната кальция технического модифицированного (ЛСТМ), суперпластификаторы С-3, Melflux, чаша для затворения цемента, мерный цилиндр, прибор Вика.

Цементным тестом называется смесь цемента с водой.

Важнейшими свойствами цементного теста являются водопотребность в состоянии нормальной консистенции и сроки схватывания.

Тесто в состоянии нормальной густоты (консистенции) характеризуется определенной подвижностью, способ измерения которой излагает ГОСТ 310.3, пункт 1 [4].

Согласно ГОСТ 10178 [3] и ГОСТ 31108–2003 [5], водопотребность теста нормальной густоты из портланд- и шлакопортландцементов должна быть не выше 0,28, а пуццоланового портландцемента – менее 0,35.

Обычно водопотребность теста нормальной густоты портландцемента находится в пределах 0,22...0,26. Она зависит от минералогического состава клинкера, тонины помола цемента, минеральных и химических добавок.

В общем виде вода затворения тратится на следующие процессы:

- смачивание частиц порошка;
- физико-химические реакции гидратации и гидролиза вяжущего, что сопровождается образованием гидратных фаз;
- образование в суспензии конгломератов или флокул из частиц вяжущего и гидратов. Эти флокулы в процессе течения теста ведут себя как одна большая рыхлая частица, внутри которой содержится так называемая иммобилизованная вода, которая ведет себя как связанная и в процессе течения и других видов деформации тела не выполняет смазочных функций;
- свободная вода, которая в основном и обуславливает подвижность суспензии.

При увеличении тонины помола прежде всего возрастает потребность в воде для смачивания. Количество воды, которое идет на химические реакции, максимально у трехкальциевого алюмината и алита. Белит очень медленно реагирует с водой, поэтому в процессе приготовления теста почти не связывает воду за счет химических реакций.

Такие быстро гидратирующиеся вяжущие, как негашеная известь и строительный гипс, уже в процессе перемешивания и растирания их суспензий связывают очень много воды за счет химических реакций.

Частицы размером 1 мкм и менее имеют слишком высокую водопотребность, поэтому камень из них твердеет плохо. Медленно гидратируются и твердеют частицы размером 70...100 мкм.

Наиболее ценной фракцией портландцемента являются частицы с диаметром 5...30 мкм.

Механическая прочность обратно пропорциональна водоцементному отношению растворов и бетонов, поэтому снижение водопотребности является одним из важнейших направлений ускорения твердения и повышения механической прочности камня.

Повышение температуры ускоряет твердение цементного камня, поэтому на заводах ЖБИ бетоны подвергают тепловой обработке при температуре 70...95°C. Однако изделия из портландцемента нецелесообразно нагревать при температуре выше 100...110°C.

Если цемент содержит 30...40 % и более молотого кварцевого песка, доменного шлака, золы-уноса ТЭС, то температура тепловой обработки изделий из него может быть повышена до 180...200°C.

Наиболее эффективным способом повышения прочности цементного камня является применение суперпластификаторов, снижающих водопотребность раствора на 30...35 %. Melment, С-3, Melflux и другие суперпластификаторы замедляют гидратацию алита и тем самым задерживают твердение камня, но этот эффект значительно перекрывается ускорением твердения из-за снижения водосодержания.

Пластификаторы (ЛСТМ, сахара, реагенты серии НИЛ и т.п.), снижающие водопотребность раствора на 5...20 %, менее эффективны, чем суперпластификаторы. Недостатком большинства пластификаторов является сильное замедление схватывания при дозировках более 0,2...0,3 %. В то же время добавление до 1...2 % некоторых суперпластификаторов почти не влияет на сроки схватывания цементных систем.

Большинство добавок электролитов (хлориды кальция, калия, сульфат натрия, бура и т.п.) слабо влияют на водопотребность цементного теста.

### **Последовательность выполнения работы**

1. Получить у преподавателя задание на выполнение работы. Рекомендуются следующие составы:

а) чистый портланд-, шлакопортландцементы или пуццолановый портландцемент без добавок;

б) цемент с добавкой 20, 30, 40 % золы-уноса от массы смеси;

в) цемент с добавкой 0,1, 0,15, 0,2 % пластификатора ЛСТМ-1, ЛСТМ-2 или декстрина;

г) цемент с добавками 0,5...2 % С-3 с интервалом дозировок 0,2...0,3%;

д) цемент с добавкой 0,2...2 % хлорида кальция, хлоридов карбонатов, калия, натрия, сульфата натрия с интервалом 0,2...0,3 %.

2. Приготовить цементное тесто без добавок и с добавками и определить его водопотребность по ГОСТ 310.3 [3].

3. По полученным результатам измерения водопотребности вяжущего без добавок (контрольный замер) и цементов с добавками (2...4 дозировки) построить график ее зависимости от количества добавки.

*Сроки схватывания цементных систем* зависят от температуры, минералогического состава, удельной поверхности цемента, водоцементного отношения, минеральных и органических добавок.

Из минералов портландцементного клинкера наиболее короткие сроки схватывания – несколько минут – имеет  $C_3A$ .

Время начала схватывания у  $C_4AF$  короче 45 мин, что предусматривает ГОСТ 10178. Силикаты кальция имеют нормальные сроки схватывания. Замедлителями схватывания цементных систем являются: гипс, ангидрит, бура, фосфаты натрия и др. Электролиты – ускорители схватывания: хлориды алюминия, железа, кальция, сульфаты алюминия и железа, кальцинированная сода, полуводный сульфат кальция и др.

Наиболее сильными замедлителями схватывания цементных систем являются фосфорорганические комплексоны, винная, лимонная, триоксиглутаровая, слизевая кислоты, декстрин.

Органические ускорители схватывания: триэтаноламин, сахар в повышенных дозировках (0,5...1%), пирогаллол, пирокатехин (0,3...1%).

### *Порядок определения сроков схватывания*

1. Сроки схватывания цементного теста нормальной густоты определяются согласно указаниям ГОСТ 310.1, пункт 2, либо по ГОСТ 30744–2001.

Если цементное тесто содержит добавку замедлителя схватывания, то интервалы времени между повторными сбросами иглы Вика по указанию преподавателя могут быть увеличены, а если использован ускоритель схватывания, то сокращены до 2...5 мин.

2. По полученным данным о сроках схватывания цементного теста без добавок (контроль) и с различными дозировками добавок необходимо построить график зависимости сроков схватывания от количества введенной добавки.

3. На основе установленных студентами данных о водопотребности и сроках схватывания цементного теста с добавками формули-

руют выводы о соответствии испытываемого цемента нормативным требованиям и о влиянии добавок на эти показатели.

*Влияние различных факторов на механическую прочность цементного камня.* Механическая прочность цементного камня зависит от состава вяжущего, его гранулометрического состава, водоцементного отношения, температуры среды, минеральных и органических добавок.

Наиболее высокую механическую прочность имеет камень из  $C_3S$ . В связи с этим алит вносит максимальный вклад в скорость роста и конечную (марочную) прочность цементного камня, тем более, что содержание алита в клинкерах обычно превышает 50 %.

На втором месте по механической прочности и скорости ее роста находятся алюмоферриты кальция, в частности  $C_4AF$ .

Трехкальциевый алюминат вносит основной вклад в механическую прочность камня в 1...3 сут нормального твердения. Однако цементы с повышенным содержанием  $C_3A$  (10...15 %) часто проявляют задержки роста и даже сбросы прочности, особенно после 7...14 сут нормального твердения.

Белит является самым медленно твердеющим минералом. Он вносит наибольший вклад в твердение цементного камня в сроки от нескольких месяцев до нескольких лет.

Тесто из портландцемента при схватывании и твердении на воздухе испытывает усадку, которая возрастает с уменьшением относительной влажности среды. Это вызывает образование в камне из затвердевшего теста нормальной густоты скрытых и даже видимых микро- и макротрещин, снижающих механическую прочность камня, особенно при растяжении и изгибе.

В связи с этим для испытаний механической прочности цементного камня применяют образцы из цементно-песчаного раствора с соотношением массы цемента и песка 1 : 3.

### **Последовательность выполнения работы**

1. Получить у преподавателя задание по составу цемента, минеральной и органической добавки. Рекомендуются следующие варианты:

а) во всех случаях в качестве контроля испытывается цементно-песчаный раствор нормальной густоты без минеральной и органической добавки;

б) для исследования влияния добавок в цементно-песчаную смесь вводятся следующие вещества:

зола-унос ТЭС в количестве 20, 40, 60 % от массы смеси;

молотый шлак в количестве 10, 25, 40, 60 %;

хлористый кальций в количестве 0,5; 1,0; 1,5 % от массы вяжущего;

сульфат натрия в количестве 1; 2; 3 % от массы вяжущего;

суперпластификаторы С-3, Melment, Melflux в количестве 0,4; 0,8; 1,2 %;

пластификатор серии лигносульфонат технический (ЛСТ) в количестве 0,1; 0,15; 0,20 %;

пластификатор декстрин в количестве 0,05; 0,10; 0,15 %.

Могут быть исследованы новые, ранее не испытанные добавки. При этом работа приобретает характер студенческой научно-исследовательской работы.

2. Ознакомиться с аппаратурой и приборами для выполнения работы по ГОСТ 310.4 , п.1, с. 1–7.

3. Приготовить цементно-песчаный раствор из портландцемента и местного речного мелкого многофракционного песка состава 1 : 3 и определить его водопотребность по ГОСТ 310.4 , п. 2.1, с.7–8.

4. Изготовить образцы-балочки из раствора нормальной густоты и испытать их по ГОСТ 310.4 , п. 2.2, с.8–10. Возможны изменения задания преподавателем.

5. Построить график зависимости прочности камня от дозировки добавки и сформулировать выводы по этому вопросу.

### **Контрольные вопросы**

1. Какие минеральные добавки оказывают наибольшее влияние на водопотребность портландцементного теста?

2. Сравните величину и структуру водопотребности портландцемента, строительного гипса и извести.

3. Какой класс органических соединений оказывает наибольшее влияние на водопотребность портландцементных систем?

4. Рассчитайте водопотребность речного мелкого песка, если В/Ц теста нормальной густоты равно 0,26, а цементно-песчаного раствора 1:3 – 0,55.

5. В ГОСТ 310.4 указано, что для цементного раствора на основе многофракционного песка стандартное водоцементное отношение нужно принять равным 0,40, а полифракционного – 0,50. Всегда ли приемлема эта рекомендация?

6. В ГОСТ 10178 указано, что время начала схватывания цементного теста должно быть равно не менее 45 мин, а в ГОСТ 310.4 регламентирован интервал времени между повторными сбросами иглы Вика – 10 мин. Как определить время схватывания с точностью до 5 мин, если интервал времени между повторными сбросами иглы вдвое больше?

7. Можно ли и как определить сроки схватывания цементного теста без иглы Вика?

8. Как можно определить сроки схватывания бетонной смеси?

9. Как влияет на сроки схватывания содержание песка в цементно-песчаной смеси?

10. Как влияет на сроки схватывания цементного теста добавка смеси замедлителей и ускорителей?

11. Почему на заводах ЖБИ бетонные и железобетонные изделия обычно пропаривают при температуре 80...95°C?

12. Один цемент через 7 сут твердения показал предел прочности при сжатии 26,1 МПа, а другой через 14 сут – 37,0 МПа. Какой из них имеет более высокую активность?

13. На предприятии имеется автоклав, рассчитанный на давление 1,5 МПа, и источник водяного пара для него. Какой из перечисленных цементов целесообразно использовать, если изделия из них будут твердеть в этом автоклаве?

Цементы: ПЦ400Д20, БТЦ500, ШПЦ500Б, ПЦ400Д0, портландцемент с добавкой 40% золы-уноса ТЭС, ШПЦ300Д40.

14. Почему оптимальная дозировка суперпластификатора С-3 составляет 0,7...1,5 %, а пластификатора на основе ЛСТ – 0,15...0,20 %?

15. Для достижения нужного пластифицирующего эффекта Вам нужно добавить в цементную систему 0,5 % ЛСТ. Изделие подвергается пропарке. Ваши действия?

16. Активность цемента через 28 сут нормального твердения оказалась равной  $391 \text{ кгс/см}^2$ . Какова его марка?

## Лабораторная работа № 5

### Кинетика твердения цементного камня

*Цель работы:* определение прочности цементного камня в ранние сроки (1...14 сут), расчет кинетических констант твердения.

*Материалы и оборудование:* цемент, песок, минеральные и органические добавки, формы для изготовления балочек, чаша затворения, мерный цилиндр, встряхивающий столик, емкость для длительного хранения образцов.

Рост прочности цементного камня во времени после суток и позже обычно происходит с постепенным замедлением. Наиболее интенсивно рост прочности происходит в первые сутки. Темп замедления скорости твердения цементного камня зависит от его состава и внешних условий, особенно температуры среды.

Предложены десятки различных уравнений для описания кинетики твердения цементного камня.

Наиболее широко применяется полулогарифмический закон твердения:

$$\sigma = a \lg \tau + b, \quad (8)$$

где  $\sigma$  – предел прочности цементного камня;  $a$ ,  $b$  – константы;  $\tau$  – продолжительность твердения.

Если при  $b > 0$  принять  $\tau = 1$ , то  $\sigma = 1$ , т.е. константа  $b$  имеет смысл предела прочности цементного камня односуточного твердения.

Коэффициент  $a$  характеризует интенсивность роста прочности во времени.

В координатах  $\sigma$  ( $\lg \tau$ ) уравнение (1) описывается прямой линией (рис.2).



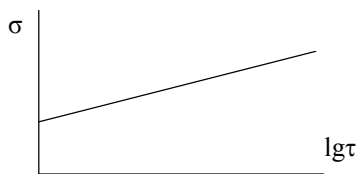


Рис. 2. График уравнения (1)

Если же  $b < 0$ , то при  $\tau = 1$  получается  $\sigma < 0$ , т.е. суточная прочность является отрицательной величиной, что лишено физического смысла.

Анализ экспериментальных данных показал, что уравнение (8) во многих случаях плохо описывает кинетику твердения цементного камня. В частности, нередко  $b < 0$ .

Предложены различные уравнения кинетики твердения, полученные путем модификации формулы (8). Они не имеют перед ней существенных преимуществ.

В Белгородском государственном технологическом университете предложено следующее уравнение для описания кинетики твердения цементного камня:

$$\frac{\tau}{\sigma} = \left( \frac{\tau}{\sigma} \right)_0 + k\tau, \quad (9)$$

где  $(\tau/\sigma)_0$  – величина, обратная начальной скорости твердения. Отсюда  $(\sigma/\tau)_0$  – начальная скорость твердения. Она имеет максимальное для данного вяжущего в рассматриваемых условиях значение. С течением времени скорость твердения уменьшается. Интенсивность снижения скорости твердения цементного камня во времени отражается константой торможения  $k$ .

В системе СИ начальная скорость твердения имеет размерность МПа/сут, а коэффициент торможения  $k = \text{МПа}^{-1}$ .

Уравнение (9) описывается прямой линией (рис.3) в координатах  $\frac{\tau}{\sigma}(\tau)$ .

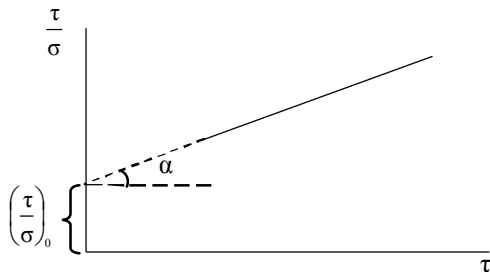


Рис. 3. График уравнения (2)

Путем аналитической либо графической обработки фактических данных по кинетике твердения по уравнению (9) можно рассчитать численные значения начальной скорости твердения  $(\sigma/\tau)_0$  и коэффициент торможения:

$$\left(\frac{\sigma}{\tau}\right)_0 = \left(\frac{\tau}{\sigma}\right)^{-1}; k = \operatorname{tg} \alpha \cdot M_y,$$

где  $M_y$  – масштабный множитель, т.е. отношение цены деления на графике по оси ординат к цене деления по оси абсцисс.

Исследования показали, что все входящие в уравнение (9) величины имеют ясный физический смысл, связаны с составом, со свойствами цементных систем и с условиями твердения.

Начальная скорость твердения цементного камня возрастает с ростом содержания в клинкере алита, увеличением удельной поверхности цемента, повышением температуры среды, уменьшением водоцементного отношения.

Коэффициент торможения скорости твердения  $k$  снижается при росте температуры среды твердения, уменьшении водосодержания цементного камня.

Коэффициент торможения твердения при сжатии обычно на порядок меньше, чем при изгибе и растяжении.

Если известен предел прочности цементного камня через 1, 3, 7 сут, то по формуле (9) можно рассчитать его марочную прочность (через 28 сут) и в более поздние сроки твердения.

### Последовательность выполнения работы

1. Студент должен получить у преподавателя данные о составе и условиях твердения цементного камня. Работа в основном должна быть исследовательской благодаря применению новых минеральных и органических добавок к цементам, заполнителей, а также новых режимов твердения.

2. Образцы в количестве 15 штук должны быть приготовлены согласно требованиям стандарта.

3. Испытания образцов должны производиться после 1, 2, 3, 7, 28 сут и последующих сроков твердения.

4. По полученным экспериментальным данным строится график (рис.3) функции  $\frac{\tau}{\sigma}(\tau)$ .

5. Для всех сроков твердения рассчитываются значения  $(\tau/\sigma)$ .

6. По полученным данным строится прямолинейный график функции (см. рис.3).

7. Из графика находится отрезок  $\left(\frac{\tau}{\sigma}\right)_0$ , а из него – начальная скорость твердения.

8. Определить  $\text{tg}\alpha$ , затем масштабный множитель  $M_y$ , а далее рассчитать  $k$ .

9. По экспериментальным данным построить график функции  $\sigma(\lg\tau)$ . Рассчитать константы  $a$  и  $b$  уравнения (8).

10. Расчеты кинетических констант твердения – начальной скорости  $U_0$ , коэффициента торможения  $k$  и коэффициента корреляции (К) могут быть произведены по компьютерной программе, которая имеется на кафедре.

11. Сравнить соответствие уравнений (8) и (9) фактическим данным.

### Контрольные вопросы

1. Как влияет на численное значение коэффициентов  $a$  и  $b$  уравнения (8) минеральный состав цемента?

2. У одного цемента предел прочности при сжатии через 7 сут равен 37,7 МПа, а у второго через 14 сут – 49,1 МПа. Оцените приближенно, какой из них обладает более высокой активностью?

3. Каково соотношение коэффициентов  $k$  и  $U_0$  в формуле (9) для одних и тех же образцов при изгибе и сжатии?

4. Цементный камень показал следующую скорость изменения прочности во времени при сжатии, МПа:

3 сут	7 сут	28 сут	90 сут
28,4	39,1	46,3	50,9

Рассчитайте начальную скорость твердения и коэффициент торможения для него.

5. Как влияет минеральный состав на константы уравнения (9)?

6. Как влияет удельная поверхность цемента на начальную скорость твердения и коэффициент торможения камня?

7. Как влияет на константы уравнения (9) ввод в цемент активных минеральных добавок?

## Лабораторная работа № 6

### Определение аномального схватывания цементного теста

*Цель работы:* определить кинетику структурообразования цементного теста и выяснить, не является ли оно аномальным.

*Материалы и оборудование:* портландцемент, минеральные и органические добавки, чаша для затворения, технические весы, прибор Вика, металлические конусы массой 50 г и углом раскрытия конуса 30, 45 и 60°, измерительный цилиндр.

Согласно требованиям ГОСТ 10178, начало схватывания цементного теста нормальной плотности должно наступать не ранее 45 мин, а конец – не позднее 10 ч. По ГОСТ 31108–2003 начало схватывания теста должно быть не менее 60 мин, а конец – не нормирован.

Нормирование времени начала схватывания обусловлено тем, что в период транспортировки и укладки бетонная смесь должна сохранять подвижность и удобоукладываемость. Очевидно, что невозможно заформовать изделие из бетонной смеси, у которой наступило начало, а тем более конец схватывания.

В то же время желательнее, чтобы после укладки бетонной смеси она достаточно быстро превратилась в камень, т.е. как можно быстрее наступил конец схватывания; интервал времени между началом и концом схватывания должен быть как можно короче.

Игла Вика является очень грубым датчиком для характеристики процессов структурообразования цементных систем. В связи с этим часто для измерения прочности структуры цементного теста применяют датчик в форме конуса с углом раскрытия от 15 до 90°. Метод основан на том, что, чем больше структурная прочность цементного теста, тем меньше глубина погружения в него конуса данной формы под влиянием определенной нагрузки. Глубина погружения конуса в данное цементное тесто при заданной нагрузке уменьшается с увеличением угла его раскрытия.

Простейшим прибором для измерения структурной прочности цементного теста и цементно-песчаной смеси может служить прибор Вика, в котором игла заменена на металлический конус.

Величина пластической прочности цементного теста может быть рассчитана по формуле

$$P_m = K_\alpha \frac{m}{l^2},$$

где  $P_m$  – пластическая прочность, Па;  $m$  – масса штока прибора Вика вместе с конусом (360 г);  $l$  – глубина погружения конуса в цементное тесто, мм;  $K_\alpha$  – коэффициент, величина которого зависит от угла раскрытия конуса при

$\alpha = 30^\circ$	$K_\alpha = 0,96$
$\alpha = 45^\circ$	$K_\alpha = 0,41$
$\alpha = 60^\circ$	$K_\alpha = 0,21$

Структурная прочность является интегральной характеристикой структурно-механических свойств цементных систем, отражающей их вязкость, предел текучести, упругие характеристики.

Исследования показали, что цементное тесто из нормального цемента до начала схватывания имеет низкую структурную прочность и высокую удобоукладываемость. Время, в течение которого структурно-механические свойства цементных систем находятся на низком уровне и почти не возрастают, называется индукционным периодом. В этот период гидратация портландцемента происходит с очень малой скоростью. По окончании индукционного периода обычно начинается резкое ускорение гидратации клинкерных минералов и интенсивный рост структурной прочности. Вскоре наступает схватывание цементного теста.

Такое поведение характерно для цемента с нормальным структурообразованием и схватыванием.

Цементы без добавки гипса или с недостаточным его содержанием имеют короткие сроки начала схватывания (5...30 мин). Работники заводов ЖБИ часто называют их "быстряком". У этих цемента индукционный период практически отсутствует. Структурная прочность теста из таких цемента быстро растет в первые же минуты после его приготовления.

Существует и промежуточный тип кинетики структурообразования, когда структурная прочность теста в первые же минуты начинает увеличиваться почти так же интенсивно, как у "быстряка", однако затем ее рост задерживается, иногда вплоть до полной остановки в течение определенного времени. При этом как бы наступает индукционный период, но при более высоком уровне структурной прочности, чем у нормальных цемента. После определенного времени рост структурной прочности ускоряется.

По кинетике структурообразования такие цементы занимают промежуточное положение между нормальными цементами и "быстряком" (рис. 4).

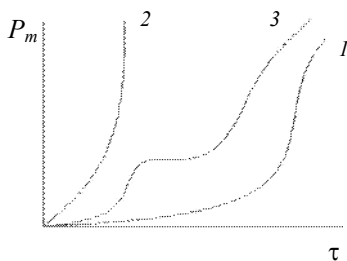


Рис. 4. Кинетика структурообразования:

1 — нормальная; 2 — цемент с быстрым схватыванием ("быстряк");

3 — промежуточная (аномальная)

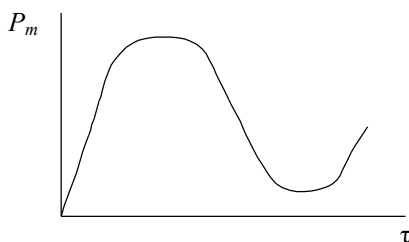


Рис. 5. Кинетика структурообразования цемента с ложным схватыванием

У отдельных видов цемента период интенсивного начального структурообразования в последующем сменяется уменьшением структурной прочности.

У таких цементов сгущение цементного теста периодически сменяется его разжижением, после чего вновь наступает сгущение и т.д. При этом наступившее в первые минуты начало схватывания может исчезнуть и вновь появиться. Такое схватывание называется *ложным*.

Цементы с быстрым, промежуточным и периодическим структурообразованием, не имеющие нормального индукционного периода, называются *аномальными*.

Крайним видом аномального схватывания является *ложное схватывание* (рис.5).

Из изложенного видно, что с помощью изучения кинетики структурообразования можно идентифицировать (определить) аномальное схватывание.

Аномальное структурообразование и схватывание – крайне нежелательное явление. Оно вынуждает с целью разжижения бетонной смеси, которая загустевает и теряет удобоукладываемость во время укладки, добавлять в нее дополнительное количество воды, что снижает прочность и долговечность изделий. Кроме того, цементы с аномальными свойствами часто проявляют сбросы прочности в отдаленные сроки твердения (через несколько месяцев). Эти цементы часто неадекватно реагируют на ввод химических добавок.

Аномальное схватывание (промежуточное и ложное) может быть обнаружено также с помощью иглы Вика. Дело в том, что при промежуточном характере кинетики структурообразования (кривая 3) и ложном схватывании при достаточно малом времени начала схваты-

вания конец может быть довольно длительным, т.е. у них более длительный интервал схватывания, чем у нормальных цементов. В связи с этим предлагается ввести понятие *коэффициента интервала схватывания*  $\kappa_{\text{ц}}$ :

$$\kappa_{\text{ц}} = \frac{\tau_{\text{к}} - \tau_{\text{н}}}{\tau_{\text{н}}},$$

где  $\tau_{\text{н}}$  – время начала схватывания;  $\tau_{\text{к}}$  – время конца схватывания.

У нормальных цементов численное значение коэффициента находится в пределах от нескольких десятых долей единицы до 2...3.

Чем больше интервал схватывания, тем сильнее выражена аномальность схватывания. У цементов с ложным схватыванием он имеет максимальное значение.

### **Последовательность выполнения работы**

1. У прибора Вика необходимо заменить иглу на металлический конус. Рекомендуется вначале апробировать конус с углом раскрытия  $45^\circ$ . Если он погружается слишком глубоко, то его заменяют на конус с углом раскрытия  $60^\circ$ , а если он погружается в исследуемое тесто мало, то вместо него применяют конус с углом раскрытия  $30^\circ$ .

2. Получить у преподавателя задание по составу цементного теста или раствора.

Рекомендуются следующие составы:

– в качестве эталона берется тесто нормальной густоты (НГ) из цемента без добавок;

– в цементное тесто добавляют 0,1 и 0,15 % ЛСТМ. При этом предварительно определяют нормальную густоту теста с добавкой;

– в цементное тесто добавляют 0,5; 0,8; 1,2 % суперпластификатора С-3. Работу проводят с тестом нормальной густоты;

– в тесто добавляют 0,3; 0,7; 2 % хлористого кальция, В/Ц = НГ;

– в качестве добавки используют 3, 5, 10 % полуводного сульфата кальция, В/Ц = НГ;

– в качестве добавки применяют 2, 4, 6 % сульфата натрия, В/Ц = НГ;



– в качестве добавки к цементу используют новые, ранее не исследованные минеральные и органические вещества. При этом работа носит научно-исследовательский характер.

3. Приготовить тесто нормальной густоты по ГОСТ 310.3 либо с заданным В/Ц.

4. Раствор поместить в стандартное кольцо для определения сроков схватывания.

5. Форму с раствором установить на основание прибора Вика.

6. Придерживая рукой шток прибора, ослабить крепежный винт до его соприкосновения с цементным тестом или раствором. Затем поворотом крепежного винта зафиксировать конус в этом положении.

7. По истечении 2 мин после приготовления цементного теста (раствора) поворотом фиксатора штока прибора Вика против часовой стрелки сбросить шток с конусом.

8. Записав в течение 5...10 с глубину погружения конуса в тесто с точностью до 0,5 мм, поднять шток, зафиксировать его над цементным раствором, а затем, по истечении 2...5 мин, произвести следующий замер. При этом точки повторного замера должны находиться на расстоянии 2...4 см, в зависимости от угла раскрытия конуса.

Время повторных замеров может быть изменено в зависимости от кинетики структурообразования цементного теста или раствора.

9. По полученным данным об изменении глубины погружения конуса рассчитать величины структурной прочности цементного теста (раствора).

10. Построить график кинетики структурообразования цементного теста (раствора), отложив по оси абсцисс время, а по оси ординат структурную прочность.

11. Сформулировать выводы о характере структурообразования цементного теста (раствора) и влиянии на него органических и минеральных добавок.

### **Контрольные вопросы**

1. Какова размерность структурной прочности цементного теста или раствора?

2. С какой характеристикой (началом, концом) сроков схватывания связана крутизна роста структурной прочности цементного теста?

3. Зависит ли глубина погружения конуса в цементное тесто от продолжительности наблюдений?

4. Можно ли с помощью конуса оценить пластичность цементного теста?

5. Можно ли с помощью конуса определить время начала и конца схватывания цементной системы?

6. Как влияет на кинетику структурообразования цементного теста минеральный состав цемента, его тонина помола, В/Ц, температура?

7. Чем отличается кинетика структурообразования цементного теста в статике и динамике?

8. Как можно измерить кинетику структурообразования цементного теста в динамике?

9. Какие добавки наиболее сильно замедляют, а какие ускоряют структурообразование цементного теста или раствора?

## Лабораторная работа № 7

### Определение вида цемента

*Цель работы:* с помощью нескольких простых тестов определить вид цемента.

*Материалы и оборудование:* портландцемент, шлакопортландцемент, молотый гранулированный шлак, саморассыпающийся шлак, известь-пушонка, белый цемент, конус для измерения насыпной плотности.

*Определение вида цемента.* В Российской Федерации и других странах выпускаются десятки видов портландцемента, которые используются для производства строительных изделий и конструкций.

Основными типами портландцемента, выпускаемого в России, согласно ГОСТ 10178–85, являются:

- портландцемент без добавок;
- портландцемент с минеральными добавками;
- шлакопортландцемент;

- пуццолановые портландцементы;
- быстротвердеющий портландцемент.

ГОСТ 31108–2003 предусматривает следующие типы цементов: ЦЕМ I – портландцемент без минеральных добавок; ЦЕМ II – портландцемент с минеральными добавками; ЦЕМ III – шлакопортландцемент; ЦЕМ IV – пуццолановый портландцемент; ЦЕМ V – композиционный цемент, содержащий две и более минеральных добавок.

Кроме того, в строительстве и производстве строительных изделий и конструкций применяются следующие разновидности цементов: белый и цветные, гидрофобизированный, дорожный, сульфатостойкий, вяжущие низкой водопотребности (ВНВ) (табл.3).

За рубежом производятся также кладочные цементы, с воздухововлекающими добавками, шлаковые и смешанные цементы. Последние содержат менее 15...20 % клинкера.

В европейских странах, в том числе в России, маркировка цементов производится на основе их состава и марочной прочности. В США и некоторых других странах в основу маркировки цемента берется минеральный состав.

Каждая партия цемента должна иметь паспорт, в котором содержатся все необходимые сведения о вяжущем. Однако специалист по технологии бетона и железобетона должен уметь определить хотя бы приблизительно вид цемента даже при отсутствии паспорта.

Потребитель цемента может определить вид цемента на основе следующих признаков:

*По внешнему виду.* Цементы без добавок или с добавкой небольшого количества шлака (5...20 %) имеют темно-серую окраску. Пуццолановые портландцементы и шлакопортландцементы с высоким содержанием шлака отличаются более светлой окраской.

*По водопотребности теста нормальной густоты.* Портланд- и шлакопортландцементы имеют водопотребность теста нормальной густоты до 0,28, а пуццолановые портландцементы – до 0,35.

*По запаху в момент смешения с водой.* Иногда шлакопортландцементы при затворении водой выделяют сероводород, отличающийся специфическим запахом. Это обусловлено тем, что доменные шлаки заводов Украины и западных регионов России содержат повышенные количества сульфида кальция, который при гидролизе выделяет сероводород. Запах сероводорода увеличивается при добавлении кислоты. Этот способ, однако, неинформативен, если шлакопортландцемент содержит шлаки восточных регионов России, например Кузбасса, так как в них мало сульфидной серы. В некоторых случаях пахнет серово-

дородом и чистый портландцемент, если в сырьевой смеси есть сульфаты, а при ее обжиге в печи была восстановительная атмосфера, что является нарушением технологического режима и что обычно отрицательно влияет на качество портландцемента.

Камень из шлакопортландцемента при кипячении имеет на свежей поверхности излома голубоватую окраску, существенно отличающуюся от серого цвета поверхности излома камня из чистого цемента.

Быстротвердеющий портландцемент и ВНВ отличаются от рядовых портландцементов повышенной тониной помола. Рядовой портландцемент должен иметь остаток на сите № 02 – 2...3 %, на сите № 008 менее 15 %, а быстротвердеющий портландцемент – до 2...3 %.

Цементы отличаются также по величине истинной и насыпной плотности. В табл. 3 приводятся величины истинной и средней плотности некоторых типов цемента.

Таблица 3

### Величины истинной и средней плотности цемента

Вид вяжущего	Истинная плотность, кг/м <sup>3</sup>	Насыпная плотность, кг/м <sup>3</sup>
1	2	3
Портландцемент	3000...3200	900...1300
Шлакопортландцемент	2800...3000	850...1100
Пуццолановый цемент	2700...2800	800...1000
ВНВ	2800...2900	900...1100
Гидрофобизированный портландцемент	3000...3100	1000...1400
Строительный гипс	2600...2750	800...1100
Известь-пушонка	2200...2300	500...600

Гидрофобизированный цемент отличается тем, что в течение 2...4 мин не смешивается с водой, тогда как обычный цемент смачивается в течение десятков секунд.

Пластифицированный цемент и ВНВ отличаются пониженной водопотребностью теста нормальной густоты (0,20...0,22 вместо 0,25...0,28).

По внешнему виду на портландцемент похожи глиноземистый, гипсоглиноземистый и другие цементы. Их плотности отличаются мало, поэтому нужны специальные способы их идентификации.

Проще всего "узнать" гипсоглиноземистый цемент. Ему присущи следующие особенности:

- короткие сроки схватывания (начало схватывания 15...20 мин);

– быстрый набор прочности во времени (после суток твердения 20...40 МПа и более);

Сложнее отличить портландцемент от глиноземистого цемента.

При этом необходимо иметь в виду следующие свойства последнего:

– быстрое твердение (до 20...30 МПа при сжатии в первые 24 ч);

– более низкую щелочность жидкой фазы ( $\text{pH} = 11,0 \dots 11,5$  вместо 12,5...12,7 у портландцемента);

– неудовлетворительное твердение при пропаривании: у портландцемента прочность камня по ГОСТ 310.4  $\sigma_{сж}$  через 7 сут приблизительно равна прочности после пропарки при 85°C; камень из глиноземистого цемента после 3-суточного твердения более чем на порядок превосходит по прочности пропаренный камень;

– более короткие сроки схватывания ( $\tau_n < 30$  мин).

### Контрольные вопросы

1. Вяжущее имеет серый цвет, плотность  $\rho_n = 1250 \text{ кг/м}^3$ , время начала схватывания 30 мин. Назовите альтернативные виды вяжущих, имеющие эти свойства. С помощью каких дополнительных экспериментов можно идентифицировать это вяжущее?

2. Вяжущее – белого цвета, отличается пониженной сыпучестью, жирное на ощупь. Какие эксперименты позволят однозначно идентифицировать его?

3. Вяжущее белого цвета, водопотребность теста нормальной густоты 26 %, остаток на сите № 02...3 %. Какое это вяжущее?

4. Порошок отличается темно-серым цветом и высокой текучестью. Водопотребность теста нормальной густоты 23 %, начало его схватывания 1 ч 10 мин. Как его идентифицировать?

5. Можно ли отличить портландцемент от гипсовых вяжущих по величине водопотребности теста нормальной густоты? Обоснуйте свой ответ.

6. Какие цементы можно идентифицировать по срокам схватывания?

7. Порошок серого цвета визуально отличается повышенной дисперсностью. Водопотребность теста нормальной густоты 50 %. Как его идентифицировать?

8. Как отличить белый портландцемент "быстрояк" от строительного гипса высокой белизны?

9. Как отличить особобыстротвердеющий портландцемент от глиноземистого?

10. Какие вяжущие можно идентифицировать в течение 1 дня по физико-механическим свойствам и другим показателям?

## **РАЗДЕЛ 2. ГИПСОВЫЕ ВЯЖУЩИЕ**

### **Лабораторная работа № 1**

#### **Определение содержания свободной и гигроскопической воды в природном гипсовом камне**

Природный гипсовый камень состоит из двухводного сульфата кальция  $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$  и примесей. Содержание примесей в нем регламентирует ГОСТ 4013–74, согласно которому в природном сырье для производства гипсовых вяжущих оно не должно превышать 5, 10, 20 и 30% у гипса 1, 2, 3 и 4-го сортов соответственно. Чем выше в гипсовом камне содержание примесей, тем ниже качество получаемых из него вяжущих.

В природном гипсовом камне в качестве примесей присутствуют кварцевый песок, глина, карбонаты кальция и магния, соединения железа, органические вещества. Равномерно распределенные примеси оказывают меньшее отрицательное влияние на качество гипсового камня, чем крупные посторонние включения.

В природе встречаются следующие разновидности гипсового камня: поликристаллический, прозрачный, волокнистый. Чистый гипс прозрачен либо белого цвета. Соединения трехвалентного железа придают ему окраску от желтоватого до бурого, двухвалентного – голубоватую, соединения меди – зеленую, органические примеси – от сероватого до темного цвета.

Вода в гипсовом камне и содержащих гипс отходах находится в различных состояниях: свободном, физически связанном и в химически связанном. Она входит в кристаллическую решетку гипса. Химически связанная вода в гипсе находится в двух видах: три четверти ее удаляется при температуре 100...110°C, а одна четверть – при 130°C.

Свободная вода удерживается вокруг частиц гипса чисто механически и может быть удалена при любой температуре, если относительная влажность среды ниже 100%. Физически связанная (гигроскопическая) влага содержится в микропорах и микротрещинах, капиллярах частиц гипса и его примесей. Она удаляется труднее, чем свободная вода. Температура удаления гигроскопической влаги зависит от структуры материала, размера пор и капилляров, в которых она находится. При температуре 50...60°C почти вся она испаряется.

*Цель работы:* определение содержания свободной и физически связанной влаги в гипсе.

*Необходимые приборы:* технические весы, сушильный шкаф с автоматическим регулятором температуры, стеклянный бюкс либо фарфоровый тигель, ступка фарфоровая с пестиком, сито № 002, эксикатор с хлористым кальцием.

### Последовательность выполнения работы

Нагреть сушильный шкаф до температуры 60 °С.

Высушить чистый бюкс либо тигель в сушильном шкафу при температуре 60...65°C в течение 30 мин.

Охладить бюкс или тигель до комнатной температуры в эксикаторе с закрытой крышкой (15...30 мин) и затем взвесить его.

Пока бюкс сушится и охлаждается, 10...15 г гипсового камня растереть в ступке до полного прохождения через сито № 002.

Методом квартования отобрать в бюкс пробу гипса массой около 5 г и взвесить ее на технических весах.

Поместить открытый бюкс с гипсом в сушильный шкаф с температурой 60 °С и сушить до постоянной массы, проверяя ее через каждые 15...20 мин.

Охлаждение бюкса с гипсом производить в эксикаторе с хлористым кальцием.

Содержание гигроскопической влаги в пробе гипса вычислить по формуле:

$$W_r = \frac{m_1 - m_2}{m_2 - m_0} \quad \text{или} \quad W'_r = \frac{m_1 - m_2}{m_1 - m_0},$$

где  $m_1$  – масса бюкса с навеской гипса до сушки;  $m_2$  – масса бюкса с навеской после сушки;  $m_0$  – масса пустого бюкса или тигля.

### Контрольные вопросы

1. Как влияет на содержание в гипсе свободной и гигроскопической влаги относительная влажность среды?
2. Можно ли ускорить определение содержания в гипсе гигроскопической влаги путем его сушки при более высокой температуре?
3. Как влияет на содержание свободной и гигроскопической влаги удельная поверхность гипса?
4. Как влияет текстура гипсовых частиц на содержание в них свободной и гигроскопической влаги?
5. Как влияют примеси на содержание влаги в гипсовом камне?
6. Какие факторы влияют на соотношение содержания в гипсе свободной и гигроскопической влаги?
7. Как влияет на результаты анализа увеличение или уменьшение навески гипса?
8. Как надо изменить режим сушки, если увеличить навеску в несколько раз?
9. В одном случае анализ выполняется с использованием электронных весов, в другом – чашечных весов с гирьками, так что ошибка при взвешивании возрастает вдвое. Как при этом избежать возрастания ошибки анализа?

### Лабораторная работа № 2

#### Определение содержания в гипсе гидратной (химически связанной) влаги

*Цель работы:* определение содержания в гипсе гидратной воды при различной температуре.

*Необходимые приборы* – см. лабораторную работу № 1.

Гидратная (химически связанная) вода входит в кристаллическую решетку гипса. При ее удалении решетка разрушается и приобретает другое строение. Это приводит к изменению физико-химических свойств гипса, в частности к приобретению им в определенных условиях вяжущих веществ.



При температуре 100...115°C, в зависимости от наличия примесей в гипсе, удельной поверхности, условий нагрева, текстуры, частицы гипса теряют три четверти содержащихся в них молекул воды и переходят в полуводный сульфат кальция (ПСК).

Условия обезвоживания (табл.4) оказывают большое влияние на свойства ПСК: при медленном обезвоживании во влажной среде, а также нагреве гипса в среде насыщенного водяного пара получается  $\alpha$ -ПСК, который состоит из крупных, хорошо оформленных кристаллов с ровными гранями, а при сушке на воздухе, в среде с низкой относительной влажностью получается  $\beta$ -ПСК, частицы которого гораздо мельче, чем у  $\alpha$ -ПСК, содержат больше микропор, микротрещин и других дефектов. В связи с этим водопотребность  $\beta$ -ПСК при прочих равных условиях в 1,5 и более раза выше, чем  $\alpha$ -ПСК. В остальном эти две разновидности полуводного сульфата кальция отличаются мало: у них практически идентичная кристаллическая решетка, близкие термодинамические свойства, плотность, растворимость в воде и т.п.

Обычный строительный гипс состоит в основном из  $\beta$ -ПСК. Из  $\alpha$ -ПСК получают высокопрочный гипс. В процессе нагрева при температуре выше 150...180 °С полуводный сульфат кальция превращается в растворимый ангидрит, который при 220...300°C переходит в нерастворимый ангидрит.

Если в гипсе мало примесей, то по содержанию химически связанной воды при интересующей нас температуре можно приблизительно рассчитать степень превращения двуводного сульфата кальция, а последнего в ангидрит. На этом основан простейший способ контроля производства гипсовых вяжущих на заводах по производству стеновых материалов.

### **Последовательность выполнения работы**

Нагреть сушильный шкаф до температуры 80 °С, поместить в него пробу гипса и выдержать 30 мин. После охлаждения в эксикаторе взвесить.

Повысить температуру в шкафу до 90 °С, затем до 100 и 110 °С и повторить эксперимент при этих температурах.

В предварительно прокаленный и взвешенный фарфоровый тигель поместить навеску гипса массой 5...6 г, прогреть эту пробу при температуре 300...400°C в муфельной печи. Потеря массы при этом с

учетом содержания гигроскопической влаги характеризует содержание гипса в испытуемой пробе.

Таблица 4

### Обезвоживание гипса при различных температурах

№	Масса бюкса	Масса бюкса с пробой	Масса гипса, г	Температура, °С	Масса бюкса с пробой, г	Потеря массы	$W_{\text{связ}}$
1	$m_0$	$m_1$	$m_2$	60	$m_3$	$\Delta m_1$	–
2	$m_0$	$m_1$	$m_2$	80	$m_4$	$\Delta m_2$	$W_2$
3	$m_0$	$m_1$	$m_2$	90	$m_5$	$\Delta m_3$	$W_3$
4	$m_0$	$m_1$	$m_2$	100	$m_6$	$\Delta m_4$	$W_4$
5	$m_0$	$m_1$	$m_2$	110	$m_7$	$\Delta m_5$	$W_5$

Содержание связанной воды в гипсе, прогретом при той или иной температуре, равно:

$$W_n = \frac{m_1 - m_n}{m_1 - m_0} = \frac{\Delta m_n}{m_1 - m_0},$$

где  $n = 2, 3, 4, 5$ .

На основе полученных данных необходимо построить график зависимости количества выделенной из гипса воды от температуры термической обработки  $W(t)$ .

### Контрольные вопросы

1. Как влияет на результат расчета в гипсе содержание связанной воды, наличие в гипсе примесей карбоната кальция, кварца, глины?

2. Можно ли получить  $\alpha$ -ПСК, не используя для варки гипса автоклав?

3. Можно ли определить содержание влаги в гипсовом вяжущем с точностью до 2%, если весы, которыми Вы пользуетесь, дают погрешность 3%?

4. Можно ли получить полуводный сульфат кальция из гипса, нагревая его при температуре 60 °С?

## Лабораторная работа №3

**Водопотребность, сроки схватывания теста,  
механическая прочность гипсового камня***Водопотребность гипсового теста*

Строительные материалы, изделия и конструкции из неорганических вяжущих веществ изготавливают путем затворения порошка водой либо другой жидкостью. При затворении водой порошка из гипсового вяжущего получается гипсовое тесто.

Гипсовое тесто должно содержать оптимальное количество воды, которое соответствует его водопотребности. Если воды в тесте мало, то оно имеет плохую удобоукладываемость и формуемость, а при избыточном содержании воды в тесте наблюдается водоотделение и расслаивание.

Водопотребность гипсового теста характеризуется его нормальной густотой, или стандартной консистенцией, т.е. распылом специального стандартного конуса в пределах  $180 \pm 5$  мм. Диаметр конуса 50 мм, высота 100 мм.

Водопотребность теста выражается в процентах от массы вяжущего.

Водопотребность гипсового теста зависит от многих факторов. Так,  $\alpha$ -полуводный сульфат кальция отличается меньшей водопотребностью, чем  $\beta$ -ПСК, а ангидритовые вяжущие – еще меньшей.

Увеличение удельной поверхности порошка повышает водопотребность. Грубодисперсные добавки, например портландцемент, молотые шлаки, зола-унос ТЭЦ, уменьшают, а глины увеличивают водопотребность гипсового теста.

Эффективными понизителями водопотребности гипсового вяжущего являются такие добавки, как суперпластификатор С-3, лигносульфонат технический (ЛСТ) и т.п.

Водопотребность теста из строительного гипса определяется по ГОСТ 23789–79, пп. 4.2, 4.3.

*Сроки схватывания гипсового теста*

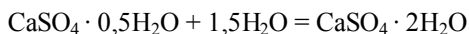
Тесто или раствор из гипса либо другого вяжущего сохраняет подвижность и удобоукладываемость лишь в течение определенного ограниченного времени, после чего начинается интенсивное загустевание, и гипсовое тесто вскоре превращается в камень – тесто схватывается.

Методика определения сроков схватывания гипсового теста описана в ГОСТ 23789–79, пп. 4.4 – 4.6.

Согласно ГОСТ 125–79 «Вяжущие гипсовые. Технические условия», гипсовые вяжущие по срокам схватывания делятся на три группы: быстротвердеющие (индекс А), нормально твердеющие (индекс Б) и медленно твердеющие (индекс В). Нормативные требования к ним приведены в п.1.4. ГОСТ 125–79.

Сроки схватывания гипсового теста зависят от тонкости помола гипса, водогипсового отношения, температуры, добавок электролитов и поверхностно-активных веществ.

Схватывание и твердение строительного гипса обусловлено растворением полуводного сульфата кальция в воде и выкристаллизовыванием из жидкой фазы частиц двухводного сульфата кальция:

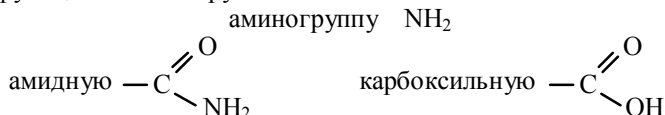


Движущей силой этого процесса является разность растворимостей ПСК и двухводного гипса. Растворимость ПСК в воде без добавок в нормальных условиях равна 8 г/л, а двухводного гипса – 2 г/л, разность их растворимости – 6 г/л. Многие электролиты влияют на соотношение растворимости ПСК и продукта его гидратации – двухводного гипса. Такие вещества, как фосфаты и фториды натрия и калия, бура, борная кислота, водорастворимые соли лимонной кислоты, сильно уменьшают растворимость полуводного сульфата кальция, что затрудняет растворение и замедляет схватывание гипсового теста. Добавки, которые увеличивают растворимость ПСК, ускоряют схватывание гипсового теста. К числу таких добавок относятся хлориды, нитраты, нитриты натрия и калия и др.

Одним из факторов, лимитирующих скорость структурообразования и схватывания гипсового теста, является образование зародышей кристаллов  $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$  из пересыщенной по отношению к ним жидкой фазы гипсового теста. В связи с этим ввод в тесто двухводного

гипса, выполняющего функцию готовых центров кристаллизации, ускоряет схватывание.

Большинство поверхностно-активных веществ в той или иной степени замедляет схватывание гипсового теста. Однако лишь немногие из них увеличивают время начала схватывания на 20...40 мин и более. К их числу относятся столярный клей и полиакриламид. Оба эти соединения являются водорастворимыми полимерами и содержат следующие функциональные группы:



Влияние состава и расположения функциональных групп в молекулах ПАВ на их способность замедлять схватывание гипсового теста исследовано недостаточно.

### *Механическая прочность камня из строительного гипса*

Предел прочности гипсового камня при сжатии и изгибе определяют по ГОСТ 23789–79 «Вяжущее гипсовые. Методы испытаний», пп. 5, 6.

Согласно ГОСТ 125–79 «Вяжущие гипсовые. Технические условия», п. 1.3, в зависимости от предела прочности при сжатии различают следующие марки гипсовых вяжущих: Г-2, Г-3, Г-4, Г-5, Г-6, Г-7, Г-10, Г-13, Г-16, Г-19, Г-22, Г-25.

Буква Г здесь означает гипсовое вяжущее, а цифра показывает предел прочности образца размером 40×40×160 мм при сжатии через 2 ч твердения во влажно-воздушной среде, выраженный в МПа. ГОСТ 125–79, п.1.3 отражает также требования к пределу прочности гипсового камня при изгибе, который в 1,5–3 раза ниже, чем при сжатии.

Скорость твердения гипсовых вяжущих зависит от тонкости помола.

Согласно ГОСТ 125–79, п.1.6, гипсовые вяжущие, в зависимости от величины максимального остатка на сите № 002 (с размером ячеек в свету 0,2 мм), подразделяют на три группы. К первой группе относится

гипсовое вяжущее грубого помола, ко второй – среднего, к третьей – тонкого помола.

Нормативные требования к тонкости помола гипсовых вяжущих I–III групп приведены в ГОСТ 125–79, п. 1.6.

Наиболее эффективным способом повышения механической прочности гипсового камня является добавление оптимальных дозировок так называемых пластификаторов и суперпластификаторов, которые понижают водопотребность гипсового теста на 10...30%.

К числу этих добавок относятся лигносульфонат технический и суперпластификатор С-3, поликарбоксилаты и др.

Данная лабораторная работа должна носить характер научного исследования. В ее рамках необходимо изучить влияние новых минеральных и поверхностно-активных добавок на водопотребность, сроки схватывания теста и прочность гипсового камня.

Задание на выполнение экспериментов выдается преподавателем.

### **Контрольные вопросы**

1. Какое вяжущее будет иметь более высокую водопотребность: Г-3 ВІ или Г-3 ВІІ, Г-6 АІІІ или Г-5 БІ?

2. Какое влияние на водопотребность гипсового теста оказывают высокомолекулярные водорастворимые полимеры, например, столярный клей или крахмал?

3. Согласно технологическому регламенту предприятия, для изготовления гипсовых изделий необходимо вяжущее марки Г-7 ВІІ, а поставщик предлагает строительный гипс марки Г-6 БІІІ. Ваши действия.

4. Можно ли, имея необходимый химреагент, заменить при производстве гипсовых изделий вяжущее Г-5 на Г-4, а Г-10 АІІ на Г-10 БІІ?

5. При испытании образцов размером 40×40×160 мм одной из партий гипсового вяжущего прибор показал 200 кг, а из вяжущего другой партии были изготовлены и испытаны образцы размером 20×20×100 мм; при их испытании с той же базой прибор показал 36 кг.

Какая партия гипсового камня имеет более высокую марку по прочности?

#### Лабораторная работа № 4

### Определение реологических свойств гипсовых суспензий. Краткие сведения по основам реологии

#### *Основные понятия*

*Реология* – это наука о течении жидкостей. Управление процессами пептизации, коагуляции, структурообразования лежит в основе направленного изменения вязкости цементно-водных систем, регулирования таких важных технологических свойств бетонной (растворной) смеси, как подвижность, сохранение ее во времени, расслаиваемость и водоотделение.

Важнейшей реологической характеристикой суспензий является так называемая реологическая кривая – зависимость напряжения сдвига от скорости деформации (или наоборот). Основными характеристиками дисперсных систем, которые можно рассчитать из реологической кривой, являются предельное напряжение сдвига ( $P_0$ ) и пластическая вязкость ( $\eta_{пл}$ ). Они характеризуют силу взаимодействия частиц цементной суспензии друг с другом, т.е. прочность системы. Снижение пластичной вязкости является важной технологической задачей. Ее решение позволяет повысить производительность смесительного оборудования, улучшить перемешивание и удобоукладываемость строительных растворов и бетонов.

Для снижения вязкости используют специальные расжижители, которые, как правило, представляют собой поверхностно-активные вещества (ПАВ), содержащие сульфогруппы.

Характерным свойством жидкостей является текучесть.

Идеальные или ньютоновские жидкости текут при сколь угодно малом напряжении сдвига. Их течение описывается законом Ньютона:

$$P = \mu \frac{du}{dn}, \quad \frac{du}{dn} = \dot{\epsilon}, \quad P = \mu \cdot \dot{\epsilon}, \quad (10)$$

где  $P$  – напряжение сдвига, Па;  $\mu$  – коэффициент динамической вязкости, Па·с;  $\frac{du}{dn} = \dot{\epsilon}$  – градиент скорости сдвига, с<sup>-1</sup>.

К ньютоновским жидкостям относятся вода, керосин, этиловый спирт, ртуть, газы и т.д. В обычных условиях они проявляют лишь вязкость.

Гипсовое, известковое, цементное тесто, бетонные смеси, строительные растворы из неорганических вяжущих и битума относятся к числу так называемых неньютоновских жидкостей, которые обладают, кроме вязкости, упругостью и пластичностью.

Упругие тела, если к ним приложить нагрузку, деформируются обратимо, т.е. после снятия нагрузки полностью восстанавливают свою форму. Примерами упругого тела являются стальная пружина, резиновый мяч.

Деформация упругих тел описывается законом Гука:

$$P = E \cdot \epsilon, \quad (11)$$

где  $P$  – напряжение, Па;  $E$  – модуль упругости, Па;  $\epsilon$  – относительная деформация.

Реологически сложные тела, к которым относится гипсовое тесто, кроме вязких и упругих свойств, могут обладать и пластичностью. К числу пластичных тел относится пластилин, который необратимо деформируется при приложении напряжения, превышающего предел текучести. При напряжениях, меньших предела текучести, такие тела проявляют упругие свойства.

Простейшей моделью, которая часто применяется для описания течения достаточно разбавленных строительных растворов и теста, является модель Шведова–Бингама, или вязкопластическая модель:

$$P = P_0 + \mu_{пл} \frac{du}{dn}, \quad P = P_0 + \mu_{пл} \cdot \dot{\epsilon}, \quad (12)$$

где  $P$  – действующее на тело напряжение, Па;  $P_0$  – предел текучести, или статическое предельное напряжение сдвига, Па;  $\mu_{пл}$  – пластическая вязкость, Па·с;  $\frac{du}{dn}$  – градиент скорости сдвига, с<sup>-1</sup>.

На рис.6 показано сопоставление графиков течения идеальных (ньютоновских) и вязкопластических жидкостей.



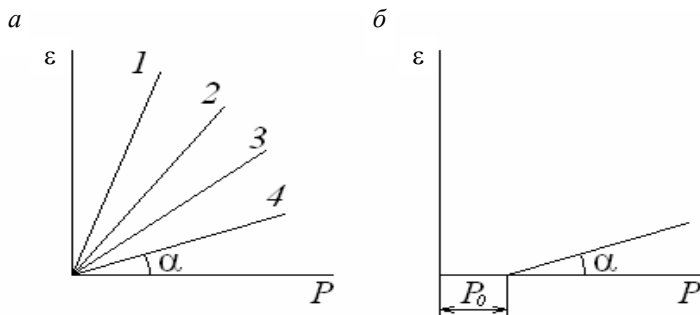


Рис.6. Графики течения ньютоновской (а) и бингамовской (б) жидкостей

Как видно из рис.6, ньютоновская жидкость течет при любом  $P > 0$ , тогда как вязкопластическая – только при  $P > P_0$ .

Коэффициент динамической вязкости ньютоновской жидкости является константой и равен

$$\mu = k \cdot \operatorname{ctg} \alpha,$$

где  $k$  – коэффициент, который зависит от характеристик прибора, с помощью которого измерялось течение жидкости.

На рис.6 а  $\mu_1 < \mu_2 < \mu_3 < \mu_4$ .

Пластическая вязкость, в противоположность коэффициенту динамической вязкости, не является константой.

Вязкопластические тела в процессе движения проявляют и вязкие, и пластические свойства. Количественное соотношение тех и других зависит от скорости движения и геометрических характеристик потока, а также от предела текучести и пластической вязкости. Для характеристики потоков вязкопластических жидкостей можно использовать число Сен-Венана:

$$Sv = \frac{P_0 \cdot d}{\mu \cdot u},$$

где  $P_0$  – предел текучести потока, Па;  $d$  – диаметр потока, м;  $\mu$  – пластическая вязкость;  $u$  – линейная скорость движения, м/с.

Некоторые жидкости, например расплавленный битум, поливинилацетатная эмульсия, эпоксидные, фенол-формальдегидные и другие смолы проявляют свойства псевдопластичности (рис.7). Их реограммы описываются формулой Оствальда Де Валле:

$$P = \kappa \left( \frac{du}{dn} \right)^a = \kappa \cdot \dot{\varepsilon}, \quad (13)$$

где  $\kappa$  – показатель консистенции, обратной текучести;  $a > 1$  – показатель нелинейности.

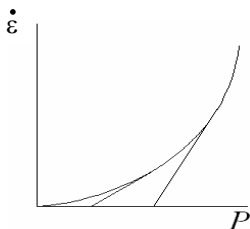


Рис. 7. Реограмма псевдопластичного тела

Так называемые предельные динамические напряжения сдвига при этом можно найти, проведя касательные к кривой ( $P$ ).

Большинство гипсовых, известковых, цементных и шлаковых суспензий являются нелинейными вязкопластическими телами, проявляя и вязкопластические, и псевдопластичные свойства. Их реограммы могут быть описаны уравнением Балкли–Гершеля:

$$P = P_0 + \mu_{пл} \cdot \varepsilon^a \quad (14)$$

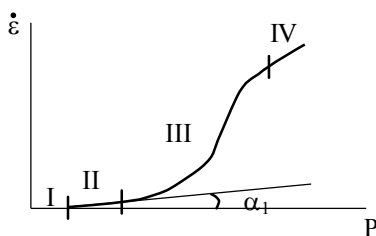


Рис. 8. Реограмма реологически сложного тела

Расчет численных значений  $\mu_{пл}$  и  $P$  по уравнению (14) довольно громоздок и неудобен. В связи с этим иногда практикуется разбиение реограммы на ряд участков (рис.8):

I – область отсутствия вязкого течения, когда  $P < P_0$ ;

II – область вязкопластического течения по Бингаму с наибольшей пластической вязкостью  $\mu_{nl} = k \cdot \text{ctg} \alpha_1$ ;

III – область псевдопластического течения с переменной величиной вязкости и предельного динамического напряжения сдвига;

IV – область вязкопластического течения по Бингаму.

### Последовательность выполнения работы

Определить нормальную густоту гипсового теста.

Взять 200 г гипсового вяжущего, приготовить из него тесто нормальной густоты.

Залить тесто в измерительный стакан ротационного вискозиметра ВСН-3 или Реотест и определить предел текучести теста при скорости вращения внешнего цилиндра 0,2 об/мин.

Переключить прибор на скорость вращения 100, 200, 300, 400, 600 об/мин и записать показание датчика напряжений сдвига для каждого из этих значений скорости сдвига.

Пересчитать показания датчика прибора в Паскалях, умножив их на константу прибора.

Пересчитать скорость вращения рабочего цилиндра прибора, выраженную в оборотах в минуту, в градиенты скорости сдвига, выраженные в  $\text{с}^{-1}$ .

Построить реограмму гипсового теста в координатах  $\varepsilon$  ( $P$ ) либо  $P(\varepsilon)$ .

Рассчитать пластическую вязкость теста для прямолинейного участка реограммы.

Расчеты выполнить по следующим формулам:

$$\rho_0 = k \cdot \varphi,$$

где  $k = 0,263$  Па/град – величина статического предельного напряжения сдвига, соответствующая углу закручивания шкалы прибора на один градус;  $\varphi$  – угол закручивания по шкале прибора, град:

$$\mu_{пл} = A \frac{\varphi_2 - \varphi_1}{n_2 - n_1},$$

где  $A = 0,2426$  [(Па · с) об/мин]/град;  $\varphi_2$  – угол поворота шкалы при высокой скорости вращения рабочего цилиндра прибора, град;  $\varphi_1$  – то же при ближайшей малой скорости, град;  $n_2, n_1$  – частота вращения рабочего цилиндра, об/мин.

Аналогичные эксперименты выполнить с суспензиями из гипса с добавками: 0,5% фосфата натрия; 1% фосфата натрия; 0,4% столярного клея; 0,8% столярного клея; 0,5% ЛСТ; 1% ЛСТ; 0,2% карбоксиметилцеллюлозы (КМЦ); 5% КМЦ; 0,5% нитрилотриметилфасфоная кислота (НТФ).

Выполнить определение реологических свойств растворов с добавками при водосодержании, одинаковом с контрольным тестом без добавок.

Сопоставить реограммы теста с добавками и контрольного теста.

### **Контрольные вопросы**

1. Можно ли по реограммам псевдопластичного тела приближенно рассчитать пластическую вязкость по Бингаму?

2. Нарисуйте диаграмму деформации упругого тела по Гуку.

3. Сравните реограмму теста с добавкой с реограммой контрольного теста. Как добавка повлияла на предел текучести и пластическую вязкость теста, степень нелинейности реограммы?

4. Наиболее эффективные добавки, уменьшающие пластическую вязкость и предел текучести суспензий вяжущих, получили фирменное наименование суперпластификаторы. К их числу относятся и отечественный реагент С-3. Правильно ли это название с точки зрения реологии?

5. Как влияют на реологические свойства гипсового теста добавки, увеличивающие водопотребность?

6. Какое влияние на реологические свойства гипсового теста оказывает добавление в него дополнительного количества воды?

### **Лабораторная работа № 5**

#### **Кинетика структурообразования гипсового теста**

Ротационные и другие вискозиметры позволяют измерить структурно-механические свойства реологически сложных тел, в основном в индукционном периоде, на начальной стадии их гидратации,

когда их вязкопластические свойства выражены слабо. По окончании индукционного периода прочность структуры теста из гипсовых и других вяжущих резко возрастает, так что измерить их ротационным, капиллярным и другими видами вискозиметров становится невозможно.

В этих случаях целесообразно применять метод пенетрации. Приборы этого типа основаны на том, что в исследуемое структурируемое тело погружается датчик в виде конуса, пластины либо шара. Величина и скорость погружения датчиков в исследуемую суспензию будут зависеть от приложенной нагрузки и структурно-механических характеристик изучаемого материала. Можно также погружать датчик в исследуемую суспензию с заданной скоростью и измерять при этом напряжение.

Применение пенетрационных методов позволяет измерять вязкоупругопластические характеристики структурированных систем и их изменение во времени.

Простейшим пенетрометром может служить прибор Вика, в котором игла заменена на конус. Угол раскрытия конуса обычно находится в пределах  $15 \dots 90^\circ$ . Конус как датчик прибора выбирают, исходя из степени структурированности исследуемой суспензии.

Данная методика позволяет измерять лишь так называемую пластическую прочность  $P_m$ , которая является интегральной характеристикой структурно-механических показателей теста или раствора. Структурная прочность зависит от предела текучести, вязкости и упругих характеристик дисперсных систем.

В индукционном периоде структурная прочность теста или раствора из любого вяжущего возрастает мало. По его окончании начинается интенсивный рост величины  $P_m$ .

По данным литературных источников, у свежеприготовленного теста  $P_m \approx 10 \dots 20$  МПа, в период начала схватывания  $P_m \approx 0,1$  МПа, а при наступлении конца схватывания  $P_m \approx 0,5$  МПа.

У гипсового теста с нормальным структурообразованием величина  $P_m$  плавно и непрерывно возрастает вплоть до конца схватывания. Нарушение процесса структурообразования, выражающееся в его задержке, временной остановке, обычно является признаком аномального схватывания (рис.9).

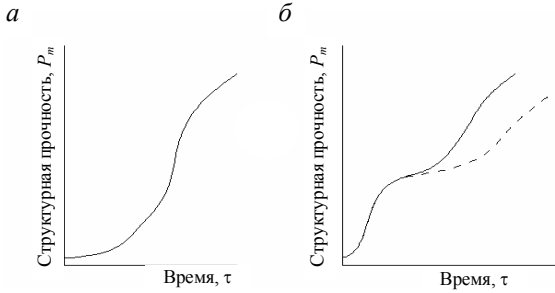


Рис. 9. Кинетика структурообразования теста с нормальным (а) и аномальным (б) схватыванием

### Описание прибора

Прибор для измерения пластической прочности теста или раствора из вяжущего вещества изображен на рис. 10.

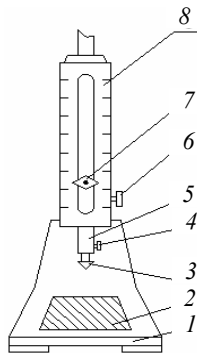


Рис. 10. Прибор для определения пластической прочности

На массивном основании 1 ставят форму 2 с используемым тестом. Датчиком прибора служит конус 3, закрепленный на штоке 5 с помощью винта 4. Стопорный винт 6 позволяет устанавливать конус на заданной исходной высоте. Отсчет глубины погружения конуса производится с помощью индикатора 7 по шкале 8.

### Последовательность выполнения работы

Получить у преподавателя задание по составу объекта, который нужно исследовать.

Повернув стопорный винт 6 против часовой стрелки, освободить шток 5 и, установив его в крайнее верхнее положение, зафиксировать поворотом винта 6 по часовой стрелке.

Приготовить тесто нормальной густоты по ГОСТ 23789–79 «Вязущие гипсовые. Методы испытаний», пп. 4.2, 4.3 и залить его в стандартную форму для определения сроков схватывания (см. тот же ГОСТ, п. 4.5).

На основание прибора установить форму с используемым образцом.

Придерживая шток 5 рукой, ослабить винт 4, привести конус в соприкосновение с поверхностью образца, затем поворотом винта 6 по часовой стрелке зафиксировать его в этом положении.

По истечении 60 с после приготовления образца теста или раствора поворотом фиксатора 6 против часовой стрелки сбросить шток с конусом.

Зафиксировать глубину погружения конуса с точностью 0,5 мм.

Поднять шток и через 60 с после предыдущего замера повторить его в соответствии с пп. 5, 6.

Замеры производят на недеформированных участках образца.

По полученным экспериментальным данным рассчитать величину пластической прочности  $P_m$ :

$$P_m = \kappa_\alpha \frac{m}{h^2},$$

где  $\kappa_\alpha$  – константа прибора, которая следующим образом зависит от угла раскрытия конуса:

$$\alpha = 30^\circ, \quad \kappa_\alpha = 0,96,$$

$$\alpha = 45^\circ, \quad \kappa_\alpha = 0,41,$$

$$\alpha = 60^\circ, \quad \kappa_\alpha = 0,21,$$

$m$  – масса штока с конусом (360 г)

По результатам расчетов построить график зависимости

$$P_m = f(\tau).$$

Сопоставить кинетику структурообразования состава с добавкой и контрольного, не содержащего добавок.

Объяснить причины наблюдаемых различий.

Составы для исследования:

Гипсовое тесто нормальной густоты без добавок.

Гипсопесчаный раствор 1 : 3 по массе.

Гипсовое тесто с добавкой ЛСТ в количестве 0,3; 0,6; 1%.

Гипсовое тесто с добавкой фосфата натрия 0,2; 0,3; 0,5%.

Гипсовое тесто с добавкой 0,3; 0,5; 1% КМЦ.

Гипсовое тесто с новыми, неисследованными добавками.

### **Контрольные вопросы**

1. Один состав гипсового теста с добавкой показал глубину погружения конуса с углом  $30^\circ$ , равную 5 мм, а другой через такое же время структурообразования 2 мм при угле раскрытия конуса  $45^\circ$ . Какой состав имеет более высокую структурную прочность и во сколько раз?

2. Как повлияет на структурную прочность гипсового теста добавка 20% глины?

3. При попытке измерить структурную прочность теста конусом с углом  $30^\circ$  последний полностью погружался в тесто, так что замер сделать не удалось. Ваши действия?

4. Тесто, которое Вы исследуете, структурируется настолько быстро, что конусом с углом раскрытия  $45^\circ$  Вы успели сделать лишь два замера, а затем конус перестал погружаться в образец.

5. Как получить еще хотя бы один замер, чтобы построить кривую структурообразования?

6. Структурную прочность исследуемого Вами теста можно измерить и конусом с углом  $30^\circ$  и с углом  $45^\circ$  у основания. Какой из них даст меньшую погрешность при измерениях?

7. Какие факторы влияют на погрешность измерений структурной прочности теста и как их уменьшить?



## Лабораторная работа № 6

**Влияние добавок на водостойкость гипсового  
камня**

В

*Цель работы:* изучить влияние минеральных добавок и ПАВ на водостойкость камня из гипсового вяжущего.

Строительный гипс относится к числу вяжущих воздушного твердения. На воздухе он твердеет значительно лучше, чем в воде. Если затвердевшие на воздухе образцы из гипсового вяжущего насытить водой, то их прочность снижается в 2–3 раза. Мерой водостойкости гипсового камня может служить коэффициент водостойкости – отношение предела прочности образцов, насыщенных водой, к пределу прочности камня, твердевшего на воздухе. Этот коэффициент для гипсовых вяжущих без добавок находится в пределах 0,3...0,45.

Ввод в гипсовое вяжущие водостойких, т.е. мало растворимых в воде добавок, позволяет повысить водостойкость камня. Для этой цели можно использовать портландцемент, молотые шлаки, кварцевый песок, трепел, опоку, золу-унос тепловой электростанции и т.п. Водостойкость гипсового камня повышается также при добавлении в воду затворения пластификаторов и суперпластификаторов, например, ЛСТ, С-3, декстрина и других ПАВ, которые снижают водопотребность гипсового теста и позволяют получать камень с пониженным водосодержанием и открытой пористостью.

Кроме того, водостойкость гипсового камня может быть повышена обработкой его поверхности гидрофобизирующими веществами, водостойкими красками, лаками и т.п.

Нужно изучить следующие составы:

Гипс строительный без добавок.

Гипс с добавкой 20% портландцемента.

Гипс с добавкой 30% молотого шлака.

Гипс с добавкой 30% отходов мокрой магнитной сепарации железистых кварцитов.

Гипс с добавкой 0,5...1% суперпластификатора С-3.

Гипс с добавкой 0,5...1% лигносульфоната кальция технического модифицированного.

Гипс с добавкой новых, неисследованных веществ.

*Необходимое оборудование и материалы:* строительный гипс; минеральные добавки и химреагенты, перечисленные выше; весы технические, секундомер либо песочные часы; чаша для затворения, градуированные цилиндры; стандартный конус для определения нормальной плотности теста для изготовления балочек; сушильный шкаф с автоматической регулировкой температуры; установки для испытания образцов при изгибе и сжатии.

### **Последовательность выполнения работы**

Определить нормальную плотность гипсового теста заданного состава.

Заформовать шесть образцов-балочек из теста нормальной плотности.

После двух часов твердения образцы расформовать и высушить в сушильном шкафу при температуре 50...60 °С до постоянной массы. Три образца положить в воду, а три – хранить на воздухе в течение 7 сут, после чего определить предел прочности образцов при изгибе и сжатии.

Рассчитать коэффициент водостойкости камня заданного состава.

### **Контрольные вопросы**

1. Какой гипс –  $\alpha$ - или  $\beta$ -ПСК – лучше взять за основу для повышения водостойкости камня путем добавки молотого шлака?

2. Камень из какого вяжущего будет обладать более высокой водостойкостью: Г-7 АП или Г-5 АП; Г-10 Б1 или Г-10 БП; Г-7 А1 или Г-5 Б1?

3. Можно ли называть отношение предела прочности водонасыщенного образца к пределу прочности воздушно-сухого коэффициентом размягчения? Ваши предложения по расчету коэффициента размягчения.

4. Какая вода сильнее снижает прочность гипсового камня – чистая или с добавкой ПАВ? Чистая вода или 1%-й раствор серной кислоты?

5. Снижается ли прочность гипсового камня при насыщении жидкими углеводородами, например керосином? Что сильнее снижает прочность камня – вода или керосин?

6. Изменится ли прочность гипсового камня при увеличении относительной влажности воздуха с 20 до 40 %; с 60 до 80 %?

### **РАЗДЕЛ 3. ШЛАКОВЫЕ ВЯЖУЩИЕ**

#### **Основные сведения о шлаках**

Шлаками называют вторичные промышленные продукты, которые образуются при охлаждении огненно-жидких расплавов, содержащих оксиды кальция, алюминия, железа, магния, кремния и других элементов.

Основными поставщиками шлаков являются черная и цветная металлургия, на долю которой приходится около 90% их общего выпуска, а также предприятия по производству фосфора.

Шлаковый расплав имеет температуру до 1500...1600°C. В зависимости от режима охлаждения расплава образуются отвалы либо гранулированные шлаки. Последние обычно получают путем резкого охлаждения шлакового расплава водой. При этом компоненты шлака не успевают закристаллизоваться в виде отдельных минералов, а образуют шлаковое стекло в виде частиц неправильной формы размером 1...5 мм.

Отвалы после их слива на землю охлаждаются в естественных условиях сравнительно медленно, поэтому они состоят в основном из кристаллических частиц.

Доменные гранулированные шлаки составляют около 2/3 от общего выпуска шлаков. По составу они близки к портландцементному клинкеру, отличаясь от последнего меньшим содержанием оксида кальция и более высоким – диоксида кремния. Содержание оксида магния в доменных шлаках достигает 10% и более. Однако здесь он не является вредным компонентом, как в портландцементе, а способствует увеличению гидратационной активности шлаков.

Химический состав шлаков в определенной степени характеризует их гидратационную активность. Так, активность шлаков возрастает с увеличением модулей их основности  $M_0$  и активности  $M_a$ :

$$M_0 = \frac{\text{CaO} + \text{MgO}}{\text{SiO}_2 + \text{Al}_2\text{O}_3}, \quad M_a = \frac{\text{Al}_2\text{O}_3}{\text{SiO}_2}.$$

По величине модуля основности шлаки делятся на основные ( $M_0 > 1$ ) и кислые ( $M_0 < 1$ ).

Повышенной основностью (1,1...1,3) отличаются доменные шлаки Украины. Шлаки Урала и Кузбасса преимущественно кислые.

Модуль активности доменных шлаков обычно находится в пределах 0,1...0,5.

Низкими модулями активности отличаются шлаки Украины, а шлаки Казахстана и Урала имеют повышенное значение  $M_a$ .

В зависимости от минерала, который в основном выделяется при кристаллизации шлаков, они делятся на следующие виды:

волластонитовые (волластонит –  $\text{CaO} \cdot \text{SiO}_2$ );

ортосиликатные (основной продукт кристаллизации – гамма-двухкальциевый силикат);

мелилитовые (при кристаллизации выделяются окерманит  $2\text{CaO} \cdot \text{Mg} \cdot 2\text{SiO}_2$ , геленит  $2\text{CaO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot \text{SiO}_2$  либо их твердые растворы).

Модули основности и активности не вполне однозначно характеризуют свойства шлаков. Так, например, если один шлак имеет более высокий модуль основности и более низкий модуль активности, чем второй, то их трудно сравнить между собой по качеству. В связи с этим согласно ГОСТ 3476–74 гидратационная активность доменных и электротермофосфорных шлаков характеризуется коэффициентом качества  $K_k$ :

$$K_k = \frac{\text{CaO} + \text{MgO} + \text{Al}_2\text{O}_3}{\text{SiO}_2 + \text{TiO}_2}.$$

В цементной промышленности используют доменные гранулированные шлаки с величиной коэффициента качества 1,2...1,6.

Эта формула применяется при содержании оксида магния в шлаках до 10 %. При более высоком содержании оксида магния в шлаках расчет коэффициента качества производят по видоизмененной формуле. У большинства доменных шлаков, используемых в цементной промышленности, содержание оксида магния не превышает 10%.

При прочих равных условиях активность шлаков возрастает с увеличением содержания в них стекловидной фазы. Например, кристаллический волластонит не проявляет вяжущих свойств при темпе-

ратуре до 180°C, тогда как стекло волластонитового состава начинает проявлять вязущие свойства уже при температуре 120...130°C. В связи с этим для оценки гидратационной активности шлаков нужно знать не только их химический состав, но и степень закристаллизованности. Гидратационная активность большинства шлаков (за исключением высокоалюминатных) при комнатной температуре очень низка.

Универсальным способом активации шлаков является повышение температуры. Однако рост температуры среды до 130...150°C относительно мало влияет на их активность. При температуре 150...160°C происходит резкая активизация шлаков, а при автоклавной обработке при 180...200°C доменные шлаки образуют камень с высокой механической прочностью.

Однако автоклавная обработка шлаков не экономична, поэтому на практике применяются способы активации шлаков с помощью различных добавок.

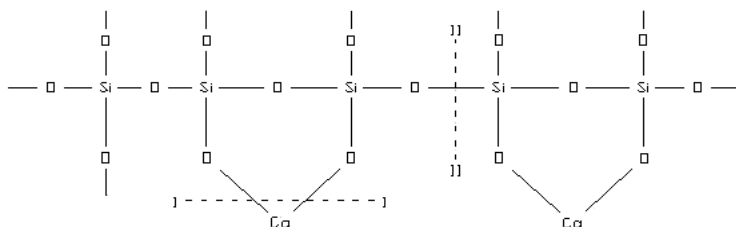
Известны следующие способы активации шлаков:

– щелочная с помощью веществ, повышающих рН среды до 10...12 и выше (известь, портландцемент, гидроксиды натрия, калия, оксид магния, кальцинированная сода, поташ, жидкое стекло и т.п.);

– с помощью водорастворимых солей фтора (фтористый натрий, кремнефтористый натрий);

– сульфатная (гипс, сульфаты натрия, калия).

Наиболее эффективна комбинированная сульфатно-щелочная активация. Механизм щелочной активации шлаков заключается в следующем. Важнейшим структурным элементом доменных шлаков является полимерный кремнекислородный анион:



При смешении шлака с водой происходит разрыв связей Ca—O по линии 1—1, и ионы кальция переходят в раствор. При этом гроздкий полимерный кремнекислородный анион плохо диффундирует

в жидкую фазу и, откладываясь на поверхности частиц шлака, тормозит их дальнейшую гидратацию.

Для активации доменных шлаков нужно вызвать разукрупнение, деполимеризацию кремнекислородного аниона.

Этого можно добиться с помощью ионов гидроксила OH- либо фтора F-:



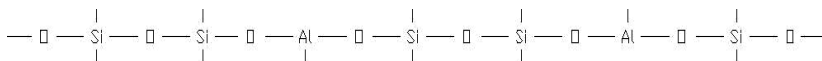
При разрыве связи до линии П—П к иону кремния, благодаря большому сродству кремния к этим ионам, образуются мономерные ортосиликат-ионы  $\text{SiO}_4^{4-}$  либо кремниевой кислоты с малой степенью полимеризации. Они достаточно подвижны уже при комнатной температуре и переходят в жидкую фазу вместе с ионами кальция, обнажая новые поверхности гидратации.

Тот факт, что активаторами шлаков являются не только ионы гидроксила, но и фтора, объясняется значительным сходством размера и физико-химических свойств этих ионов.

При увеличении модуля основности шлаков от 0,6...0,7 до 1,2...1,3 их склонность к щелочной активности возрастает. Грануляция также значительно усиливает склонность шлаков к щелочной и фторидной активации. К щелочной активации склонны не только доменные, но и электротермофосфорные шлаки.

Сульфатной активации подвержены лишь шлаки с достаточно высоким модулем активности (0,3...0,7). Электротермофосфорные шлаки, имеющие очень малый модуль активности (до 0,10...0,15), слабо активизируются сульфатами.

Механизм сульфатной активации состоит в следующем. Основная часть ионов алюминия в шлаках встроена в кремнекислородный каркас, образуя алюмокремнекислородный анион:



В присутствии сульфат-ионов происходит разрыв алюмокислородных связей и образуется очень мало растворимый этtringит  $3\text{CaO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 3\text{CaSO}_4 \cdot 32\text{H}_2\text{O}$ .

Благодаря этому происходит разукрупнение, деполимеризация полианиона шлака, что ускоряет его гидратацию.

В присутствии ионов гидроксила происходит усиление сульфатной активации, поэтому наиболее эффективна совместная добавка к шлакам сульфатов и щелочных добавок.

Фтористые соли не применяются на практике как активаторы шлаковых вяжущих в связи с их некоторой токсичностью.

Известны следующие вяжущие из доменных и электротермофосфорных шлаков:

шлакоизвестковые, содержащие 10...30% извести;

шлакоцементные, содержащие до 20% портландцемента;

сульфатношлаковые (85% шлака, 10% гипса, 5% цемента либо извести).

Все эти вяжущие отличаются временем начала схватывания 20...40 мин, маркой прочности 100...300. Их особенностью являются более сильные колебания свойств, чем у портландцемента. Они относятся к числу энерго- и ресурсосберегающих материалов. Это местные вяжущие, которые целесообразно использовать для производства ответственных изделий.

В 70 – 80-е гг. XX в. изучали шлакощелочные вяжущие с добавкой до 10...15% щелочных активаторов – каустической и кальцинированной соды, жидкого стекла и т.п. Для увеличения их водостойкости к ним добавляют до 6% портландцемента.

Эти шлакощелочные вяжущие отличаются короткими сроками схватывания – 10...30 мин, причем обычные замедлители схватывания их не регулируют. Их марочная прочность доходит до 600...800 кгс/см<sup>2</sup>, причем они хорошо твердеют даже при температуре, близкой к 0°С. Недостатками этих шлакощелочных вяжущих являются непостоянство свойств, недостаточная атмосфероустойчивость, невозможность регулировать сроки схватывания. Их минус – необходимость использования дорогой и дефицитной каустической либо кальцинированной соды. Часто на поверхности изделий из них появляются высолы из-за высокого содержания щелочных солей.

Указанные вяжущие, за исключением сульфатно-шлаковых, можно изготовить и на основе электротермофосфорного шлака. Последний содержит мало оксидов железа и других красящих соединений, поэтому отличается белым цветом. На его основе можно получить декоративные изделия.

Если почти все доменные шлаки гранулируют и используют в строительстве, то большинство сталеплавильных шлаков относится к отвальным. Обычно они не обладают вяжущими свойствами и не используются при производстве вяжущих материалов. Однако некоторые из них, например электросталеплавильные саморассыпающиеся шла-

ки, в принципе могут в определенных условиях служить основой шлаковых вяжущих. Они имеют высокий модуль основности – 2 и более и состоят в основном из гамма-двухкальциевого силиката. Этот минерал образуется при охлаждении шлака из бета-двухкальциевого силиката, который при температуре около 670°C испытывает фазовый переход со значительным увеличением объема. При этом шлак сильно расширяется, что вызывает его рассыпание в мелкий порошок, так что его можно использовать без помола.

Гамма-двухкальциевый силикат состоит из изолированных тетраэдров  $\text{SiO}_4^{4-}$ . Благодаря исключительно регулярной, устойчивой структуре, этот минерал, в противоположность одинаковым с ним по составу альфа- и бета-двухкальциевым силикатам (белиту), при комнатной температуре не гидратируется и не твердеет. Достаточно сильно он активизируется лишь в автоклаве при 170...200°C.

Не подвергается саморассыпающийся шлак и щелочной, фторидной, а также сульфатной активации.

Один из многих активаторов этого шлака – жидкое стекло, которое представляет собой водный раствор силиката натрия  $\text{Na}_2\text{O} \cdot n\text{SiO}_2$ .

При добавлении жидкого стекла к саморассыпающимся шлакам происходит реакция:



При этом низкоосновный гидросиликат кальция CSH(B) образуется не только из гамма-двухкальциевого силиката шлака, но и из кремнекислоты, содержащейся в жидком стекле. Отсюда следует, что жидкое стекло в данном случае является не просто инициатором твердения, а активным компонентом вяжущего на шлаковой основе. Оптимальная дозировка жидкого стекла – 8...12% от массы шлака.

Шлакосиликатные вяжущие на основе саморассыпающихся шлаков отличаются короткими сроками схватывания (время начала схватывания 10...15 мин). До настоящего времени не разработаны способы замедления сроков схватывания этих материалов, что затрудняет и ограничивает их практическое внедрение. Механическая прочность шлакосиликатного камня из саморассыпающихся шлаков через 2 сут твердения в воде достигает 30...40 МПа. Их положительная особенность заключается в интенсивном твердении даже при температуре, близкой 0°C.

Их основные недостатки:

– более сильные, чем у портландцемента, колебания свойств, обусловленные непостоянством состава шлаков;



– более низкая, чем у портландцемента, водо- и атмосферостойкость камня на их основе;

– возможность появления на поверхности изделий высолов из-за высокого содержания в них водорастворимых щелочных соединений.

В целом цементы на шлаковой основе, особенно шлакощелочные, по большинству показателей существенно уступают портландцементу и могут рассматриваться как местные вяжущие. Рациональная область их применения – строительство одноэтажных сооружений типа дачных домиков, гаражей, сельских хозяйственных построек и т.п. Их большим достоинством является низкая стоимость, утилизация шлаковых отходов, возможность применения при пониженных температурах.

В Российской Федерации, на Украине и в Казахстане большая часть доменных шлаков применяется при производстве шлакопортландцемента и шлаковых вяжущих. В небольших объемах они используются в качестве заполнителя бетонов. За рубежом, особенно в США и Японии, из доменных шлаков в основном изготавливают литой и вспученный заполнитель для бетонов.

## Лабораторная работа № 1

### **Изучение зависимости основных показателей от вида шлака, состава и дозировки активатора**

*Основными целями* испытаний являются: приобретение навыков получения шлаковых вяжущих, их испытание, изучение зависимости их основных показателей от вида шлака, состава и дозировки активатора и других факторов.

*Материалы и оборудование:* в качестве основного компонента вяжущих рекомендуется использовать доменный гранулированный шлак, активированный следующими добавками: портландцементом (5...20%), известью (5...20%), каустической либо кальцинированной содой (3...10%), жидким стеклом (3...12%).

В качестве саморассыпающегося шлака может быть использован шлак Оскольского электрометаллургического комбината. Его активатором служит жидкое стекло (5...12%). Заполнитель – вольский либо местный речной песок.

Весы технические, прибор Вика, кольцо для сроков схватывания, виброплощадка, вибростол, сито № 008, прибор ПСХ-2, чаша для затворения, измерительный цилиндр на 200 мл, стандартные формы размером 4×4×16 см, прибор для испытания камня при изгибе, гидравлический пресс на 5...10 т.

При использовании негигроскопичных щелочных материалов (соды), а также цемента и извести возможен совместный помол компонентов (шлака и щелочного компонента) в необходимых соотношениях. Во всех остальных случаях щелочные компоненты вводят с водой затворения. Содержание щелочного компонента в вяжущем должно быть при пересчете на  $\text{Na}_2\text{O}$  не менее 2,5 и не более 6,5%, а при пересчете на  $\text{K}_2\text{O}$  – не менее 3,5 и не более 10% от массы шлака.

#### *Определение тонкости помола шлака ситовым анализом*

Для проведения испытания отвешивают 50 г молотого шлака, предварительно высушенного при температуре 105...110°C в течение 2 ч и просеивают его через сито с сеткой № 008. Просеивание считается законченным, если в течение 1 мин через сито проходит не более 0,05 г шлака. По окончании просеивания остаток на сите взвешивают с точностью до 0,01 г.

Тонкость помола определяют как остаток на сите с сеткой № 008, от первоначальной массы просеиваемой пробы. Тонкость помола шлака должна быть такой, чтобы при просеивании через сито с сеткой № 008 проходило не менее 95% пробы, взятой для просеивания (остаток на указанном сите не должен превышать 5%). Навеску шлака просеивают вручную или с помощью прибора для механического просеивания.

#### *Определение тонины помола шлака по величине удельной поверхности*

Тонину помола определяют с помощью прибора ПСХ-2 методом воздухопроницаемости. Метод основан на измерении сопротивления воздуха, просеиваемого через уплотненный слой порошка, шлака.

Методика расчета удельной поверхности шлака, необходимые коэффициенты и таблицы приведены в паспорте прибора. Величина удельной поверхности шлака должна составлять 300...400 м<sup>2</sup>/кг.

*Определение нормальной густоты теста*

Нормальную густоту теста определяют на приборе Вика, при этом иглу заменяют металлическим пестиком диаметром 10 мм и длиной 50 мм. Масса подвижного стержня прибора вместе с пестиком должна быть  $300 \pm 2$  г. Перед проведением испытания проверяют свободное перемещение стержня, чистоту пестика, нулевое положение стрелки при соприкосновении пестика с пластиной, смазывают кольцо и пластину тонким слоем машинного масла.

Для приготовления шлакощелочного теста отвешивают 400 г молотого до удельной поверхности  $300...400$  м<sup>2</sup>/кг шлака и высыпают его в сферическую чашку, предварительно протертую влажной тканью. В шлаке делают углубление и в один прием вливают раствор соединений щелочных металлов. Количество раствора для первого пробного затворения шлака может быть ориентировочно принято 100 см<sup>3</sup>, т.е. 25% от массы шлака. Углубление, в которое налит раствор, при помощи стальной лопатки осторожно заполняют шлаком и через 30 с перемешивают в течение 5 мин, энергично растирая тесто лопаткой во взаимно перпендикулярных направлениях, поворачивая чашу на 90°. Окончив перемешивание, шлакощелочное тесто укладывают в один прием в кольцо, поставленное на пластину, 5–6 раз встряхивают его, постукивая пластиной о твердое основание. Избыток теста срезают влажным ножом. Кольцо на пластине ставят под стержень прибора Вика, пестик приводят в соприкосновение с тестом в центре кольца и закрепляют стопор. Затем быстро отвинчивают зажимной винт, и стержень вместе с пестиком свободно погружается в тесто. Через 30 с с момента освобождения стержня фиксируется глубина погружения пестика по шкале прибора.

Густота шлакощелочного теста считается нормальной, если пестик не доходит до пластины на 5...7 мм (глубина погружения 35...33 мм). При несоответствии консистенции теста требуемый опыт повторяют, увеличивая или уменьшая количество раствора затворения.

Численное значение нормальной густоты шлакощелочного теста равно, % :

$$НГ = \frac{В}{Ш} 100\% ,$$

где В – количество жидкости затворения, мл; Ш – количество шлака, г.

### *Определение сроков схватывания шлакощелочного теста*

Сроки схватывания шлакощелочного теста определяют на приборе Вика, заменив пестик на иглу сечением 1 мм<sup>2</sup>. Масса стержня с иглой должна оставаться неизменной (300 г).

Прибор готовят к работе и изготовляют тесто нормальной густоты, отмечая время затворения шлака щелочным раствором. Иглу погружают в тесто через каждые 5 мин до начала схватывания и через каждые 15 мин в последующий период до конца схватывания. Место погружения иглы меняют, передвигая кольцо, иглу протирают мягкой тканью.

За начало схватывания принимают время с момента затворения раствором до момента, когда игла не доходит до пластинки на 1...2 мм.

За конец схватывания принимают время с момента затворения щелочным раствором до момента, когда игла погружается в тесто на глубину не более 1 мм.

### *Определение прочности камня*

Для определения прочностных характеристик вяжущего изготовляют образцы-балочки размером 40×40×160 мм из раствора состава 1 : 3, состоящего из одной части шлака и трех частей песка по массе, при водотвердом отношении, соответствующем раствору нормальной густоты.

Определение консистенции раствора из шлака и песка производят методом расплыва стандартного конуса на вибростоле.

Отвешивают 1500 г песка и 500 г шлака, высыпают их в сферическую чашку, перемешивают в течение 1 мин. В углубление в центре сухой смеси выливают необходимое количество раствора и перемешивают массу вручную или механическими смесителями в течение 4 мин.

Перед укладкой смеси в форму-конус его внутреннюю поверхность и подставки слегка увлажняют. Растворную смесь укладывают в форму-конус через воронку двумя слоями равной толщины. Каждый слой уплотняют металлической штыковкой. Нижний слой штыкуют 15 раз, верхний – 10 раз. Во время укладки форму-конус прижимают рукой к подставке. После этого воронку снимают, зачищают раствор

вровень с краями и снимают форму-конус в вертикальном направлении.

Включают виброплощадку на 20 с. По окончании вибрирования измеряют диаметр основания растворного конуса в двух взаимно перпендикулярных направлениях. Расплыв конуса должен быть  $110 \pm 5$  мм. Если диаметр конуса окажется меньше или больше установленного, то затворение повторяют, увеличив или уменьшив количество щелочного раствора. При отсутствии виброплощадки испытание проводят на вибростоле: конус шлакопесчаного раствора встряхивают 30 раз за 30 с.

Растворошлаковое отношение, полученное при достижении расплыва конуса  $110 \pm 5$  мм принимают для дальнейших испытаний. Добившись требуемой консистенции, приступают к изготовлению образцов.

Образцы-балочки формируют в трехгнездовых металлических формах. Внутреннюю поверхность стенок и поддона слегка смазывают машинным маслом и закрепляют форму на лабораторной виброплощадке. Готовый раствор укладывают в гнезда формы слоем около 1 см и включают виброплощадку. В течение 2 мин вибрации равномерно, небольшими порциями заполняют раствором форму и вибрируют еще 1 мин. Отключают виброплощадку, снимают формы, ножом срезают излишек раствора, зачищают поверхность вровень с краями и маркируют образцы.

Образцы-балочки после изготовления хранят в формах с прикрытой влажной тканью верхней поверхностью в течение 3 сут в воздушно-сухих условиях, а затем распалубливают и хранят в воде до испытаний. Образцы в воде не должны соприкасаться между собой. Объем воды в ванне для хранения образцов должен быть в 4 раза больше объема образцов.

Для определения марки вяжущего образцы-балочки в возрасте 28 сут с момента их изготовления испытывают на изгиб, а затем каждую из полученных половинок – на сжатие.

Предел прочности при изгибе образцов вычисляют как среднее арифметическое из двух наибольших результатов испытаний трех образцов-балочек по формуле

$$P = \frac{3FL}{3bh^2},$$

где  $F$  – изгибающая нагрузка, кгс;  $L$  – база прибора, см;  $b$  – ширина образца, см;  $h$  – толщина образца, см.

Половинки балочек испытывают на сжатие на гидравлическом прессе. Для передачи нагрузки на половинки балочек применяют плоские стальные шлифованные пластинки размером 40×6,25 мм (площадь 25 см<sup>2</sup>). Образец вместе с пластинами должен быть установлен и отцентрирован на опорной плите прессы. При испытании образца на сжатие скорость увеличения нагрузки должна быть 5 МПа/с. Предел прочности при сжатии  $R$ , МПа (кгс/см<sup>2</sup>), каждого образца вычисляют по формуле

$$R = \frac{F}{S},$$

где  $F$  – разрушающая нагрузка, кгс;  $S$  – площадь грани, см<sup>2</sup>.

Предел прочности при изгибе образцов вяжущего, изготовленных из испытуемого раствора, вычисляют как среднее четырех наибольших результатов из шести испытанных образцов. По полученным экспериментальным данным строят зависимости прочности при изгибе и сжатии от всех исследованных технологических факторов. Экспериментальные данные оформляют в виде следующей таблицы:

Характеристика составов	Исследуемые составы			
	1	2	3	4
Маркировка образцов				
Остаток на сите № 008, %				
Удельная поверхность, кгс/см <sup>2</sup>				
Плотность щелочного раствора, кгс/см <sup>2</sup>				
Нормальная густота шлакощелочного теста				
Сроки схватывания, ч, мин, начало/конец				
Растворошлаковое отношение при расплыве конуса 170 ± 5 мм, %				
Прочность при изгибе, МПа				
Прочность при сжатии, МПа				
Примечание				

### *Оформление отчета о работе*

Отчет должен состоять:

- из вводной части, включающей краткие сведения о шлакощелочном вяжущем, его свойствах, а также определения цели данной работы;
- описания методов эксперимента;
- записи всех полученных результатов с приложением графиков и сводок итоговых показателей;
- анализа полученных результатов.

### **Контрольные вопросы**

1. Имеются шлаки следующего состава:

- а)  $\text{CaO} = 45,0\%$ ;  $\text{SiO}_2 = 38,3\%$ ;  $\text{MgO} = 1,2\%$ ;  $\text{Al}_2\text{O}_3 = 4,9\%$ ;  
 $\text{Fe}_2\text{O}_3 = 2,1\%$ ;  $\text{TiO}_2 = 5,8\%$ ;
- б)  $\text{CaO} = 38,9\%$ ;  $\text{SiO}_2 = 39,4\%$ ;  $\text{MgO} = 5,5\%$ ;  $\text{Al}_2\text{O}_3 = 9,6\%$ ;  
 $\text{Fe}_2\text{O}_3 = 1,5\%$ ;  $\text{TiO}_2 = 2,1\%$ ;  $\text{CaS} = 2,7\%$ ;
- в)  $\text{CaO} = 20,4\%$ ;  $\text{SiO}_2 = 48,4\%$ ;  $\text{MgO} = 8,1\%$ ;  $\text{Al}_2\text{O}_3 = 9,9\%$ ;  
 $\text{Fe}_2\text{O}_3 = 2,2\%$ ;  $\text{TiO}_2 = 4,0\%$ ;
- г)  $\text{CaO} = 49,2\%$ ;  $\text{SiO}_2 = 25,0\%$ ;  $\text{MgO} = 10,1\%$ ;  $\text{Al}_2\text{O}_3 = 10,1\%$ ;  
 $\text{Fe}_2\text{O}_3 = 6,2\%$ ;  $\text{TiO}_2 = 0,2\%$ .

Какие это шлаки и как их можно активировать?

2. Расставьте перечисленные шлаки в порядке склонности к грануляции:

- а)  $\text{CaO} = 46,1\%$ ;  $\text{SiO}_2 = 40,3\%$ ;  $\text{Al}_2\text{O}_3 = 6,2\%$ ;  $\text{MgO} = 8,9\%$ ;  
 $\text{FeO} = 0,8\%$ ;
- б)  $\text{CaO} = 34,8\%$ ;  $\text{SiO}_2 = 41,7\%$ ;  $\text{Al}_2\text{O}_3 = 13,7\%$ ;  $\text{MgO} = 8\%$ ;  
 $\text{FeO} = 0,5\%$ ;
- в)  $\text{CaO} = 51,8\%$ ;  $\text{SiO}_2 = 28,7\%$ ;  $\text{Al}_2\text{O}_3 = 6,5\%$ ;  $\text{MgO} = 12,7\%$ ;  
 $\text{FeO} = 5,3\%$ ;
- г)  $\text{CaO} = 41,3\%$ ;  $\text{SiO}_2 = 40,1\%$ ;  $\text{Al}_2\text{O}_3 = 5,3\%$ ;  $\text{MgO} = 7,7\%$ ;  
 $\text{FeO} = 0,4\%$ .

3. Расставьте в порядке увеличения рациональной тонины помола вяжущие: ПЦ, ШПЦ, глиноземистый цемент, шлакощелочное вяжущее, гипсовое вяжущее.

4. Почему образцы камня из шлаковых вяжущих перед погружением в воду дольше держат во влажно-воздушной среде, чем образцы из порландцемента?

5. Целесообразно ли образцы камня из высокоглиноземистых шлаков выдерживать на воздухе перед погружением в воду 3 сут? Почему?

6. Как отличить по внешнему виду молотые шлаки цветной металлургии, сталеплавильные, доменные, электротермофосфорные?

7. Почему при определении сроков схватывания порландцемента иглу прибора Вика сбрасывают через 10 мин, а шлаковых вяжущих – через 5 мин?

8. При каком способе активации – щелочном или сульфатном – больше вероятность образования высолов на поверхности изделий и почему?

9. У каких вяжущих больше отношение  $P_{сж} / P_{изг}$  – у ПЦ, ШПЦ, шлакощелочных?

10. Какой вид сульфата кальция лучше использовать для получения шлакосульфатного вяжущего – гипс или полуводный сульфат кальция? Почему?



## ПРИЛОЖЕНИЯ

*Приложение 1***ПЕРЕЧЕНЬ****государственных стандартов на испытание основных  
строительных материалов и изделий***1. Вяжущие материалы*

ГОСТ 30515–97	Цементы. Общие технические условия
ГОСТ 10178–85	Портландцемент и шлакопортландцемент. Технические условия
ГОСТ 11051–74	Цемент гипсоглиноземистый расширяющийся
ГОСТ 969–91	Цементы глиноземистые и высокоглиноземистые. Технические условия
ГОСТ 22266–94	Цементы сульфатные. Технические условия
ГОСТ 25328–82	Цемент для строительных растворов. Технические условия
ГОСТ 965–89	Портландцементы белые. Технические условия
ГОСТ 24640–91	Добавки для цементов. Классификация
ГОСТ 310.1–76	Цементы. Методы испытаний. Общее положение
ГОСТ 310.2–76	Цементы. Методы определения тонкости помола
ГОСТ 310.3–76	Цементы. Методы определения нормальной плотности, сроков схватывания и равномерности изменения объема
ГОСТ 310.4–81	Цементы. Методы определения предела прочности при изгибе и сжатии
ГОСТ 9179–77	Известь строительная. Технические условия
ГОСТ 22688–77	Известь строительная. Методы испытаний
ГОСТ 125–79	Вяжущие гипсовые. Технические условия
ГОСТ 23789–79	Вяжущие гипсовые. Методы испытаний
ГОСТ 26871–86	Материалы вяжущие гипсовые. Правила приема Упаковка, маркировка, транспортирование и хранение
ГОСТ 310.5–88	Цементы. Метод определения тепловыделения
ГОСТ 310.6–85	Цементы. Метод определения водоотделения
ГОСТ 5382–91	Цементы и материалы цементного производства. Методы химического анализа

ГОСТ 22236–85	Цементы. Правила приемки
ГОСТ 22237–85	Цементы. Упаковка, маркировка, транспортирование и хранение
ГОСТ 3476-74	Шлаки доменные и электротермофосфорные гранулированные для производства цемента
ГОСТ 4013–83	Камень гипсовый и гипсоангидритовый. Для производства вяжущих материалов. Технические условия
ГОСТ 15825–80	Портландцемент цветной. Технические условия

*2. Заполнители неорганические и органические*

ГОСТ 8269.1–97	Щебень из доменного шлака для бетона. Технические условия
ГОСТ 8736–93	Песок для строительных работ. Технические условия
ГОСТ 25137–93	Материалы нерудные строительные, щебень и песок плотные из отходов промышленности, заполнители для бетона пористого. Классификация
ГОСТ 25592–91	Смеси золошлаковые тепловых электростанций для бетонов. Технические условия
ГОСТ 26644–85	Щебень и песок из шлаков тепловых электростанций для бетонов. Технические условия
ГОСТ 8735–88	Песок для строительных работ. Методы испытаний

**ПЕРЕЧЕНЬ****государственных стандартов на химические реактивы**

Обозначение	Группа	Наименование
ГОСТ 9–92	Л13	Аммиак водный технический. Технические условия
ГОСТ 125–79	Ж12	Вязущие гипсовые. Технические условия
ГОСТ201–76Е	Л14	Тринатрийфосфат. Технические условия
ГОСТ 310.1– 76	Ж19	Цемент. Методы испытаний. Общие положения
ГОСТ 310.2–76	Ж19	Цемент. Методы определения тонкости помола
ГОСТ 310.3–76	Ж19	Цементы. Методы определения нормальной плотности, сроков схватывания и равномерности изменения объема
ГОСТ 450–77	Л14	Кальций хлористый технический. Технические условия
ГОСТ 245–76	Л51	Натрий фосфорнокислый однозамещенный 2-водный. Технические условия
ГОСТ701–89Е	Л12	Кислота азотная концентрированная. Технические условия
ГОСТ 857–95	Л12	Кислота соляная синтетическая техническая. Технические условия
ГОСТ 2081–92	Л15	Карбамид. Технические условия
ГОСТ 2184–77	Л12	Кислота серная техническая. Технические условия
ГОСТ2210–73Е	Л14	Аммоний хлористый технический. Технические условия
ГОСТ 2263–79	Л13	Натр едкий технический. Технические условия

Обозначение	Группа	Наименование
ГОСТ 3758–75	Л51	Алюминий сернокислый 18-водный. Технические условия
ГОСТ 3769–78	Л51	Аммоний сернокислый. Технические условия
ГОСТ 4111–74	Л51	Железо (III) азотнокислое 9-водное. Технические условия
ГОСТ 4142–77	Л51	Кальций азотнокислый 4-водный. Технические условия
ГОСТ 4145–74	Л51	Калий сернокислый. Технические условия
ГОСТ 4148–78	Л51	Железо (II) сернокислое 7-водное. Технические условия
ГОСТ 4217–77	Л51	Калий азотнокислый. Технические условия
ГОСТ 4221–76	Л51	Калий углекислый
ГОСТ 4233–77	Л51	Натрий хлористый. Технические условия
ГОСТ 456S–95	Л15	Калий хлористый. Технические условия
ГОСТ 5243–77	Л21	Анилин солянокислый технический Технические условия
ГОСТ 5494–95	В56	Пудра алюминиевая. Технические условия
ГОСТ 6034–74	Н43	Декстрины. Технические условия
ГОСТ 6848–79	Л23	Диспергатор НФ технический. Технические условия
ГОСТ 6948–81	Б48	Пенообразователь ПО-1. Технические условия
ГОСТ 8269.0–97		Щебень и гравий из плотных горных пород и отходов промышленного производства для строительных работ. Методы физико-механических испытаний
ГОСТ 8429–77Е	Л14	Бура. Технические условия
ГОСТ 8433–81	Л23	Вещества вспомогательные ОП-7 и ОП-10. Технические условия

Обозначение	Группа	Наименование
ГОСТ 8735–88	Ж19	Песок для строительных работ. Методы испытаний
ГОСТ 9179–77	Ж12	Известь строительная. Технические условия
ГОСТ 9262–77	Л51	Кальция гидроксид. Технические условия
ГОСТ 10060.0–95	Ж19	Бетоны. Методы определения морозостойкости
ГОСТ 10178–85	Ж12	Портландцементы и шлакопортландцементы. Технические условия
ГОСТ 10181.0–81	Ж19	Смеси бетонные. Общие требования к методам испытаний
ГОСТ 10181.1–81	Ж19	Смеси бетонные. Методы определения удобоукладываемости
ГОСТ 10690–73Е	Л13	Калий углекислый (поташ). Технические условия
ГОСТ 10834–76	Л93	Жидкость гидрофобизирующая 136–41
ГОСТ 11078–78	Л13	Натр едкий очищенный. Технические условия
ГОСТ 11604–79	Л61	Латекс синтетический СКД-1С. Технические условия
ГОСТ 12966–85	Л14	Алюминий -сульфат технический очищенный. Технические условия
ГОСТ 1300788–81	Л14	Стекло натриево. Технические условия
ГОСТ 13302–77	Б45	Кислоты нефтяные. Технические условия
ГОСТ 13830–91Е	Н95	Соль поваренная пищевая. Общие технические условия
ГОСТ 17626–81	Н98	Казеин технический. Технические условия
6318–77	Л14	Натрий серноокислый технический. Технические условия
19906–74Е	Л14	Нитрит натрия технический. Технические условия

## Международная система единиц (СИ)

Величина	Единица измерения	Обозначение	Соотношение между единицами СИ и единицами других систем
1	2	3	4
Длина	Метр	м	$1\text{ м} = 10^2\text{ см} = 10^3\text{ мм}$
Масса	Килограмм	кг	$1\text{ кг} = 10^3\text{ г} = 0,102\text{ т.е.м}$
Время	Секунда	с	$1\text{ с} = 2,78 \cdot 10^4$
Сила электрического	Ампер	А	
Сила света	Свеча	св	
Термодинамическая температура	Градус Кельвина	К	$1\text{ К} = \text{°C} + 273,15$
Площадь	Квадратный метр	$\text{м}^2$	$1\text{ м}^2 = 10^4\text{ см}^2 = 10^4\text{ га}$
Объем	Кубический метр	$\text{м}^3$	$1\text{ м}^3 = 10^3/1,000028$
Средняя плотность	Килограмм на кубический метр	$\text{кг}/\text{м}^3$	$1\text{ кг}/\text{м}^3 = 10^{-3}\text{ г}/\text{см}^3 = 10^{-3}\text{ т}/\text{м}^3$
Скорость	Метр в секунду	м/с	$1\text{ м}/\text{с} = 3,6\text{ км}/\text{ч}$
Сила (вес)	Ньютон	Н	$1\text{ Н} = 10^5\text{ дин} = 0,102\text{ кг}$ ; $9,81\text{ Н} = 1\text{ кг}$
Давление (механическое напряжение)	Ньютон на квадратный метр	$\text{Н}/\text{м}^2$	$1\text{ Н}/\text{м}^2 = 0,102\text{ кг}/\text{м}^2 =$ $= 1,02 \times 10^{-5}\text{ атм} =$ $= 1,02 \times 10^{-5}\text{ кг}/\text{см}^2$ $1\text{ Н}/\text{м}^2 = 1,02 \times 10^{-7}\text{ кг}/\text{мм}^2$
Динамическая вязкость	Ньютон-секунда на квадратный метр	$\text{Нс}/\text{м}^2$	$\text{Нс}/\text{м}^2 = \text{кг}\cdot\text{м}/\text{с}^2\cdot\text{м}^2 =$ $= \text{кг}/\text{с}\cdot\text{м}$
Кинематическая вязкость	Квадратный метр на секунду	$\text{м}^2/\text{с}$	$1\text{ м}^2/\text{с} = 10^4\text{ стокс}$
Работа, энергия	Джоуль	Дж	$1\text{ Дж} = 10^7\text{ эрг} = 0,102\text{ ктм}$ $1\text{ Дж} = 0,239\text{ ккал}$ $1\text{ ккал} = 4,1910^3\text{ Дж}$
Мощность	Ватт	Вт	$1\text{ Вт} = 0,102\text{ кг}\cdot\text{м}/\text{с} \text{ л.с.} =$ $= 736\text{ Вт}$
Теплоемкость	Джоуль на градус	Дж/град	$1\text{ Дж}/\text{кг}\cdot\text{град} =$ $= 0,000238\text{ ккал}/\text{кг}\cdot\text{град}$ $1\text{ ккал}/\text{град} = 4187\text{ Дж}/\text{град}$
Удельная теплоемкость	Джоуль на килограмм-градус	Дж/кг·град	$1\text{ Дж}/\text{град} =$ $= 0,000238\text{ кал}/\text{град}$ $1\text{ ккал}/\text{кг}\cdot\text{град} =$ $= 4187\text{ Дж}/\text{кг}\cdot\text{град}$

Окончание прил.3

1	2	3	4
Теплопроводность	Ватт на метр-градус	Вт/м · градус	1 ккал/м · градус = = 1,163 Вт/м · градус
Коэффициент теплопередачи, теплоотдачи, теплообмена	Ватт на квадратный метр-градус	Вт/м <sup>2</sup> · градус	1 ккал/м <sup>2</sup> · градус = = 1,163 Вт/м <sup>2</sup> · градус

### Соотношение единиц измерений систем МКГСС и СИ

Рассмотрим соотношение единиц измерений двух систем для того, чтобы студент – будущий инженер умел правильно использовать единицы измерения и переводить их из одной системы в другую при необходимости.

Система МКГСС	Система СИ
Основные единицы	
Длина ( $l$ ) – м	Длина ( $l$ ) – м
Сила ( $F$ ) – кгс (килограмм-сила)	Масса ( $m$ ) – кг
Время ( $t$ ) – с	Время ( $t$ ) – с
Производные единицы	
Давление ( $P$ ) – кгс/см <sup>2</sup>	Сила ( $F$ ) – Н
Масса ( $m$ ) – кгс·с <sup>2</sup> /9,8 м	Давление ( $P$ ) – Па

Ньютон (Н) – это сила, которая телу с массой 1 кг сообщает ускорение 1 м/с<sup>2</sup>. Размерность этой единицы можно рассчитывать, исходя из 2-го закона Ньютона:

$$F = ma,$$

где  $F$  – сила, Н;  $m$  – масса тела, кг;  $a$  – ускорение, м/с<sup>2</sup>.

Отсюда получим

$$F = N = \frac{\text{кг} \cdot \text{м}}{\text{с}^2}.$$

В технической системе единиц измерения МКГСС силу измеряют в килограмм-силе (кгс); 1 кгс сообщает телу массой 1 кг ускорение 9,81 м/с<sup>2</sup>. Отсюда

$$1 \text{ кгс} = 9,81 \text{ кг} \cdot \text{м}/\text{с}^2 = 9,81 \text{ Н}.$$

Таким образом, соотношение систем:

кгс – сила, которая телу массой 1 кг сообщает ускорение 9,81 м/с<sup>2</sup>;

Н – сила, которая телу массой 1 кг сообщает ускорение  $1 \text{ м/с}^2$ :

$$1 \text{ кгс} = 9,81 \text{ Н} \approx 10 \text{ Н}.$$

Рассмотрим несколько примеров пересчета из одной системы в другую.

Размерность паскаля

$$\text{Па} = \frac{\text{Н}}{\text{м}^2} = \frac{\text{кг} \cdot \text{м}}{\text{с}^2 \cdot \text{м}^2} = \frac{\text{кг}}{\text{с}^2 \cdot \text{м}}.$$

Рассчитаем соотношение между МПа и кгс/см<sup>2</sup>:

$$1 \frac{\text{кгс}}{\text{см}^2} = 9,81 \frac{\text{кг} \cdot \text{м}}{\text{с}^2 \cdot \text{см}^2} = 9,81 \frac{\text{Н}}{\text{см}^2} = 9,81 \frac{\text{Н}}{(10^{-2})^2 \cdot \text{м}^2} =$$

$$9,81 \cdot 10^4 \frac{\text{Н}}{\text{м}^2} = 9,81 \cdot 10^4 \text{ Па} = 0,0981 \text{ МПа} \approx 0,1 \text{ МПа},$$

$$1 \text{ МПа} \approx 10 \text{ кгс/см}^2, \text{ или } 1 \text{ кгс/см}^2 = 0,1 \text{ МПа}.$$

Расчет предела прочности образца производится следующим образом:

$$R_{\text{СЖ}} = \frac{F}{S_{\text{обр}}} = \frac{P \cdot S_{\text{п}}}{S_{\text{обр}}} = \frac{P \cdot \pi \cdot d_{\text{п}}^2}{4 \cdot S_{\text{обр}}},$$

где  $P$  – показание манометра, кгс/см<sup>2</sup>;  $d_{\text{п}}$  – диаметр поршня, м;  
 $S_{\text{обр}}$  – площадь образца.



### Расчет количества химического реагента

Так как расчет количества химического реагента является весьма ответственным, то каждый специалист по производству строительных материалов и изделий должен уметь выполнять такие расчеты для реагентов с различным содержанием активного вещества.

Работа начинается с расчетов, направленных на определение количества вводимых в цементную суспензию реагентов. В случае, когда вещество поставляется в виде абсолютно сухого вещества с концентрацией 100 %, формула расчета следующая:

$$D = \frac{m \cdot c}{100\%},$$

где  $m$  – расход цемента в системе, кг;  $c$  – дозировка реагента, %.

Если же добавка применяется в виде раствора, то расчет ведется с учетом содержания активного вещества:

$$X = \frac{m \cdot c_1}{c_2},$$

где  $X$  – добавка реагента, кг;  $m$  – масса цемента в смеси, куда вводится реагент, кг;  $c_1$  – дозировка реагента от массы вяжущего в пересчете на сухое вещество, %;  $c_2$  – содержание активного вещества в растворе, мас. %.

В случае, когда применяется кристаллогидрат, то необходимо рассчитать, сколько процентов от общей массы добавки составляет содержание безводного реагента:

$$c_2 = \frac{M_2}{M_1} 100\%,$$

где  $M_1$  – молекулярная масса кристаллогидрата;  $M_2$  – молекулярная масса безводного вещества.

Когда применяется комплексная добавка и следует смешать два и более реагентов, то их расход для каждого рассчитывается отдельно. Комплексные добавки готовятся так же, как и монодобавки аналогичного назначения или действия.

### Наименование и состав основных пластификаторов и суперпластификаторов

Добавка	Способ получения
Суперпластификатор С-3	Получают на основе натриевых солей продукта конденсации нафталинсульфокислоты и формальдегида
Дофен (ДФ)	Добавка, получаемая на основе продуктов конденсации сульфокислот нафталина, его производных и аналогов с формальдегидом с использованием моечных кислот – отходов производства очищенных сортов нафталина
Суперпластификатор 10-03	Олигомерный продукт поликонденсации сульфированного триметиолмеламина
МФ-АР	Меламинформальдегидная анионная смола – продукт поликонденсации меламинформальдегида и сульфонила-та натрия
Суперпластификатор 40-03	Смесь натриевых солей продуктов поликонденсации с формальдегидом сульфированных ароматических углеводов, выделяемых при каталитическом крекинге и пироллизе нефтепродуктов
Мельмент Л-10 (1,5-3%), Ф – 10 (0,3-0,6%)	Сульфированный меламинформальдегид
Ломар Д (0,3-0,7%)	Конденсированный нафталинформальдегид
Пластификатор ВРП-1	Водорастворимый препарат – смесь натриевых солей продуктов конденсации салициловой кислоты с формальдегидом
С-1	Продукт поликонденсации салициловой кислоты, формальдегида и моноэтаноламина
Мелфлюкс 1641 Ф	Олигомер эфиров карбоновых кислот
ВРП – 31	Продукт поликонденсации фенола с формальдегидом в присутствии сульфата натрия (1:3, 1:1)
ВРП – 34	Продукт совместной конденсации фенола, формальдегида и моноэтаноламина в присутствии сульфата натрия
СБ – 2 А (0,6 %)	Пластификатор на основе фенольных смол, отход химического производства
СБ - Р	Продукт конденсации резорцина с формальдегидом
СБ - РФ	Продукт конденсации резорцина с формальдегидом и фурфуролом
СБ – 3 (0,35 – 0,5%)	Продукт конденсации отхода производства резорцина с формальдегидом
СБ – 5 (0,2 – 0,3%)	Продукт конденсации резорцина с формальдегидом и фурфуролом
СБ – 4	Продукт конденсации отхода производства пирокатехина и формальдегида

**Классы вредности соединений, применяемых для производства  
разжижителей цементных систем**

Соединение	ПДК, мг/м <sup>3</sup>	Класс вредности	Степень воздействия
Фенол	5,0	3	Умеренно опасный
Формальдегид	0,5	2	Высокоопасный
Нафталин	10,0	3	Умеренно опасный
Триэтаноламин	5,0	3	Умеренно опасный
Бензол	5,0	3	Умеренно опасный
Фурфурол	10,0	3	Умеренно опасный
Эфиры карбоновых кислот	8,0	5	Безопасные

## БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. *Бутт, Ю.М.* Практикум по химической технологии вяжущих материалов / Ю.М. Бутт, В.В. Тимашев. – М.: Высшая школа, 1973. – С.504.
2. *Горшков, В.С.* Методы физико-химического анализа вяжущих веществ / В.С. Горшков, В.В.Тимашев, В.Т.Савельев. – М.: Высшая школа, 1981. – С.335.
3. ГОСТ 10178 – 85. Портландцемент и шлакопортландцемент. Технические условия. – М.: Госстандарт СССР, 1988. – С.7.
4. Цементы. Методы испытаний. ГОСТ 310.1.76, ГОСТ 310.3.76, ГОСТ 310.4–81, ГОСТ 310.5–80, ГОСТ 310.6–85. – М.: Госстандарт СССР, 1965. – С.35.
5. ГОСТ 31108–2003. Портландцемент и шлакопортландцемент. Технические условия. – М.: Госстандарт России, 2004. – С.11.
6. ГОСТ 30744–2001. Портландцемент. Методы испытаний с использованием полифракционного песка. – М.: Госстандарт России, 2002. – С.17.
7. ГОСТ 23789-79. Вяжущие гипсовые. Методы испытаний. – М.: Госстандарт СССР, 1980. – С.8.
8. ГОСТ 125-79. Вяжущие гипсовые. Технические условия. – М.: Госстандарт СССР, 1980. – С.4.
9. *Волженский, А.В.* Гипсовые вяжущие и изделия /А.В.Волженский, А.В.Ферронская. – М.: Стройиздат, 1974. – С.328.
10. *Мещеряков, Ю.Т.* Гипсовые попутные промышленные продукты и их применение в производстве строительных материалов / Ю.Т. Мещеряков.– Л.: Стройиздат, 1982. – С.144.
11. *Воробьев, Х.С.* Гипсовые вяжущие и изделия / Х.С. Воробьев. – М.: Стройиздат, 1983. – С.200.
12. *Гордашевский, П.Ф.* Производство гипсовых вяжущих материалов из гипсосодержащих отходов / П.Ф. Гордашевский – М.: Стройиздат, 1987. – С 105.
13. *Лесовик, В.С.* Гипсовые вяжущие материалы и изделия / В.С. Лесовик, С.А. Погорелов, В.В. Строкова. – Белгород: БГТУ, 2004. – С.224.
14. Вторичные материалы и ресурсы черной металлургии: справочник. – М.: Экономика, 1986. Т. 2. – С.344.

15. *Волженский, А.В.* Минеральные вяжущие вещества / А.В. Волженский. – М.: Стройиздат, 1986. – С.464.
16. *Гладких, К.В.* Шлаки – не отходы, а ценное сырье / К.В. Гладких. – М.: Стройиздат, 1986. – С.116.
17. *Батраков, В. Г.* Модифицированные бетоны / В. Г. Батраков. – М.: Стройиздат, 1990.
18. Руководство по применению химических добавок в бетон. – М.: Стройиздат, 1979.
19. Строительные материалы и изделия: лабораторный практикум для строительных специальностей вузов /О. А. Чернушкин, А. А. Суслов, Л. Н. Адоньева и др.; под общ.ред. О. А. Чернушкина; Воронежская гос.арх.-строит.акад.– Воронеж, 1996.
20. Руководство по применению бетонов с противоморозными добавками. – М.: Стройиздат, 1978.
21. Пособие по применению химических добавок при производстве сборных железобетонных конструкций и изделий (к СНиП 3.09.01– 85). – М.: Стройиздат, 1989.
22. Рекомендации по применению комплексных добавок на основе суперпластификатора С-3 для производства сборных железобетонных изделий на заводах ЖБИ Главмоспромстройматериалов.– М.: НИИЖБ Госстроя, 1984.

Учебное издание

**Рахимбаев** Шарк Матрасулович  
**Онопrienко** Наталья Николаевна  
**Аниканова** Татьяна Владимировна  
**Минаков** Сергей Валерьевич

МИНЕРАЛЬНЫЕ ВЯЖУЩИЕ ВЕЩЕСТВА

Лабораторный практикум

Редактор Афонина Г.Н.

Подписано в печать 22.04.10. Формат 60×84/16. Усл. печ. л. 5,4. Уч.-изд. л.5,8.  
Тираж 100 экз. Заказ № Цена

Отпечатано в Белгородском государственном технологическом университете  
им. В.Г. Шухова  
308012, г. Белгород, ул. Костюкова, 46