

**МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ РЕСПУБЛИКИ БЕЛАРУСЬ**

**УЧРЕЖДЕНИЕ ОБРАЗОВАНИЯ**

**«БЕЛОРУССКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ ТРАНСПОРТА»**

**Кафедра «Строительное производство»**

**М. Г. ОСМОЛОВСКАЯ**

# **ВЯЖУЩИЕ ВЕЩЕСТВА**

**Лабораторный практикум для студентов специальности  
«Производство строительных изделий и конструкций»**

**Гомель 2009**

УДК 695.1 (076.5)

ББК 38.32

0-74

Рецензент – зав. кафедрой «Химия» д-р технических наук, профессор  
*А. С. Неверов* (УО «БелГУТ).

**Осмоловская, М. Г.**

0-74 Вяжущие вещества : лабор. практик. для студентов специальности «Производство строительных изделий и конструкций» / М. Г. Осмоловская ; М-во образования Респ. Беларусь, Белорус. гос. ун-т трансп. – Гомель : БелГУТ, 2009. – 46 с.

ISBN 978-985-486-501-4

Представлены теоретические основы и методические рекомендации по выполнению лабораторных работ по курсу «Вязущие вещества».

Предназначено для студентов, обучающихся по специальности «Производство строительных изделий и конструкций».

**УДК 695.1 (076.5)**

**ББК 38.32**

**ISBN 978-985-486-501-4**

© Осмоловская М. Г., 2009

© Оформление. УО«БелГУТ», 2009

## ВВЕДЕНИЕ

Основной целью лабораторного практикума является более углубленное изучение студентами отдельных вопросов курса применительно к данной специальности и приобретение студентами навыков проведения исследовательских работ с целью усовершенствования процессов производства минеральных вяжущих и улучшения их свойств.

При выполнении лабораторных работ студенты должны дополнительно изучить теоретическую часть темы по специальной литературе и в отчете привести литературный обзор.

### Лабораторная работа № 1

#### ИЗВЕСТЬ ВОЗДУШНАЯ СТРОИТЕЛЬНАЯ

**Цель работы.** 1 Определить основные показатели качества строительной воздушной извести. 2 Установить на основании результатов испытаний средней пробы степень пригодности воздушной извести для строительных работ. 3 Ознакомиться с действующей нормативной документацией стандартными методами лабораторных исследований свойств воздушной извести. 4 Овладеть методикой испытаний. Приобрести навыки работы с приборами и оборудованием по определению физико-химических свойств извести.

#### КРАТКИЕ СВЕДЕНИЯ ИЗ ТЕОРИИ

Воздушная строительная известь – неорганическое вещество, состоящее, в основном, из  $\text{CaO}$  и  $\text{MgO}$ , способных твердеть и сохранять прочность только на воздухе.

По ГОСТ 9179-77 воздушную строительную известь по содержанию в ней активных  $\text{CaO}$  и  $\text{MgO}$  подразделяют на: кальциевую ( $\text{MgO} \leq 5\%$ ); магнезиальную ( $\text{MgO} = 5 \dots 20\%$ ); доломитовую ( $\text{MgO} = 20 \dots 40\%$ )

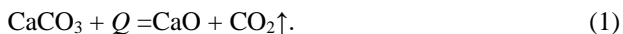
Строительную известь применяют для приготовления штукатурных растворов, силикатных бетонов, кладочных растворов и красочных составов.

Известь получают путём умеренного обжига (1000–1200 °С) из карбонатных пород (мел, известняк, доломит), содержащих не более 6 % глинистых примесей.

В Республике Беларусь основным сырьём для получения извести является мел ( $\text{CaCO}_3$ ), находится в виде:

- негашёной комовой и молотой извести;
- извести – кипелки, состоящей, в основном, из  $\text{CaO}$ ;
- гашёной (гидратной) извести – пушёнки, состоящей из  $\text{Ca}(\text{OH})_2$ ;
- известкового теста, содержащего кроме  $\text{Ca}(\text{OH})_2$  около 50 % свободной воды;
- известкового молока.

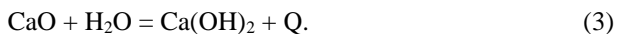
Получение негашёной кальциевой извести основано на реакции диссоциации (разложения)  $\text{CaCO}_3$ :



Химически чистый  $\text{CaCO}_3$  содержит 56 %  $\text{CaO}$  и 44 %  $\text{CO}_2$ ;



Гашение извести – это процесс взаимодействия оксида кальция с водой:



Гашение извести сопровождается двумя эффектами:

1) выделением большого количества тепла даже кипением и парообразованием;

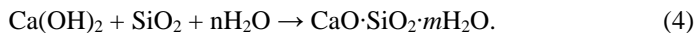
2) значительным увеличением в объёме (в 2–4 раза) в связи с химическим диспергированием  $\text{Ca}(\text{OH})_2$  на мелкие частицы (похоже на пух), поэтому гидратную (гашёную) известь называют пушонкой.

При гашении извести в пушонку требуется 32,13 % воды, на практике в 2 раза больше, так как половина воды испаряется, на 1 кг извести необходимо 2,5 л воды и полученное известковое тесто содержит 50 %  $\text{Ca}(\text{OH})_2$  и 50 %  $\text{H}_2\text{O}$ . Насыпная плотность пушонки – 400–500 кг/м<sup>3</sup>

Твердение гашёной извести на воздухе идёт очень медленно под влиянием двух процессов:

- испарение воды;
- кристаллизация  $\text{Ca}(\text{OH})_2$ .

При производстве силикатных бетонов применяется другой метод твердения – автоклавный (давление 0,8 МПа и температура 175 °С). Он заключается во взаимодействии извести с кремнезёмом:



Методы испытания строительной воздушной извести изложены в ГОСТ 22688-77.

### ПОРЯДОК ВЫПОЛНЕНИЯ РАБОТЫ

**Задание 1. Определить суммарное содержание активных  $\text{CaO}$  +  $\text{MgO}$  в кальциевой извести**

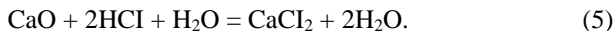
#### ПРИБОРЫ И МАТЕРИАЛЫ

Коническая колба 250 мл, стеклянная воронка, стеклянные палоч-

ки, электрическая плитка,  $\text{HCl}$  (однонормального раствора), индикатор (фенолфталеин в 1%-ном растворе), бюретка с делением, фарфоровая ступка, весы, цилиндр с делением, вода дистиллированная, известь.

#### ВЫПОЛНЕНИЕ ЗАДАНИЯ 1

В соответствии с ГОСТ 22688 для определения  $\text{CaO}$  +  $\text{MgO}$  используют метод титрования, основанный на реакции нейтрализации гашёной извести  $\text{HCl}$



1 Берут пробу извести (4–5 г). Растирают в мелкий порошок. Навеску (1 г) помещают в коническую колбу объёмом 250 мл. Добавляют 150 мл дистиллированной воды. Закрывают стеклянной воронкой. Подогревают на электрической плитке (5–7 мин). После того, как полученный раствор остынет, добавляют 2–3 капли фенолфталеина. Опускают стеклянные палочки и встряхивают. Раствор приобретает малиновый цвет. В бюретку набирают однонормальный (1 мл) раствор  $\text{HCl}$  и производят титрование до его

полного обесцвечивания. Титрование считается законченным, если по истечении 8 мин содержимое колбы останется бесцветным.

2 Метод титрования. Содержание активных CaO + MgO (в процентах) по массе (А) вычисляют по формуле

$$A = \frac{V_{\text{HCl}} \cdot T_{\text{HCl/CaO}}}{m_{\text{изв}}} \cdot 100\% , \quad (6)$$

где  $V_{\text{HCl}}$  – объём соляной кислоты, израсходованной на титрование, мл;

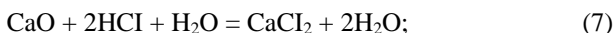
$T_{\text{HCl}}$  – титр HCl по CaO, т. е. количество CaO в граммах, которое нейтрализуется 1 мл 1 н HCl;

$m_{\text{изв}}$  – масса извести

3 Определяют  $T_{\text{HCl/CaO}}$ . Так как данные вещества взаимодействуют в эквивалентных соотношениях, поэтому 1 г-э HCl взаимодействует с 1 г-э CaO, то есть 1 г-э CaO нейтрализуется 1 л 1 н HCl. Для определения 1 г-э CaO необходим грамм-молекулярный 1 г-э CaO = 56; 08/2 = 28,04 г.

Отсюда  $T_{\text{HCl CaO}} = 28,04/100 = 0,2804$  г.

Расчёт титра:



56 = 2 г-э;

28 = 1 г-э или 1000 мл 1 н HCl;

0,28 → 1 мл 1 н HCl.

4 Результаты испытаний вычисляют по формуле (6) и оформляют в произвольной форме:

$V_{\text{HCl}} = \underline{\hspace{2cm}}$ ;  $A = \underline{\hspace{2cm}}\%$ ;  $m_{\text{изв}} = 1$  г.

5 Полученные результаты анализируют и делают вывод по содержанию активных CaO + MgO, известь относится к            сорту.

**Задание 2. Определить содержание непогасившихся зёрен в извести**

Непогасившиеся зёрна представляют собой:

- примеси пустой породы;
- продукты горения и твёрдого топлива;



- куски недожжённых зёрен  $\text{CaCO}_3$ ;
  - куски пережжённой извести.
- Чем выше сорт извести, тем меньше примеси.

### ПРИБОРЫ И МАТЕРИАЛЫ

Металлический сосуд (8–10 л), сито (0,63), фарфоровая чашка, сушильный шкаф, весы, известь, вода.

### ВЫПОЛНЕНИЕ ЗАДАНИЯ 2

1 Для определения непогасившихся зёрен в металлический сосуд наливают 3–3,5 л горячей воды. Всыпают 1 кг извести и непрерывно помешивают до окончательного выделения пара. Тесто оставляют на 2 часа. Затем добавляют 2 л воды до получения известкового молока и выливают непрерывной струёй через сито 0,63, слегка растирая мелкие кусочки. Остатки сушат до постоянной массы в чаше.

2 Визуально исследуют внешний вид и взвешивают остаток непогасившихся зёрен. Для этого на зёрна капают раствор  $\text{HCl}$ ; вскипание отдельных кусочков свидетельствует о том, что эти зёрна являются недожгом. Содержание непогасившихся зёрен определяют по формуле

$$HЗ = \frac{m_1}{m_2} \cdot 100 \%, \quad (8)$$

где  $m_1$  – масса остатка после сушки;

$m_2$  – масса негашёной извести.

3 Результаты измерений заносят в таблицу 1.

*Таблица 1 – Результаты измерений*

Показатель	Количество
Масса негашёной извести $m_1$ , кг	
Масса остатка после промывания и сушки $m_2$ , кг	
Содержание непогасившихся зёрен по массе $HЗ$ , %	

4 По результатам испытаний делают вывод: известь по содержанию непогасившихся зёрен относится к \_\_\_\_\_ сорту, а

также описывают внешний вид непогасившихся зерен и их отношение к HCl.

### **Задание 3. Определить плотность известкового теста**

#### **ПРИБОРЫ И МАТЕРИАЛЫ**

Металлический сосуд (1 л), весы технические, известковое тесто.

#### **ВЫПОЛНЕНИЕ ЗАДАНИЯ 3**

1 Металлический сосуд (1 л) взвешивают и заполняют известковым тестом вровень с краями и снова определяют массу.

2 Плотность известкового теста  $\rho_o$ , кг/ м<sup>3</sup>, рассчитывают по формуле

$$\rho_o = \frac{m_2 - m_1}{V}, \quad (9)$$

где  $m_2$  – масса сосуда с тестом, кг;

$m_1$  – масса сосуда, кг;

$V$  – объём сосуда, м<sup>3</sup>.

Результаты испытаний заносят в таблицу 2

*Таблица 2 – Результаты испытаний*

Показатель	Результат
Вместимость сосуда $V$ , м <sup>3</sup> (л)	
Масса сосуда $m_1$ , кг	
Масса сосуда с тестом $m_2$ , кг	
Плотность известкового теста $\rho_o$ , кг/м <sup>3</sup>	

4 В заключении сравнивают плотность известкового теста с плотностью исходного сырья (известняка) и делают выводы.

### **Задание 4. Определий содержание воды в известковм тесте**

#### **ПРИБОРЫ И МАТЕРИАЛЫ**

Бюкс с крышкой для теста, бюкс для натронной извести, натронная известь – смесь гашёной извести с едким натром, сильно

поглощает воду и  $\text{CO}_2$  из воздуха, стакан для взвешивания, весы, сушильный шкаф, известковое тесто.

#### ВЫПОЛНЕНИЕ ЗАДАНИЯ 4

1 Берут бюкс, помещают в него 10 г известкового теста. Бюкс предварительно взвешивают. Затем взвешивают бюкс с тестом и помещают в сушильный шкаф ( $t = 105 \dots 110$  °С). Туда же помещают бюкс с натронной известью для улавливания  $\text{CO}_2$ . Высушивание проводят в течение 2 часов. Если известковое тесто не изменилось в массе, то ставят ещё на 30 мин, пока тесто окончательно не высушится.

2 Содержание воды в тесте определяют по формуле:

$$W = \frac{m - m_1}{m} \cdot 100\% , \quad (10)$$

где  $m$  – масса известкового теста, г;

$m_1$  – масса материала после высушивания, г.

3 Результаты испытаний заносят в таблицу 3.

Таблица 3 – Результаты испытаний и вычислений

Показатель	Количество
Масса известкового теста $m$ , г	
Масса материала после высушивания $m_1$ , г	
Содержание воды в тесте $W$ , %	

4 Сравнивают содержание воды в известковом тесте фактическое и требуемое.

**Задание 5. Определить температуру и время гашения извести**

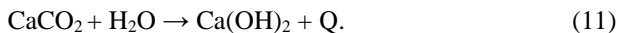
#### ПРИБОРЫ И МАТЕРИАЛЫ

Двустенный сосуд с теплоизоляционной прокладкой и пробкой с отверстием для термометра, вместимостью 150–500мл, термометр со

шкалой до +150 °С (внизу с удлинением до 100–150 мм), фарфоровая ступка, весы, мерный цилиндр (25–100 мл), секундомер.

### ВЫПОЛНЕНИЕ ЗАДАНИЯ 5

Реакция гашения извести



1 Берут навеску, рассчитанную по формуле

$$m = \frac{1000}{A}, \quad (12)$$

где А – содержание активных СаО + MgO, % (см. результат задания 1).

2 Помещают её в колбу. Колбу устанавливают в двустенный сосуд. Вливают 25 мл воды, смешивают и закрывают пробкой, в которой находится термометр. Включают секундомер. На термометре идёт повышение температуры до максимальной, когда рост температуры не превышает 0,25 °С в минуту. Секундомер останавливают. Время от начала прилива воды (гашения) до момента низкого подъёма температуры считается временем гашения. Во втором опыте вливают 20 мл, в третьем – 30 мл.

3 Результаты испытаний и вычислений заносят в таблицу 4.

Таблица 4 – Результаты испытаний и вычислений

Количество воды, мл	Температура, °С, через интервал времени, мин										
	1	2	3	4	10	11	12	13	14	15	18
20											
25											
30											

4 Анализируют полученные данные; описывают влияние количества воды на время гашения и максимальную температуру; делают заключение о качестве извести по результатам проведённых испытаний (таблица 5).

5 Полученные результаты сравнивают с требованиями по ГОСТ 9179-77.

6 По ГОСТ 9179-77 определяют сорт извести и указывают область ее применения.

Таблица 5 – Результаты испытаний извести воздушной

Показатель	Полученный результат испытаний	Требования НД		
		I сорт	II сорт	III сорт
Время гашения, мин		Быстрогасящая не более 8 мин Среднегасящая не более 25 мин Медленногасящая более 25 мин		
Содержание активных CaO + MgO, %		≥90	≥80	≥70
Содержание непогасившихся зёрен, %		7	11	14

7 В заключении делают вывод, согласно требованиям ГОСТ 9179 известь \_\_\_\_\_ сорта, \_\_\_\_\_ гасящаяся. Пригодна для \_\_\_\_\_.

#### Контрольные вопросы

- 1 Какие вещества называются воздушными?
- 2 Что называется известью воздушной строительной?
- 3 Какое минеральное сырьё используют для производства извести?
- 4 Что происходит при обжиге извести?
- 5 Технология получения воздушной извести.
- 6 Реакция гашения извести. Какими эффектами она сопровождается?
- 7 Что такое время гашения извести?
- 8 Как подразделяют известь по времени гашения?
- 9 Какие показатели характеризуют сорт извести?
- 10 Как определить содержание в кальциевой извести?
- 11 Влияют ли недожжённые зёрна на качество изделий на основе извести?

#### Лабораторная работа № 2

### ОПРЕДЕЛЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ ПРИМЕНЕНИЯ МОЛОТОЙ НЕГАШЁНОЙ ИЗВЕСТИ ДЛЯ СТРОИТЕЛЬНЫХ РАСТВОРОВ

**Цель работы.** Определить эффективность применения молотой негашёной извести для изготовления строительных растворов.

#### КРАТКИЕ СВЕДЕНИЯ ИЗ ТЕОРИИ

До недавнего времени воздушную известь применяли в строительстве только после её гашения в виде известкового теста. И. В. Смирнов предложил использовать молотую негашёную известь. Применение молотой негашёной извести имеет преимущества:

1 Не получается отходов непогасившихся частиц.

2 Молотая известь имеет меньшую, чем гидратная, удельную поверхность – растворы становятся удобоукладываемыми при меньшем количестве воды затворения.

3 Известь химическая связывает воду быстрее и в значительно большем количестве (32,13 % от своей массы), чем другие вяжущие вещества.

Вода при связывании переходит в твёрдую фазу, молекулярный объём твёрдой фазы увеличивается примерно в два раза. Растворы получаются более прочными.

4 При гидротации извести выделяется значительное количество тепла. Это ускоряет сушку строительных растворов и даёт возможность использовать ее в зимних условиях.

## ПОРЯДОК ВЫПОЛНЕНИЯ РАБОТЫ

**Задание.** Определить влияние негашёной извести на технологические свойства строительных растворов:

- подвижность;
- расслаиваемость;
- объёмную массу;
- водоудерживающую способность;
- предел прочности при сжатии через 3 и 7 суток твердения на воздухе при комнатной температуре.

## ПРИБОРЫ И МАТЕРИАЛЫ

Термосная емкость с крышкой, сито диаметром 2,5 мм, сферическая чаша, лопатка для перемешивания, стандартный прибор для определения В/Ц, известь, известковое тесто, песок.

### ВЫПОЛНЕНИЕ ЗАДАНИЯ

В исследованиях используют чистую кальциевую известь, обожжённую при умеренных температурах. Из одной партии вяжущего готовят молотую и гидратную известь.

1 Молотую негашёную известь приготавливают совместно с двухводным гипсом в количестве 3–5 % для замедления гашения извести.

2 Гидратную известь приготавливают путём предварительного гашения и выдерживания в закрытой ёмкости, стенки и крышка которой покрыты теплоизоляционным материалом. Берут на 1 кг извести 2,5 л воды, образуется известковое тесто.

3 Строительный песок предварительно просеивают через сито с размером отверстий 2,5 мм.

4 Готовят 2,5–3 л смеси каждого раствора.

5 Вначале известь и песок перемешивают без воды вручную или в лабораторной мешалке, а затем с водой, взятой в количестве, необходимом для получения смеси требуемой подвижности.

6 В/ц, необходимое для получения смеси заданной подвижности, устанавливают предварительными опытами с помощью стандартного прибора (ГОСТ 5802-86).

7 Свойства строительных растворов заносят в таблицу 1

Таблица 1 – Свойства строительных растворов на молотой негашеной извести

Назначение строительного раствора	Для каменной кладки	Для внутренней штукатурки
Вид извести		
Состав растворенной смеси по массе (известь-заполнитель)		
Заданная подвижность смеси		
В/Ц		
Расслаиваемость раствора		
Водоудерживающая способность		
Расход материалов растворенной смеси, кг: известь песок вода		
Предел прочности при сжатии, МПа: через 3 суток через 7 суток		

8 По полученным результатам делают заключение об эффективности применения молотой негашеной извести для строительных растворов.

### Контрольные вопросы

- 1 Что такое известковое тесто?
- 2 Как получают известковое тесто?
- 3 Как определяют подвижность известкового раствора?
- 4 Как определяют В/Ц отношение?
- 5 Как определяют водоудерживающую способность?
- 6 Как определяют расслаиваемость раствора?
- 7 Как определяют предел прочности цементного раствора?

## Лабораторная работа № 3

### СВОЙСТВА ГИПСОВЫХ ВЯЖУЩИХ И ИХ РЕГУЛИРОВАНИЕ

**Цель работы.** Исследовать влияние добавок-регуляторов на свойства строительного гипса.

#### КРАТКИЕ СВЕДЕНИЯ ИЗ ТЕОРИИ

Строительный гипс быстро схватывается. На практике чаще всего требуется замедлить или, реже, ускорить схватывание. Для этого применяют различные добавки – ускорители и замедлители твердения.

Существуют различные системы классификации добавок, влияющие на сроки схватывания гипса. Наиболее полную систему приводят В. Б. Ратинов и Т. И. Розенберг. Они делят все добавки на пять классов в зависимости от механизма их действия.

К первому классу добавок относятся вещества, изменяющие растворимость полугидрата или двуводного гипса. К этому классу относятся сильные и слабые электролиты. Если добавка увеличивает растворимость полугидрата, то она является ускорителем, а двуводного гипса – замедлителем.

Такие добавки как  $\text{NaCl}$ ,  $\text{KCl}$ ,  $\text{Na}_2\text{SO}_4$  являются ускорителями схватывания. Электролиты, содержащие одноименные ионы с гипсом, также являются ускорителями. Они имеют так называемый «порог эффективности», т. е. предельную концентрацию добавки,



дающую максимальный эффект. Обычно максимальное действие добавки проявляется при концентрации 1–3 %, при дальнейшем увеличении количества добавки скорость твердения не изменяется.

Ко второму классу относятся вещества, являющиеся готовыми центрами кристаллизации (например, двухводный гипс,  $\text{CaHPO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$  и др.). Они ускоряют твердение и также как и добавки первого класса имеют «порог эффективности».

К третьему классу относятся поверхностно-активные вещества, адсорбирующие частичками полуводного и двухводного гипса и уменьшающие скорость образования зародышей. К этому классу относят: известково-клеевой замедлитель, сульфитно-дрожжевую бражку (СДБ), СЗ, казеин, а также различные органические высокомолекулярные вещества, которые выпускают в ряде стран.

К четвёртому классу добавок относят фосфаты и бораты щелочных металлов, борную кислоту, реагирующие с гипсом и образующие труднорастворимые плёнки. Они являются пассиваторами схватывания и замедляют процесс твердения.

К пятому классу относят комплексные добавки, состоящие из веществ, принадлежащих к различным классам. При одновременном введении добавок первого и третьего классов процесс твердения характеризуется следующими особенностями: на первой стадии твердения проявляется влияние поверхностно-активного вещества – замедлителя, повышается пластичность теста и оно длительное время не набирает прочность (так называемый инкубационный период). На второй стадии основное действие проявляет электролит, благодаря чему наступает быстрая кристаллизация.

Введение добавок не только изменяет сроки схватывания, но и часто оказывает влияние на прочность. Увеличение прочности происходит при введении таких добавок, которые повышают растворимость полугидрата и поэтому вовлекают в процесс твердения большое количество вяжущего. Добавки, которые сокращают сроки твердения, благодаря увеличению скорости образования зародышей новой фазы, понижают прочность, так как к моменту окончания кристаллизации уменьшается количество полуводного гипса, перешедшего в двухводный, а дальнейшая постепенная кристаллизация вяжущего приводит к возникновению внутренних напряжений. К таким добавкам относят  $\text{Na}_2\text{SO}_4$ ,  $\text{K}_2\text{SO}_4$  и т.п.

Добавки третьего класса, введённые в умеренном количестве до 0,1-0,3 % обычно повышают прочность, так как приводят к снижению водопотребности.

### ПОРЯДОК ВЫПОЛНЕНИЯ РАБОТЫ

**Задание 1. Исследовать влияние NaCl, C3 на сроки схватывания и нормальную плотность и прочность строительного гипса**

#### ПРИБОРЫ И МАТЕРИАЛЫ

Вискозиметр Сутгарда, технические весы, чаша для перемешивания с лопаточкой, стекло с рядом нанесенных концентрических окружностей с диаметрами от 150 до 220 мм через 10 мм, цилиндр для отмеривания воды, нож или металлическая линейка, секундомер, прибор Вика с коническим кольцом и пестиком, гипсовое вяжущее.

### ВЫПОЛНЕНИЕ ЗАДАНИЯ 1

Применяемые добавки NaCl, C3 наиболее часто используют на производстве.

1 Требуется установить влияние добавок на следующие свойства гипса:

- а) нормальную плотность;
- б) сроки схватывания;
- в) прочность при изгибе и сжатии через 1,5 часа после затворения, через 7 суток твердения на воздухе и в воде и после высушивания до постоянной массы.

2 Все испытания проводят по методике, регламентированной ГОСТ 125–70.

3 Результаты опытов заносят в таблицу 1.

*Таблица 1 – Влияние добавок–регуляторов схватывания на свойства строительного гипса*

Наименование добавки	NaCl	C3	NaCl+C3
Дозировка добавки, % от массы гипса			
Сроки схватывания, мин: начало конец			

Предел прочности, МПа: при изгибе через 1,5 часа через 7 дней твердения на воздухе через 7 дней твердения в воде высушенные образцы при сжатии через 1,5 часа через 7 дней твердения на воздухе через 7 дней твердения в воде высушенные образцы			
--	--	--	--

4 По результатам испытаний делают заключение о влиянии добавок – регуляторов схватывания на свойства строительного гипса.

**Задание 2. Определить эффективность различных способов повышения водостойкости гипса**

**ПРИБОРЫ И МАТЕРИАЛЫ**

МИИ100; вискозиметр Суттарда; гидравлический пресс; формы кубов 7,07 × 7,07 × 7,07; гипсовое вяжущее.

**ВЫПОЛНЕНИЕ ЗАДАНИЯ 2**

Гипс – вяжущее воздушное. Его водостойкость определяют коэффициентом размягчения  $K_{\text{разм}} = R_{\text{нас}}/R_{\text{сух}}$ , которая зависит от плотности изделий. По мере увеличения плотности гипсовых изделий значение коэффициента размягчения повышается. Чтобы установить возможность повышения водостойкости гипса следует провести сравнительные испытания образцов, изготовленных из гипсового теста различной консистенции: пластичной, жесткой, жесткой с добавкой кремнийорганических соединений или синтетических смол, пластичной с применением прессования при одновременном отжати воды.

1 Для выполнения данной задачи следует изготовить шесть образцов кубов размером 7,07 × 7,07 × 7,07. На вискозиметре Суттарда первоначально определяют В/Г отношение гипса пластичной и жёсткой консистенции. Для теста пластичной

консистенции можно принять расплыв гипсового теста равным 12–13 см, а для теста жёсткой консистенции 6–7 см.

2 В качестве кремнийорганических соединений рекомендуется применять метилсиликонат натрия в количестве 0,05–0,5 % от массы гипса.

3 Данные результаты испытаний сводят в таблицу 2 и делают заключение об эффективности способов повышения водостойкости гипса.

Таблица 2 - Влияние условий уплотнения на свойства гипса

Консистенция гипсового теста	В/Г	Объёмная масса	Предел прочности, МПа				$K_{разм}$
			В насыщенном водой состоянии		В высушенном состоянии		
			при изгибе	при сжатии	при изгибе	при сжатии	
Пластичная Жесткая Жесткая с добавкой СЗ							

### Контрольные вопросы

- 1 С какой целью используют добавки в гипсе, какие они и как классифицируются?
- 2 Как влияют добавки на сроки схватывания и прочность?
- 3 Влияние добавок на водопотребность.
- 4 Как и для какой цели используют вискозиметр Суттарда?
- 5 Как процентная дозировка влияет на сроки схватывания и нормальную густоту?

## Лабораторная работа № 4

### ОПРЕДЕЛЕНИЕ ОСНОВНЫХ ПОКАЗАТЕЛЕЙ КАЧЕСТВА ЦЕМЕНТОВ БЕЛОРУССКИХ ЗАВОДОВ

**Цель работы.** Провести сравнительный анализ ПЦ Кричевского, Красносельского и Костюковичского заводов по определению тонкости помола, НГЦТ и насыпной плотности.

#### КРАТКИЕ СВЕДЕНИЯ ИЗ ТЕОРИИ

Для оценки качества цементов определяют следующие свойства: нормальную густоту цементного теста, равномерность изменения объема цемента; удельную поверхность плотности: истинную и

насыпную, предел прочности при изгибе и сжатии образцов-балочек (отобранных для испытания пробы цемента, доставляют в лабораторию в плотной таре и хранят в сухом помещении). Перед испытанием пробу цемента просеивают сквозь сито с сеткой № 09 . Температура помещения –  $20\pm 3$  °С. Для испытания цемента применяют обычную питьевую воду. Цемент взвешивают с точностью до 1 г, а воду отмеривают с точностью до 0,5 мл.

Нормальную густоту цементного теста, т. е. водопотребность цемента, выражают процентным содержанием воды по отношению к массе цемента, которое для различных цементов не одинаково и находится в пределах 21–28 % для портландцемента.

Истинная плотность - это масса единицы объема материала, в абсолютно плотном состоянии, т. е. без пор и пустот, учитывающая только объем, занятый веществом, из которого состоит материал.

Насыпная плотность цемента зависит от степени его уплотнения и пустотности. Ее необходимо узнать для расчета состава бетонов и растворов.

Пользуясь полученными основными показателями качества, выбирают рациональную область применения цемента.

## **ПОРЯДОК ВЫПОЛНЕНИЯ РАБОТЫ**

### ***Задание 1. Определить тонкость помола.***

#### **ПРИБОРЫ И МАТЕРИАЛЫ**

Сито 008, весы, цемент трёх заводов, сушильный шкаф.

#### **ВЫПОЛНЕНИЕ ЗАДАНИЯ 1**

Тонкость помола характеризуется зерновым составом и удельной поверхностью. Зерновой состав определяется по ГОСТ 310.2-76. При просеивании через сито 008 должно пройти не менее 85 % клинкера цемента. Удельная поверхность ПЩ – это площадь зерна в  $\text{см}^2$  в 1 г.

1 Берут 50 г, высушивают ПЩ, высыпают на сито 008 и просеивают, встряхивая 5–7 мин. Просеивание считается законченным по истечении 7 минут, при этом в течение 1 мин на листе глянцевой бумаги не должно быть цемента. Если на бумаге окажется цемента 0,05 %, то просеивание считается окончанным.

Взвешивают остаток на сите и определяют его в процентном состоянии по формуле

$$ТП = \frac{m_2}{m_1}, \quad (1)$$

где ТП – тонкость помола цемента, %.

$m_2$  – масса остатка цемента, г;

$m_1$  – масса пробы цемента, г.

2 Результаты испытания заносят в таблицу 1.

Требования по ГОСТ 30515–97 не более 15 %.

3 По полученным результатам делают анализ.

*Таблица 1 – Результаты испытания*

Наименование цементного завода	Масса $m_1$ , г	Масса остатка $m$ , г	Тонкость помола
Костюковичский	50		
Красносельский	50		
Кричевский	50		

## **Задание 2. Определить насыпную плотность**

### **ПРИБОРЫ И МАТЕРИАЛЫ**

Технические весы, линейка, металлическая ёмкость 1 л, портландцемент трёх заводов.

### **ВЫПОЛНЕНИЕ ЗАДАНИЯ 2**

1 Определение насыпной плотности цемента в рыхлом состоянии производят с помощью мерного цилиндрического сосуда вместимостью 1 л. Его предварительно взвешивают, насыпают цемент с высоты 10 см от края сосуда до образования избыточного конуса, конус снимают линейкой и определяют массу сосуда с

цементом. Насыпную плотность цемента  $\rho_n$ , кг/м<sup>3</sup>, определяют по формуле

$$\rho_n = \frac{m_2 - m_1}{V}, \quad (2)$$

где  $m_1$  – масса мерного сосуда, г;

$m_2$  – масса мерного сосуда с цементом, г;

$V$  – вместимость мерного сосуда, м.

2 Результаты испытания заносят в таблицу 2. Требования по ГОСТ 30515 – 97  $\rho_n = 900 \dots 1350$  кг/м<sup>3</sup>.

3 Проводят анализ по полученным результатам испытания.

**Таблица 2 – Результаты испытания**

Наименование цементного завода	Масса $m_1$ , кг	Масса $m_2$ , кг	$V$ , м <sup>3</sup>	$\rho_n$ , кг/м <sup>3</sup>
Костюковичский			10 <sup>-3</sup>	
Красносельский			10 <sup>-3</sup>	
Кричевский			10 <sup>-3</sup>	

### **Задание 3. Определить НГЦТ**

#### **ПРИБОРЫ И МАТЕРИАЛЫ**

Прибор вика с пестиком и кольцом, мерный цилиндр, весы, чаша затворения, лопаточка.

#### **ВЫПОЛНЕНИЕ ЗАДАНИЯ 3**

1 Для приготовления цементного теста отвешивают по 400 г цемента трех заводов (просеянного предварительно). Высыпают в чашу затворения (предварительно смоченную водой), вливают воду (в углубление в цементе), ориентировочно воды берут 110–112 см<sup>3</sup>. Включают секундомер и производят перемешивание в течение 5 мин с момента приливания воды. Затем цементное тесто перемещают в кольцо, которое встряхивают 5–6 раз, постукивая пластинкой с кольцом о стол. Срезают избыток теста. Приводят пестик прибора Вика в соприкосновение с поверхностью в центре кольца и закрепляют стержень зажимным винтом, затем быстро отвинчивают и дают пестику свободно погрузиться в тесто. Через 30 с после

загружения производят отсчет по шкале в миллиметрах. Он должен не доходить на 5–7 мм до пластины.

2 Нормальную густоту цементного теста вычисляют по формуле

$$\text{НГЦТ} = m_1/m_2 \cdot 100 \% \quad (3)$$

3 По полученным результатам испытания (таблица 3) делают анализ.

Таблица 3 – Результаты испытания

Наименование цементного завода	Масса цемента, г	Количество воды, г	НГЦТ
Костоковичский			
Красносельский			
Кричевский			

4 В заключении проводят сравнительный анализ по всем видам цемента.

#### Контрольные вопросы

- 1 Какими общими свойствами обладают минеральные вяжущие?
- 2 К какому классу вяжущих по условиям твердения и эксплуатации относится портландцемент?
- 3 Основные стадии производства портландцемента?
- 4 Чем мокрый способ получения портландцемента отличается от сухого?
- 5 Какие минералы входят в состав портландцемента?
- 6 По каким показателям оценивают качество портландцемента?
- 7 Какие виды портландцемента вы знаете?
- 8 С какой целью при помолке клинкера вводят гипс?
- 9 Где применяют в строительстве портландцемент, шлако- и пуццолановый портландцемент?
- 10 Что называется нормальной густотой цементного теста?
- 11 От чего зависит насыпная плотность ПЦ?
- 12 На каком приборе и в каких единицах ее определяют НГЦТ?

## Лабораторная работа № 5 ГИДРОЛИЗ И ГИДРАТАЦИЯ КЛИНКЕРОВ ПОРТЛАНДЦЕМЕНТА



**Цель работы.** Освоить химические реакции, происходящие при гидролизе и гидратации минералов ПЦ. На практике проанализировать полученные результаты при В/Ц = 0,4; 0,5; 0,7 и температуре гидратации портландцемента.

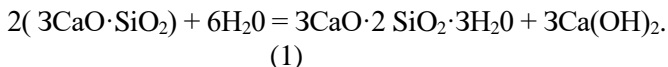
#### КРАТКИЕ СВЕДЕНИЯ ИЗ ТЕОРИИ

НД: ГОСТ 5382-91 «Цементы и минералы цементного производства. Методика химического анализа».

С химической точки зрения твердение – это переход безводных клинкеров минералов в водные новообразования в результате реакции гидролиза и гидратации.

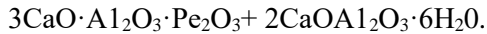
С физической – постепенное загустевание цементного теста и возникновение единого конгломерата из гидратированных и негидратированных частиц. Изучение химических реакций клинкерных зёрен с водой связано с большими трудностями, т. к. клинкер состоит из минералов в значительной степени модифицированных твёрдыми растворами, застывшей жидкой фазы стекла. Реакции, происходящие при твердении, оказывают взаимное влияние и налагаются друг на друга. Химические реакции, происходящие при твердении, цемента представляются в следующих реакциях:

1 При гидратации  $C_3S$  выделяется определённое количество извести. Степень гидратации алита зависит от температуры и соотношения твердой и жидкой фаз, т. е. водоцементного отношения в обычных условиях при В/Ц = 0,4...0,7 процесс гидратации выражается уравнением



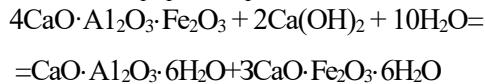
Продукт реакции – низкоосновный гидросиликат и относится к группе  $CSH(B)$ . В пересыщенном растворе  $Ca(OH)_2$  при пониженных температурах, когда растворимость  $Ca(OH)_2$  возрастает, образуется высокоосновный гидросиликат, составляющий 0,7–2,0  $CaO \cdot SiO_2 \cdot nH_2O$ , серии  $C_2SH_2$ .

2 Гидратация  $C_2S$  происходит в жидкой фазе насыщенной известью и характер образующего гидросиликата близок к получаемому при гидролизе ( $C_3S$ ) трехкальциевого силиката.  $2CaO \cdot SiO_2 \cdot 2H_2O + 2Ca(OH)_2$ . Гидратация трехкальциевого алюмината протекает по реакции

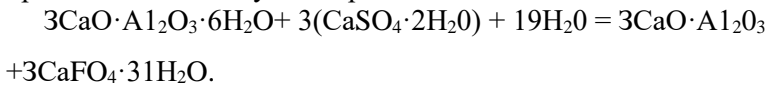


(2)

Цемент в условиях насыщенного раствора известью, гидратация четырехкальциевого алюмоферита протекает по схеме



Далее происходит взаимодействие гипса с трехкальциевым алюминатом, выводит из сферы в реакции  $\text{C}_3\text{A}$ , присутствие которого обуславливает быстрое схватывание цемента. Взаимодействие происходит по следующей реакции:



В результате этих физико-химических процессов в затвердевшем цементном камне исходного клинкера содержится тонкозернистая масса (гель) и зёрна негидротированного цемента. В составе кристаллических новообразований содержатся гидрат окиси кальция, гидроалюминаты и гидросульфат кальция. Дальнейшее развитие процесса гидратации лимитируется скоростью диффузии через узкие поры в продуктах гидратации, окружающих непосредственно зерна цемента.

Коллоидные частички новообразований и гидратирующихся исходных минералов образуют рыхлую коагуляционную структуру, которая по мере увеличения объёма твёрдой фазы уплотняется и теряет подвижность, что характеризует схватывание цемента. Процессы гидратации цемента протекают на небольшую глубину, различную для отдельных минералов. Для клинкерных зёрен ПЦ в

месячном возрасте составляет 3,5–5,4 микрона, поэтому следует учитывать постепенное замедление процессов гидратации, которое происходит вследствие того, что гидратные новообразования осаждаются на исходном зерне и, уплотняясь, затрудняют диффузию воды вглубь зерна. Отдельные цементные зерна полностью не гидратируются даже спустя несколько лет, в цементном камне остаются непрореагирующие частицы. В результате гидратирования и гидролиза цементный камень приобретает основные свойства:

нарастание плотности, полная воздухоустойкость, водостойкость в неагрессивной среде, достаточная морозостойкость в растворах и бетонах.

### ПРИБОРЫ И МАТЕРИАЛЫ

Чаша и лопатка, мерный стеклянный цилиндр, весы технические, термометр, формы балочек (3 шт.), портландцемент и вода.

### ПОРЯДОК ВЫПОЛНЕНИЯ РАБОТЫ

1 Берут по 400 г портландцемента 3 раза, готовят цементное тесто с В/Ц=0,4; 0,5; 0,7. Тщательно перемешивают его в чаше лопаточкой и укладывают в подготовленные формы балочек. Уплотняя, потряхивают и оставляют на 12 часов до конца схватывания цементного теста.

2 Затем производят распалубку и оставляют в нормальных условиях на 7 суток. По истечении этого времени балочки испытываем на изгиб и сжатие, только по одной половинке.

3 Результаты заносят в таблицу 1.

Таблица 1 – Результаты испытания

Наименование образцов балочек	Температура гидротации			Испытания на изгиб, МПа				Испытания на сжатие, МПа			
	45 мин	4 ч	12 ч	1	2	3	Среднее	1	2	3	Среднее
ПЦ при В/Ц 0,4											
ПЦ при В/Ц 0,5											
ПЦ при В/Ц 0,7											

4 На основании полученных результатов температуры гидротации по времени 45 мин, 4 часа и 12 часов, а также по результатам прочности на сжатие и по полученной структуре, проанализировать физико-химические процессы происхождения в цементном камне.

### Контрольные вопросы

- 1 Какие реакции происходят при твердении цемента?
- 2 Что влияет на гидратацию алита? и как выражается?

3 Как выражается гидратация трехкальциевого алюмината?

4 Как влияет В/Ц на температуру гидратации цемента и на результаты испытаний на изгиб и сжатие цементного теста?

## Лабораторная работа № 6 КОРРОЗИИ ЦЕМЕНТНОГО КАМНЯ

**Цель работы.** Освоить основные виды коррозии цементного камня. На практике проанализировать действие простой воды, кислотной и щелочной на цементный камень.

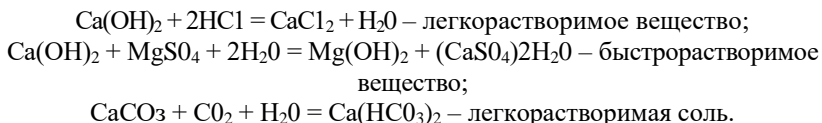
### КРАТКИЕ СВЕДЕНИЯ ИЗ ТЕОРИИ

Агрессивными по отношению к цементному камню являются кислые, щелочные, сахаристые среды, а также мягкие, дождевые, грунтовые, морские, сточные воды, газы (сернистый и углеродный и т. д.)

Различают 3 вида коррозии. Эти виды коррозии являются уставными, т. к. невозможно произвести строгого разграничения между ними. Обычно всегда на камень действует 3 вида коррозии:

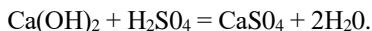
**I** – выщелачивание. Гидроокись кальция  $\text{Ca}(\text{OH})_2$ , имеющаяся в цементе, т. е. в цементном камне легко растворяется и вымывается любыми видами воды (кислотной, щелочной, мягкой, простой водой), при этом нарушается пористость цементного камня, а также снижается его прочность.

**II** – гидроксид кальция  $\text{Ca}(\text{OH})_2$  вступает в реакцию с веществами агрессивной среды, в результате образуются новые соединения, не обладающие вяжущей способностью и легко вымывающиеся из цементного камня:



**III** – это реакции между агрессивной средой и цементным камнем, продукты которой накапливаются в порах цементного камня с образованием кристаллов. За счёт чего создаётся внутреннее

напряжение, вызывающее внутреннее напряжение цементного камня:



Ликвидировать влияние химических факторов можно при использовании радикальных мер. Поэтому большая часть видов коррозии возникает за счёт химической активности гидрата окиси кальция  $\text{Ca(OH)}_2$  с переходом в нерастворимое состояние:



Второе ликвидирование  $\text{Ca(OH)}_2$  – уменьшение алюмината кальция при приготовлении цемента, кислотостойких, сульфатостойких цементов при применении кальциевых добавок.

### ПРИБОРЫ И МАТЕРИАЛЫ

Образцы половинок балочки  $40 \times 40 \times 160$  из цементного теста с различными В/Ц, ванночка с простой; кислой; морской водой, гидравлический пресс.

### ПОРЯДОК ПРОВЕДЕНИЯ РАБОТЫ

1 Проводят визуальный осмотр половинок балочек из цементного теста с В/Ц = 0,4; 0,5; 0,7.

2 Все замечания по ним записывают в таблицу 1.

3 Помещают образцы в ванночки с простой, кислой и морской водой на 28 суток.

4 По истечении 28 суток производят осмотр и заносят в таблицу 1 все изменения и замечания.

5 Производят испытания половинок балочек на сжатие.

6 Результаты заносят в таблицу 1.

Таблица 1 - Результаты испытаний

Наименование образцов при В/Ц	Описание образцов до испытания	Описание образцов помещенных в ванночку с водой			Предел прочности при сжатии, МПа
		простой	кислой	морской	
0,4					
0,5					
0,7					

7 На основании полученных результатов делают заключение о видах коррозии цементного камня.

#### **Контрольные вопросы**

- 1 Сколько видов коррозии различают?
- 2 Чем характеризуется I вид коррозии?
- 3 Чем характеризуется II вид коррозии?
- 4 Чем характеризуется III вид коррозии?

### **Лабораторная работа № 7 ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПОТЕРЕЙ ПРИ ПРОКАЛЫВАНИИ ЦЕМЕНТА**

**Цель работы.** Изучить и освоить определение при прокалывании цемента по НД: СТБ EN 196-2-2000 "Методы испытания цемента часть 2. Химический анализ цемента".

#### **КРАТКИЕ СВЕДЕНИЯ ИЗ ТЕОРИИ**

Согласно СТБ химический анализ одного испытания проводится 2 раза. Точность взвешивания – до 0,001, объём бюретки – до 0,05 мл.

Подготовка пробного цемента. Отбор цемента проводят прободелителем в количестве 100 г. Пробу просеять на сите 150 или 125 мкм до прекращения изменения остатка. Из остатка просева с помощью магнита удаляют железо, этот остаток без железа измельчается в лабораторной мельнице до размера фракций (проход через сито 125; 150 мкм), затем просеянные пробы цемента помещают в пробирку и сильно встряхивают.

В окислительной атмосфере (воздух) в результате прокалывания в воздухе при  $t = 975 \pm 25$  °С происходит отделение двуокси углерода и  $H_2O$  и окисление присутствующих в отдельных случаях окисленных компонентов. С целью учёта воздействия окисления на потерю при прокалывании, при необходимости, следует проводить корректировку, в которой учитывается влияние поглощения кислорода.

#### **ПРИБОРЫ И МАТЕРИАЛЫ**

Электрическая печь ( $t$  до 1000 °С), аналитические весы, цемент.

### ПОРЯДОК ВЫПОЛНЕНИЯ РАБОТЫ

1 В предварительно прокаленный и взвешенный тигель отбирают  $1 \text{ г} \pm 0,05$  цемента ( $m_1$ ). Тигель накрывают крышкой и помещают в печь. После нагревания в течение 5 минут снимают крышку и открытый тигель прокаливают ещё в течение 10 минут. Затем тигель с цементом охлаждают до комнатной температуры в эксикаторе; взвешивают и определяют постоянную массу, когда разница составляет не менее  $0,0005 \text{ г}$ . Испытания проводят 2 раза.

2 Определяют некорректируемую потерю при прокаливании, %:

$$\text{ППП}_{\text{нек}} = \frac{m_1 - m_2}{m_2} \cdot 100 \%, \quad (1)$$

где  $m_1$  – навеска, г;

$m_2$  – результат взвешивания прокаленной пробы, г.

3 Результаты испытания записывают в таблицу 1.

Таблица 1 – Результаты испытаний

Показатель	Результаты испытаний	
	1	2
Навеска $m_1$ , г		
Навеска прокаленной пробы $m_2$ , г		
$\text{ППП}_{\text{нек}}$		
Средняя $\text{ППП}_{\text{нек}}$ , %		

4 Полученные результаты  $\text{ППП}_{\text{нек}}$  сравнивают с результатами завода производителя и делают заключение.

### Контрольные вопросы

- 1 Как производят прокаливание цемента?
- 2 При какой температуре и при каких условиях прокаливают цемент?
- 3 Как рассчитывают потери при прокаливании?

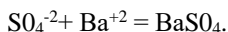
## Лабораторная работа № 8

### ГРАВИМЕТРИЧЕСКОЕ ОПРЕДЕЛЕНИЕ СУЛЬФАТА

**Цель работы.** Изучить и освоить гравиметрическое определение сульфата. НД: СТБ 196.2-2000.

### **КРАТКИЕ СВЕДЕНИЯ ИЗ ТЕОРИИ**

Полученные ионы сульфата осаждаются при рН 1–1,5 посредством кипящего раствора хлорида бария в соответствии со следующей формулой:



Определение выполняют гравиметрически и содержание сульфата указывают как  $\text{SO}_3$ .

### **ПРИБОРЫ И МАТЕРИАЛЫ**

Электрошкаф, стеклянные ёмкости объёмом 250, 400 мл; спиртовая горелка, соляная кислота  $\text{HCl}$ , раствор соляной кислоты, раствор хлорида-бария, подготовленная навеска цемента.

### **ПОРЯДОК ВЫПОЛНЕНИЯ РАБОТ**

1 Взвешивают  $1 \pm 0,05$  г цемента, подготавливают пробы и помещают в химический стакан объёмом 250 мл, добавляют 90 мл воды (холодной). Туда же осторожно добавляют 10 мл  $\text{HCl}$ . Полученный раствор осторожно нагревают над спиртовкой и пробу помешивают стеклянной палочкой, осторожно измельчая скомканые материалы цемента. На глаз устанавливают полное разложение цемента. Затем пробу выдерживают в течение 15 минут над горелкой при температуре чуть ниже точки кипения. Остаток профильтровывают через бумажный фильтр. Химическую колбу (стакан) объёмом 400 мл промывают горячей водой до исчезновения ионов хлора.

2 Проводят контроль титром раствора нитрата серебра. Раствор увеличивают водой до объёма 250 мл. С помощью раствора соляной кислоты 1+11 устанавливают значение рН, оно должно быть 1,5. Раствор кипятят в течение 5 мин, если при этом раствор остаётся мутным, определение повторяют с новой пробой при энергичном помешивании. По капле добавляют 10 мл раствора бария, нагретого перед этим почти до кипения. После чего для образования осадка кипячение продолжают в течение 15 минут. Затем раствору дают отстояться при  $t$  ниже температуры кипения, но выше  $60^\circ\text{C}$ , исключая



при этом растворение. Далее осадок отфильтровывают и тщательно промывают кипящей водой до исчезновения ионов хлора. Осадок прокаливают при  $t = 925 \pm 25$  °С.

3 Содержание сульфата выражается через  $SO_3$  и рассчитывается по формуле

$$SO_3 = \frac{m_2 \cdot 343 \cdot 100}{m_1} = \frac{m_2}{m_1} \cdot 34,3, \quad (1)$$

где  $m_2$  – масса сульфата бария ( $BaSO_4$ ), г;

$m_1$  – навеска, взятая с подготовленной пробы, г.

Стандартные отклонения составляет 0,07 % между двумя результатами (таблица 1).

Таблица 1 – Результаты испытаний

Показатель	Результаты испытаний	
	1	2
Навеска цемента $m_1$ , г		
Масса сульфата бария $m_2$ , г		
$SO_3$ , %		
Средняя арифметическая показателя $SO_3$		

4 Полученные данные  $SO_3$  необходимо сравнить с результатами завода производителя цемента и сделать заключение.

#### Контрольные вопросы

- 1 Какие реактивы используют при гравиметрическом определении сульфата?
- 2 Как проводится испытание при определении  $SO_3$ ?
- 3 По какой формуле рассчитывают  $SO_3$ ?
- 4 При какой температуре происходит образование осадка?

### Лабораторная работа № 9

#### ОПРЕДЕЛЕНИЕ В ЦЕМЕНТЕ ОСТАТКА, НЕРАСТВОРИМОГО В СОЛЯНОЙ КИСЛОТЕ И КАРБОНАТЕ НАТРИЯ

**Цель работы.** Освоить химический метод определения нерастворимых остатков цемента соляной кислотой и  $Na_2CO_3$  (диоксид кремния).

## КРАТКИЕ СВЕДЕНИЯ ИЗ ТЕОРИИ

Принцип определения остатка, нерастворимого, – это традиционный химический метод, при котором нерастворимый остаток определяют раствором пробы цемента (1 г) соляной кислотой, разбавив на столько, чтобы всячески исключить осаждение диоксида кремния (SiO). Для того чтобы растворить осаждение SiO, остаток обрабатывают кипящим раствором Na<sub>2</sub>CO<sub>3</sub>. После прокаливания (выпаривания) проводят гравиметрическое определение остатка.

## ПРИБОРЫ И МАТЕРИАЛЫ

Колба 250 мл, спиртовка, держатель, стакан, фильтр, соляная кислота, K<sub>2</sub>CO<sub>3</sub>, цемент, вода горячая.

## ПОРЯДОК ВЫПОЛНЕНИЯ РАБОТЫ

В 250 мл колбу помещают 1 г цемента ( $m_1$ ), добавляют 90 мл холодной воды и при сильном помешивании добавляют 10 мл соляной кислоты (конц.) раствор. Осторожно нагревают. Пробу стеклянного стержня измельчают до полного разложения цемента (устанавливают на глаз). Затем пробу выдерживают в течение 15 минут при температуре чуть ниже точки кипения. Остаток профильтровывают через бумажный фильтр и промывают горячей водой (кипящей). Фильтр и содержание помещают в тот же стакан, в котором была растворимая проба, добавляют туда 10 мл раствора Na<sub>2</sub>CO<sub>3</sub> и кипятят в течение 15 минут. После пропускают через бумажный фильтр, остаток промывают горячей водой (кипящей). Затем 4 раза промывают горячей разбавленной соляной кислотой (1+19) до получения фильтра с pH < 2. Опять промывают горячей водой не менее 10 раз до исчезновения ионов хлора. Остаток прокаливают (выпаривают) при  $t = 925 \text{ }^\circ\text{C} \pm 25 \text{ }^\circ\text{C}$  до достижения постоянной массы в течение 30 минут. Оценка опыта: содержание нерастворимого остатка рассчитывают в процентах по формуле

$$\text{Нерастворимый остаток} = m_2/m_1 \cdot 100 \%,$$

где  $m_2$  – результат взвешивания прокаленного нерастворимого остатка, г;

$m_1$  – навеска цемента, г.

2 Результаты испытаний заносят в таблицу 1.

3 Полученный результат нерастворимого остатка сравнивают с результатом завода производителя цемента и делают заключение

Таблица 1 – Результаты испытаний

Навеска цемента $m_1$ , г.	Масса нерастворимого остатка $m_2$ , г.	Нерастворимый остаток, %
Средний показатель нерастворимого остатка		

#### Контрольные вопросы

- 1 Каков принцип определения нерастворимого остатка?
- 2 Какова методика определения нерастворимого остатка ( $\text{SiO}_2$ )?
- 3 Как рассчитывают содержание нерастворимого остатка?

### Лабораторная работа № 10

#### ОПРЕДЕЛЕНИЕ СТЕПЕНИ ПЛАСТИФИКАЦИИ ХИМИЧЕСКИМИ ДОБАВКАМИ ЦЕМЕНТНОГО ГЕЛЯ

**Цель работы.** Определить влияние химических добавок на пластификацию цементного геля.

#### КРАТКИЕ СВЕДЕНИЯ ИЗ ТЕОРИИ

В качестве вяжущего при изготовлении цементного бетона обычно используют различные цементы, которые имеют большую водопотребность 24–32 %. Для того чтобы уложить бетонную смесь в форму в нее вводят заведомо большее количество воды 160–220 л на 1 м<sup>3</sup> в зависимости от расхода и вида цемента. Примерно 30–40 л воды адсорбируется и поглощается заполнителями, а оставшая вода (120–180 л.) совместно с цементом образует цементный гель. Для протекания химических реакций и получения при этом структуры высокой плотности и прочности цементного камня необходимо 20–22 % воды. Остальная вода образует в цементном камне поры и пустоты, которые значительно снижают его физико-механические и эксплуатационные свойства.

Использование химических добавок в бетонах позволяет влиять на процесс структурообразования цементного геля, улучшая его те или иные свойства.

По эффекту действия добавки подразделяются **три класса**:

- регуляторы реологических свойств бетонных смесей и структуры бетона;
- регуляторы скорости процессов схватывания и твердения;
- ингибиторы коррозии стали.

Наиболее яркими представителями этих классов являются пластификаторы и суперпластификаторы, такие как УП1, УП2, С3. Введение в цементный гель пластификатора УП1 и суперпластификатора С3 снижает водопотребность цемента (нормальную густоту), что позволяет уменьшить количество воды затворения на 11–25 % при приготовлении бетонной смеси, и получении при этом равноподвижных смесей. Это позволяет повысить плотность цементного камня в бетоне и повысить его физико-механические и эксплуатационные свойства бетона.

#### **ПРИБОРЫ И МАТЕРИАЛЫ**

Чаша для приготовления цементного геля, лопаточка, секундомер, весы, стеклянная емкость, вискозиметр Суттарда, стекло с нанесенными на нем концентрическими окружностями, цемент, химические добавки.

#### **ПОРЯДОК ВЫПОЛНЕНИЯ РАБОТЫ**

**Задание 1. Определить пластифицирующий эффект при введении в цементный гель химических добавок**

##### **ВЫПОЛНЕНИЕ ЗАДАНИЯ 1**

1 Для приготовления цементного геля отвешивают 400 г цемента, высыпают в чашу, предварительно протертую влажной тканью. Затем делают в цементе углубление, в которое вливают в один прием воду или водный раствор добавок в количестве 1,2 нормальной густоты цементного геля. Перемешивание и растворение проводят согласно ГОСТ 310. 3–76 в течение 5 мин с момента приливания воды.

2 После окончания перемешивания цилиндр (вискозиметр Суттарда), установленный на стекле с нанесенными на нем концентрическими окружностями, быстро заполняют цементным

гелем. Поверхность геля выравнивают с краями цилиндра, срезая избыток геля ножом, протертым влажной тканью. Немедленно после этого цилиндр аккуратно поднимают и определяют диаметр расплыва цементного геля.

3 Полученные результаты заносят в таблицу 1.

**Таблица 1 – Степень пластификации цементного геля при введении различного количества добавок**

Вид и количество добавок, в % от массы цемента	Количество добавки, мл	Количество вод при		Расплыв цементного геля, мм
		Н.Г	1,2 Н.Г	

**Задание 2. Определить количество добавок, которое необходимо вводить в цемент**

#### ВЫПОЛНЕНИЕ ЗАДАНИЯ 2

1 Для определения количества добавок, которое необходимо вводить в цементный гель, нужно знать концентрацию добавок  $C$ , она может быть дана в граммах на миллилитр или в процентах, т. е. количество граммов сухого вещества, находящегося в 1 мл, или какое количество сухого вещества находится в 100 г растворителя.

2 Расчет количества добавок, которое необходимо вводить в цементный гель, производят следующим образом.

При концентрации добавок (в граммах на миллилитр):

а) Количество добавки в расчете на сухое вещество

$$K = Ц \cdot C, \quad (1)$$

где  $K$  – количество добавки в расчете на сухое вещество, г;

$Ц$  – расход цемента, г;

$C$  – количество добавок в процентах от массы цемента;

б) объем добавки, который необходимо внести при данной концентрации,

$$V = K/C \quad (2)$$

где  $V$  – объем добавки, мл;

С – концентрация добавки, г/мл или %;

К – количество добавки, г.

в) количество воды  $V_3$ , находящееся в добавке, мл:

$$V_3 = V - K. \quad (3)$$

3 При затворении цемента водным раствором добавки необходимо учесть то количество воды, которое вводим совместно с добавкой. Для этого необходимо вычесть из общего количества воды затворения количество воды, находящееся в добавке:

$$V = V_{\text{об}} - V_{\text{доб}} \quad (4)$$

В этом случае мы будем иметь равное количество воды затворения независимо от процента введенной добавки.

4 По полученным результатам делают анализ распыла цементного геля в зависимости от вида и количества добавок в процентах от массы цемента.

#### **Контрольные вопросы**

- 1 С какой целью определяют распыл цементного геля?
- 2 Как влияют химические добавки на цементный гель?
- 3 Как производят расчет расхода химических добавок?
- 4 Как подразделяют химические добавки по эффекту действия?
- 5 Как определяют распыл цементного геля?

### **Лабораторная работа № 11**

#### **ОПРЕДЕЛЕНИЕ ВОДОПОТРЕБНОСТИ И СРОКОВ СХВАТЫВАНИЯ ЦЕМЕНТНОГО ГЕЛЯ С ДОБАВКАМИ ПЛАСТИФИКАТОРАМИ И СУПЕРПЛАСТИФИКАТОРАМИ**

**Цель работы.** Определить водопотребность и сроки схватывания цементного геля с добавками пластификаторами и суперпластификаторами.

### **КРАТКИЕ СВЕДЕНИЯ ИЗ ТЕОРИИ**

Водопотребность цементного геля определяется по его консистенции, при которой пестик прибора Вика, погруженный в кольцо, заполненное гелем, не доходит до дна на 5–7 мм до пластинки, на которой установлено кольцо.

Водопотребность цементного геля характеризует количество воды затворения, выраженное в процентах от массы цемента.

Схватывание цемента – это процесс загустевания цементного теста вследствие взаимодействия цемента с водой.

Процесс схватывания цемента заключается в необратимой потере подвижности цементного теста в результате гидратации и практически определяется на цементном тесте нормальной густоты по погружению иглы в приборе Вика с нагрузкой ( $300 \pm 2$ ) г.

Началом схватывания цементного теста считают время, прошедшее от начала затворения (момента приливания воды), до того момента, когда игла опускается в тесто не более чем на 1–2 мм. Концом схватывания – время от начала затворения до момента, когда игла опускается в тесто не более чем на 1–2 мм.

Начало схватывания цемента должно наступить не ранее 45 мин, а конец – не позднее 10 ч от начала затворения.

### **ПРИБОРЫ И МАТЕРИАЛЫ**

Прибор Вика с иглой и пестиком, кольцо и пластинка к прибору Вика, чаша сферической формы или механизированная мешалка для приготовления теста, лопатка для перемешивания, весы с разновесом, стеклянный цилиндр для отмеривания воды, металлический нож, цемент, пластифицирующие и суперпластифицирующие добавки, вода.

### **ПОРЯДОК ВЫПОЛНЕНИЯ РАБОТЫ**

Испытания проводят согласно ГОСТ 310.3-76 пп. 1 и 2. Перед испытанием следует проверить, свободно ли отпускается стержень прибора Вика, а также нулевое показание, приводя пестик (или иглу) в соприкосновение с пластинкой, на которой расположено кольцо из

материала, не впитывающего воду. Кольцо и пластинку перед началом испытания смазывают тонким слоем машинного масла.

1 Приготовление цементного геля с добавками и без них проводят следующим способом: отвешивают 400 г просеянного цемента, высыпают в чашу, предварительно протертую влажной тканью, делают в цементе углубление, в которое вливают воду (110–112 см) и воду с определенным процентом добавки пластифицирующей и суперпластифицирующей, перемешивают в течение 5 мин с момента приливания воды. После окончания перемешивания прибор Вика быстро наполняют в один прием цементным гелем, уплотняют встряхиванием и избыток срезают ножом. После этого пестик прибора приводят в соприкосновение с поверхностью цементного геля и представляют пестик свободно погружаться в гель. Через 30с производят отсчет погружения по шкале. При несоответствующей консистенции цементного геля изменяют количество воды или водного раствора, добавки и вновь приготавливают цементный гель добываясь погружения пестика на соответствующую глубину. Количество добавляемой воды для получения геля нормальной густоты определяют с точностью до 0,25 %.

2 Определение сроков схватывания выполняют на тех же образцах, что и определение водопотребности цементного геля и производят на приборе Вика согласно ГОСТ30.3-76.

3 Полученные данные заносят в таблицу 1.

4 На основании полученных результатов строят график изменения водопотребности цементного геля и сроков его схватывания в зависимости от количества введенной добавки и определяют оптимальное количество добавки.

*Таблица 1 – Нормальная густота и сроки схватывания цементного геля*

Номер испытания	Вид и количество добавки, %	Количество воды, мл	Н/Г, %	Сроки схватывания, мин.	
				начало	конец

### **Контрольные вопросы**

- 1 Как определяют водопотребность цементного геля?
- 2 Что называют началом и концом схватывания цементного геля?
- 3 Какова роль пластифицирующей добавки в цементном геле?
- 4 Какова роль суперпластифицирующей добавки в цементном геле?



5 С какой целью определяется НГЦТ?

6 Какие периоды твердения ПЦ характеризуют время начала и конца схватывания цементного геля?

7 Какова зависимость между водопотребностью цементного геля и сроками схватывания от количества введенной добавки?

## Лабораторная работа № 12

### **ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПРЕДЕЛОВ ПРОЧНОСТИ ПРИ СЖАТИИ И ИЗГИБЕ ЦЕМЕНТНО-ПЕСЧАНОГО РАСТВОРА С ДОБАВКАМИ ПЛАСТИФИКАТОРАМИ И СУПЕРПЛАСТИФИКАТОРАМИ**

**Цель работы.** Определить влияние химических добавок на прочность при сжатии и изгибе цементно-песчаного раствора.

#### **КРАТКИЕ СВЕДЕНИЯ ИЗ ТЕОРИИ**

Предел прочности цементно-песчаного раствора с добавками устанавливают на образцах-балочках размером  $40 \times 40 \times 160$ , приготовленных из раствора, имеющих одинаковую конструкцию. Консистенцию цементного раствора устанавливают на встряхивающем столике согласно ГОСТ 3 10.4-83.

#### **ПОРЯДОК ВЫПОЛНЕНИЯ РАБОТЫ**

1 Берут 500 г цемента и 1500 г песка, перемешивают их в сферической чаше, предварительно смоченной влажной тканью. Затем вливают воду или водный раствор добавки и перемешивают раствор в растворомешалке.

2 По окончании перемешивания заполняют раствором форму-конус на половину высоты и уплотняют 15 штыкованиями металлической штыковкой. Затем наполняют конус раствором с небольшим избытком и штыкуют 10 раз.

3 После уплотнения верхнего слоя излишек раствора срезают ножом вровень с краями конуса, затем конус снимают в вертикальном направлении.

4 Раствор встряхивают на станке 30 раз за  $30 \pm 5$  с, после чего штангенциркулем измеряют диаметр конуса по нижнему основанию. Расплыв конуса должен быть в пределах 106–115 мм. Если расплыв конуса менее 106 мм, то количество воды увеличивают, а если расплыв конуса более 115 мм, то количество воды уменьшают.

5 Водоцементное отношение, полученное при достижении расплыва конуса 106–115 мм, принимают для проведения дальнейших испытаний.

6 Полученные результаты заносят в таблицу 1.

*Таблица 1 – Прочность образцов при изгибе и сжатии*

Вид и количество добавки, %	В/Ц	Прочность образцов, МПа	
		при изгибе	при сжатии

7 Для определения прочностных характеристик цемента изготавливают образцы-палочки из цементного раствора, приготовленного с В/Ц, соответствующим одинаковой консистенции раствора.

8 Через 14 или 28 суток образцы испытывают на изгиб на приборе МИИ–100, а половинки балочек испытывают на сжатие.

9 Полученные результаты заносят в таблицу 1.

10 На основании полученных результатов делают заключение о действии химических добавок на цементный гель и физико-механические свойства цементно-песчаного раствора.

#### **Контрольные вопросы**

- 1 Каково отличие пластификаторов от суперпластификаторов?
- 2 Что такое прочность бетонов?
- 3 Каково влияние химических добавок на прочность бетона?
- 4 С какой целью и как определяют расплыв конуса раствора?
- 5 Назовите основные физико-механические свойства цементно-песчаного раствора.

### **Лабораторная работа № 13**

## **ИССЛЕДОВАНИЕ СПОСОБОВ УСКОРЕНИЯ ТВЕРДЕНИЯ ШЛАКОПОРТЛАНДЦЕМЕНТА**

**Цель работы.** Определить эффективные способы ускорения твердения цемента.

### **КРАТКИЕ СВЕДЕНИЯ ИЗ ТЕОРИИ**

Шлакопортландцементом называется гидравлическое вяжущее, получаемое путем тонкого измельчения портландцементного клинкера совместно с гранулированным доменным шлаком и двуводным гипсом. Шлака в шлакопортландцементе должно быть не менее 21 и не более 60 % по массе (ГОСТ 10178-76). Гипс вводится для регулирования сроков схватывания, а также в качестве активизатора твердения шлака.

Доменные шлаки образуются как отход при выплавке чугуна путем резкого охлаждения шлакового расплава. Резкое охлаждение препятствует развитию процессов кристаллообразования и у шлака образуется стекловидная структура, обладающая значительным запасом внутренней энергии и реакционной способностью, поэтому шлак, размолотый в порошок, способен гидравлически твердеть. Однако твердение шлака идет медленно, но в присутствии СаО значительно ускоряется. В процессе твердения шлакопортландцемента шлак усваивает свободную СаО и твердеет, повышая этим водостойкость бетона.

Шлакопортландцементы характеризуются относительно медленным нарастанием прочности в начальные сроки твердения, поэтому на заводах железобетонных изделий применяют ряд технологических приемов, в какой-то мере позволяющих устранить этот недостаток.

### **ПРИБОРЫ И МАТЕРИАЛЫ**

Кубы 7,07×7,07×7,07, встряхивающий столик, чаша для перемешивания, кольцо, лабораторная шаровая мельница, пропарочная камера, шлакопортландцемент, NaCl, вода.

### **ПОРЯДОК ВЫПОЛНЕНИЯ РАБОТЫ**

Для каждого вида испытания готовят серии по девять образцов-кубов размером 7,07×7,07×7,07 из растворенной смеси заданного состава с рядовым кварцевым песком.

Образцы для всех видов испытаний следует изготавливать из смеси одинаковой пластичной консистенции (расплыв раствора на стандартном встряхивающем столике 105–110 мм).

Растворную смесь готовят в лабораторной мешалке или вручную в чаше перемешивания. Уплотнение при формовании образцов осуществляют вибрированием на стандартной виброплощадке в течение 1–2 мин.

1 Домол цемента производят в лабораторной шаровой мельнице до удельной поверхности 4000–5000 см<sup>2</sup>/г.

2 При определении влияния на свойства шлакопортландцемента химических добавок-ускорителей твердения используют цемент заводского помола. Добавки-ускорители твердения вводят с водой завтoreния в количестве 0,5; 1 и 1,5 % от массы цемента.

3 Эффективность обработки определяется на образцах, изготовленных на цементе заводского помола.

Режим пропаривания:

- подъем температуры до 90–95 °С — 2 ч;
- изотермическая выдержка при этой температуре — 8 ч,
- снижение температуры — 2 ч.

4 Определение предела прочности при сжатии производят через одни сутки и через двадцать семь суток после изготовления образцов при хранении их во влажной среде при комнатной температуре. Данные результатов испытаний заносят в таблицу 1

Таблица 1 – Результаты испытания

Способ ускорения твердения	Водопотребль В/Ц	Расход цемента, кг/м	Предел прочности при сжатии, МПа			
			При t = 12–20 °С		После пропаривания	
			1	2	1	2
Цемент заводского помола						
Домол S <sub>y</sub> =4000						
Добавка СаС1: 0,5						
Пропаривание						

5. По результатам исследований делают заключение об эффективности способов ускорения твердения шлакопортландцементов.

#### **Контрольные вопросы**

- 1 Как влияет удельная поверхность цемента на прочность?
- 2 Что такое шлакопортландцемент?
- 3 Какова эффективность термообработки?
- 4 Как влияет добавка–ускоритель на прочность раствора?
- 5 Какова зависимость прочности раствора от плотности добавки-ускорителя?

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1 Буров, Ю. С. Лабораторный практикум по курсу «Минеральные вяжущие вещества»/ Ю. С. Буров, В. С. Колокольников – М.; Стройиздат, 1994. – 225с.

2 Бутт, Ю. М. Практикум по химической технологии вяжущих материалов./ Ю. М. Бутт, В. В. Тимашев – М.; Высшая школа, 1993. – 504 с.

3 Волженский, Л. В. Минеральные вяжущие вещества: Учебник для вузов. – 4-е издание перераб. и доп./ Л.В. Волженский – М.; Стройиздат, 1986. – 464 с.

4 Глекель, Ф. Л. Физико-химические основы применения добавок к минеральным вяжущим./ Ф. Л. Глекель – Ташкент, ФАН 4 ССР, 1985. – 198с.

5 Химия и технология специальных цементов./ И. В. Кравченко [и др.] – М.; Стройиздат, 1995.– 700с.

6 Раяк, С. М. Специальные цементы./ С. М. Раяк, Г.С. Раяк – М.; Стройиздат, 1987. – 220с.

7 Сборник «Бетоны с эффективными суперпластификаторами. – М.: НИИЖБ. 1999. – 229с.

8 Боженков, Ю. М., Технология бетона, : учебник/ Ю. М. Боженков – М.: Издательство АСБ, 2002. – 499с.

9 Железобетон в 21 веке: состояние и перспективы развития бетона и железобетона в России / Госстрой России; НИИЖСБ. – М.: Готика, 2001. – 684 с.

## СОДЕРЖАНИЕ

Введение.....	3
<i>Лабораторная работа № 1</i> Известь воздушная строительная .....	4
<i>Лабораторная работа № 2</i> Определение эффективности применения молотой негашёной извести для строительных растворов.....	12
<i>Лабораторная работа № 3</i> Свойства гипсовых вяжущих и их регулирование.....	14
<i>Лабораторная работа № 4</i> Определение основных показателей качества цементов белорусских заводов.....	19
<i>Лабораторная работа № 5</i> Гидролиз и гидратация клинкеров портландцемента.....	23
<i>Лабораторная работа № 6</i> Коррозии цементного камня.....	26
<i>Лабораторная работа № 7</i> Определение потерей при прокальвании цемента.....	28
<i>Лабораторная работа № 8</i> Гравиметрическое определение сульфата.....	30
<i>Лабораторная работа № 9</i> Определение в цементе остатка, нерастворимого в соляной кислоте и карбонате натрия.....	32



*Лабораторная работа № 10* Определение степени пластификации химическими добавками цементного геля.....33

*Лабораторная работа № 11* Определение водопотребности и сроков схватывания цементного геля с добавками пластификаторами и суперпластификаторами.....37

*Лабораторная работа № 12* Определение пределов прочности при сжатии и изгибе цементно-песчаного раствора с добавками пластификаторами и суперпластификаторами.....39

*Лабораторная работа № 13* Исследование способов ускорения твердения шлакопортландцемента .....44

Список литературы.....45