

**МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ
ДОНЕЦКОЙ НАРОДНОЙ РЕСПУБЛИКИ
ГОСУДАРСТВЕННОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ
ВЫСШЕГО ПРОФЕССИОНАЛЬНОГО ОБРАЗОВАНИЯ
«ДОНЕЦКИЙ НАЦИОНАЛЬНЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»**

**МЕТОДИЧЕСКИЕ РЕКОМЕНДАЦИИ
к выполнению лабораторных работ по дисциплине
«Химическая технология вяжущих веществ»**

Донецк
2021

**МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ
ДОНЕЦКОЙ НАРОДНОЙ РЕСПУБЛИКИ
ГОСУДАРСТВЕННОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ
ВЫСШЕГО ПРОФЕССИОНАЛЬНОГО ОБРАЗОВАНИЯ
«ДОНЕЦКИЙ НАЦИОНАЛЬНЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»**

КАФЕДРА «ПРИКЛАДНАЯ ЭКОЛОГИЯ И ОХРАНА ОКРУЖАЮЩЕЙ СРЕДЫ»

**МЕТОДИЧЕСКИЕ РЕКОМЕНДАЦИИ
к выполнению лабораторных работ по дисциплине
«Химическая технология вяжущих веществ»**

для обучающихся по направлению подготовки
18.03.01 «Химическая технология»
профиль «Технология тугоплавких неметаллических и силикатных материалов»
всех форм обучения

РАССМОТРЕНО
на заседании кафедры
прикладной экологии и охраны
окружающей среды
Протокол № 6 от 21.01.2021 г.

УТВЕРЖДЕНО
на заседании учебно-издательского
совета ДОННТУ
Протокол № 2 от 24.02.2021 г.

Донецк
2021

Составители:

Беломеря Николай Иосифович – кандидат технических наук, профессор кафедры прикладной экологии и охраны окружающей среды ГОУВПО «ДОННТУ»;
Горбатко Сергей Витальевич – кандидат технических наук, доцент кафедры прикладной экологии и охраны окружающей среды ГОУВПО «ДОННТУ».

М54 Методические рекомендации к лабораторным работам по дисциплине «Химическая технология вяжущих веществ» : для обучающихся по направлению подготовки 18.03.01 «Химическая технология» профиль «Технология тугоплавких неметаллических и силикатных материалов» всех форм обучения / ГОУВПО «ДОННТУ», каф. прикладной экологии и охраны окружающей среды; сост.: Н.И. Беломеря, С.В. Горбатко. – Донецк : ДОННТУ, 2021. – Систем. требования: Acrobat Reader. – Загл. с титул. экрана.

Методические рекомендации для проведения лабораторного практикума студентов разработаны с целью оказания помощи обучающимся в получении практических навыков по дисциплине «Химическая технология вяжущих веществ».

Содержание

1. ОБЩИЕ ТРЕБОВАНИЯ К ВЫПОЛНЕНИЮ ЛАБОРАТОРНЫХ РАБОТ...	5
1.1. Правила техники безопасности при выполнении лабораторных работ..	5
1.2. Оформление отчета.....	5
2. МИНЕРАЛЬНЫЕ ВЯЖУЩИЕ МАТЕРИАЛЫ	6
2.1. Исследование свойств строительного гипса.....	7
2.1.1. Получение и свойства гипсовых вяжущих	7
2.1.2. Твердение строительного гипса	9
2.1.3. Определение тонкости (степени) помола гипса	9
2.1.4. Определение нормальной густоты гипсового теста	10
2.1.5. Определение сроков схватывания гипса	11
2.1.6. Определение механической прочности гипса	12
2.2. Исследование свойств строительной извести.....	14
2.2.1. Общие сведения	14
2.2.2. Твердение извести и ее применение	16
2.2.3. Определение активности воздушной извести.....	16
2.2.4. Определение температуры и скорости гашения извести.....	17
2.3. Исследование свойств портландцемента	18
2.3.1. Общие сведения	18
2.3.2. Определение плотности и объемной массы цемента.....	20
2.3.3. Определение тонкости помола и удельной поверхности цемента	22
2.3.4. Определение нормальной густоты цементного теста.....	25
2.3.5. Определение сроков схватывания цемента.....	26
2.3.6. Определение равномерности изменения объема цемента.....	28
2.3.7. Определение предела прочности цемента при изгибе и сжатии	29
Перечень рекомендованной литературы	33

1. ОБЩИЕ ТРЕБОВАНИЯ К ВЫПОЛНЕНИЮ ЛАБОРАТОРНЫХ РАБОТ

Цель лабораторных работ по курсу "Технология вяжущих веществ" – закрепление теоретических знаний и приобретения навыков контроля и исследования основных физико-химических свойств вяжущих (строительного гипса, извести и цемента) и умения обрабатывать и анализировать полученные результаты.

1.1. Правила техники безопасности при выполнении лабораторных работ

К лабораторным работам студенты допускаются после прохождения первичного инструктажа на рабочем месте.

Необходимо соблюдать следующие меры предосторожности:

- подготовку сырьевых материалов (измельчение; рассев; смешение и др.) производить в местах, обеспечивающих пылеулавливание;
- движущиеся части механического и теплового оборудования должны быть надежно защищены сетчатыми или сплошными металлическими ограждениями;
- металлические части механического и теплового оборудования, которые вследствие повреждения изоляции электропроводов могут оказаться под электрическим напряжением опасной величины, следует надежно заземлять;
- проявлять осторожность при гашении извести и работе со стеклянной посудой;
- с концентрированными растворами кислот и щелочей, с легколетучими веществами работать только в вытяжном шкафу;
- при нагревании растворов пользоваться посудой только из термостойкого стекла и фарфора;
- при попадании кислоты или щелочи на кожу, смыть обильным количеством воды, а затем слабым раствором соды или борной кислоты;
- содержать рабочее место в чистоте и порядке.

1.2. Оформление отчета

Отчёт о каждой работе составляется на стандартных листах форматом А4. В нем должны быть указаны:

- дата выполнения работы;
- название;
- цель;
- краткие основные теоретические и технологические сведения о материале и процессах;
- краткое описание методики выполнения работы;
- условия проведения эксперимента, схемы лабораторных приборов и установок;
- результаты измерений и расчетов, оформленные в виде таблиц и графиков;

выводы по работе.

В выводах должны найти отражение качественные и количественные оценки свойств материалов, их соответствие стандарту по нормируемым показателям.

Все отчеты об отдельных лабораторных работах, выполненных в каждом семестре, брошюруются, составляется оглавление и оформляется титульный лист.

2. МИНЕРАЛЬНЫЕ ВЯЖУЩИЕ МАТЕРИАЛЫ

Минеральные вяжущие – искусственные порошкообразные материалы, которые при затворении (смешении) с водой образуют пластичную легко-формуемую массу (тесто), способную в результате соответствующей обработки переходить в камневидное состояние. Вяжущие материалы обычно используют в виде растворов (смесь вяжущего, мелкого заполнителя и воды).

В зависимости от условий твердения различают следующие виды минеральных вяжущих:

- воздушные, способные затвердевать и сохранять свою прочность только на воздухе (воздушная известь, гипс);
- гидравлические, способные затвердевать и сохранять свою прочность не только на воздухе, но и в воде (цементы, гидравлическая известь);
- кислотостойкие, способные затвердевать на воздухе и сохранять свою прочность при воздействии кислот (растворимое стекло, фосфатные цементы и др.).

Основной показатель качества вяжущих – прочность. Так как прочность вяжущего изменяется во времени, то их качество оценивается по прочности, достигнутой за определенное время в условиях, установленных стандартом, т.е. маркой вяжущего.

Другая не менее важная характеристика вяжущих – сроки схватывания и скорость твердения. Схватывание – начальная стадия твердения, в результате которой пластичная масса затворенной водой вяжущего превращается в твердое тело. Начало схватывания – первый момент твердения, в результате которого затворенная водой пластичная масса превращается в твердое тело. Начало схватывания – первый момент твердения, в течение которого тесто, изготовленное из вяжущего, теряет пластичность, постепенно загустевает. Конец схватывания – момент, когда схватывающая масса окончательно теряет пластичность, постепенно загустевает, превращается в твердое тело, не обладая еще заметной прочностью.

Скорость твердения для вяжущих различная. Так, гипсовые вяжущие полностью затвердевают в течение нескольких часов, в то же время процесс твердения извести длится годы.

Важными характеристиками вяжущих являются также водопотребность (нормальная густота) и тонкость помола.

2.1. Исследование свойств строительного гипса

2.1.1. Получение и свойства гипсовых вяжущих

Гипсовые вяжущие – это материалы, состоящие из полуводного гипса или ангидрита. Их получают при термической или гидротермической обработке гипсового сырья (гипсового камня, ангидрита, отходов промышленности). В зависимости от условий термической обработки гипсовые вяжущие делятся на две группы: низко- и высокообжиговые.

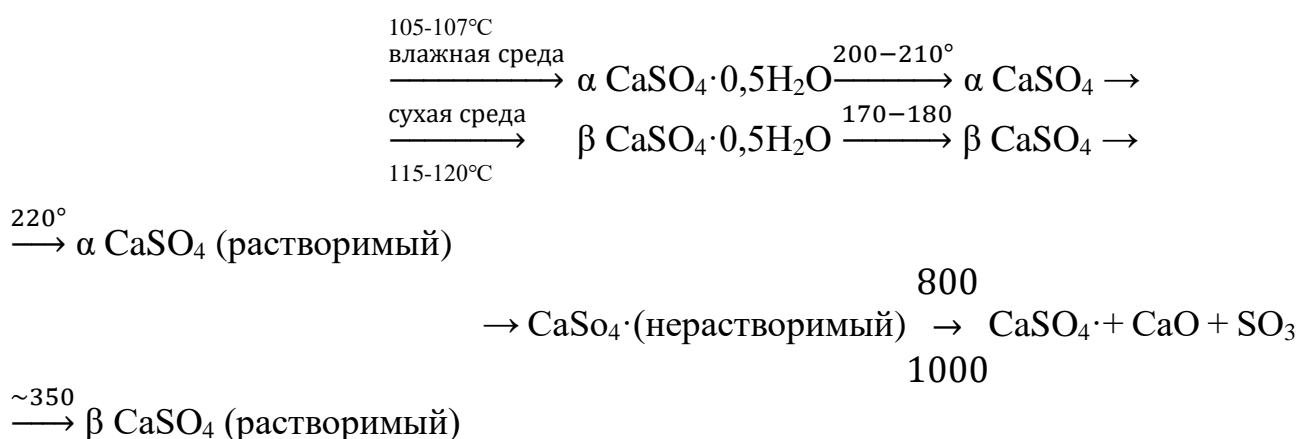
Низкообжиговые вяжущие гипсовые материалы состоят из полугидрата сульфата кальция, получаемого термической обработкой дигидрата при температуре 110-190°C. Низкообжиговые вяжущие быстро твердеют. К ним относятся строительный высокопрочный и формовочный гипс.

К высокообжиговым (температура обработки 600-900°C) относятся ангидритовый цемент, высокообжиговый гипс (эстрих-гипс). Сырьем для их получения являются гипсовый камень и природный ангидрит с различными добавками.

Существуют 8 модификаций водного и безводного сульфата кальция:

- двуводный сульфат кальция – $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$
- α - полуводный сульфат кальция $\alpha \text{CaSO}_4 \cdot 0,5\text{H}_2\text{O}$
- β - полуводный сульфат кальция $\beta \text{CaSO}_4 \cdot 0,5\text{H}_2\text{O}$
- α - обезвоженный полугидрат αCaSO_4
- β - обезвоженный полугидрат βCaSO_4
- α - растворимый ангидрит αCaSO_4
- β - растворимый ангидрит βCaSO_4
- β - нерастворимый ангидрит (обычно называемый ангидритом) CaSO_4

Модификационные превращения гипсового камня осуществляются по нижеприведенной схеме:



Если условия обжига обеспечивают высокую подвижность ионов кальция и сульфат-ионов, то образуются крупнокристаллические модификации полуводного и безводного гипса, полученные в сухой среде, которые называются β - модификациями. α - и β -модификации резко отличаются друг от друга по своим вяжущим свойствам. Крупнокристаллическая модификация требует для затвердения меньшего количества воды и образует в результате твердения более прочное изделие.

Практически могут быть использованы следующие модификации гипса:

- двухводный гипс (для производства гипсового цемента);
- смесь α - и β -модификаций (для производства строительного, формовочного, медицинского гипса);
- α - модификация полуводного гипса (для производства высокопрочного гипса);
- ангидрит (для производства ангидритового цемента);
- высокообжиговый гипс (для производства эстрих-гипса).

α - и β -модификации обезвоженного и растворимого полугидрата не могут быть использованы, так как быстро схватываются.

Строительным гипсом называют воздушное вяжущее, состоящее преимущественно из β -полугидрата. Свойства строительного гипса в соответствии с ГОСТ 125-2018 представлены в табл. 2.1-2.3.

Таблица 2.1 Механическая прочность строительного гипса

Марка	Предел прочности образцов-балочек размерами 40-40-160 мм в возрасте 2 ч не менее	
	при сжатии, МПа (кгс/см ²)	при изгибе, МПа (кгс/см ²)
Г2	2(20)	1,2 (12)
Г3	3(30)	1,8 (18)
Г4	4(40)	2,0 (20)
Г5	5(50)	2,5 (25)
Г6	6(60)	3,0 (30)
Г7	7(70)	3,5 (35)
Г10	10(100)	4,5 (45)
Г13	13(130)	5,5 (55)
Г16	16(160)	6,0 (60)
Г19	19(190)	6,5 (65)
Г22	22(220)	7,0 (70)
Г25	25(250)	8,0 (80)

Таблица 2.2 Сроки схватывания строительного гипса

Вид гипсового вяжущего	Индекс сроков твердения	Сроки схватывания, мин	
		начало, не ранее	конец, не позднее
Быстротвердеющий	А	2	15
Нормальнотвердеющий	Б	6	30
Медленнотвердеющий	В	20	не нормируется

Таблица 2.3 Тонкость помола строительного гипса

Вид гипсового вяжущего	Индекс степени помола	Максимальный остаток на сите с размером ячейки в свету 0,2 мм не более
Грубого помола	I	23
Среднего помола	II	14
Тонкого помола	III	2

2.1.2. Твердение строительного гипса

При затворении гипса водой образуется пластичная масса, которая со временем превращается в твердое камневидное тело. Превращение это происходит не сразу, а постепенно. Сначала подвижная пластичная масса уплотняется и густеет, что является началом схватывания. В дальнейшем она все более уплотняется, окончательно теряет подвижность и постепенно превращается в твердое тело, не имеющее заметной прочности. Этот момент соответствует концу схватывания. По окончании схватывания протекают дальнейшие преобразования (химические и физические), сопровождающиеся продолжающимся уплотнением и нарастанием механической прочности, что и характеризует собой процесс твердения вяжущих веществ.

Относительно механизма взаимодействия вяжущего с водой среди ученых нет единого мнения. Одни исследователи считают, что вначале частицы безводного вяжущего растворяются в воде, потом гидратируются, другие – что вяжущие гидратируются топохимически, т.е. молекулы воды или ионы H^+ или OH^- присоединяются непосредственно к поверхности кристаллов, образуя гидратированную пленку, затем гидратированные ионы частично или полностью переходят в раствор.

Процесс твердения строительного гипса описывается реакцией



Эта реакция экзотермична, и ее тепловой эффект составляет 133 кДж/кг.

По Байкову процесс твердения можно разделить на три периода: первый – растворение, в котором некоторая часть полуводного гипса растворяется, образуя насыщенный раствор; второй – коллоидация, во время которого гипс гидратируется в твердом состоянии и переходит в коллоидное состояние; третий – кристаллизация и образование кристаллического сростка (гелеобразные коллоидные продукты кристаллизуются, и прочность гипса возрастает). Эти периоды не следуют строго друг за другом, а налагаются один на другой.

Теоретически для гидротации полуводного гипса необходимо 18,6% воды. Количество воды, необходимое для получения легко формуемого (нормальной густоты) теста, зависит от модификационного состава гипса. Для высокопрочного (α -полуводный) требуется 35-45% воды, а для строительного (β -полуводный) – 50-80%. Избыточное количество воды остается в порах затвердевшего материала, а затем испаряется. При этом механическая прочность высушенного изделия повышается почти в два раза. Чем меньше воды было взято для затвердения, тем плотнее получается гипсовое изделие и тем выше его прочность.

Строительный гипс находит широкое применение для изготовления панелей внутренних перегородок, блоков плит, входит в состав сухой штукатурки, используется в качестве добавок в цементах. Он может применяться в качестве формовочного материала при изготовлении форм и моделей, а также для медицинских целей.

2.1.3. Определение тонкости (степени) помола гипса

Тонкость помола гипса определяется ситовым анализом и характеризуется

остатком на сите с размером ячеек в свету 0,2 мм. Пробу предварительно высушенного при 50°С в течение часа гипса массой 50 г (с точностью до 0,1 г) высыпают на сито и просеивают. Просеивание считают законченным, если в течение 1 мин через сито не проходит более 0,05 г гипса. Тонкость помола (в %) определяют как отношение массы остатка на сите к массе пробы. Проводят два параллельных опыта и за величину тонкости помола принимают среднее арифметическое результатов двух определений. Результаты определений заносят в табл. 2.4.

Таблица 2.4

Результаты определения тонкости помола гипса

Номер опыта	Остаток на сите		Среднее значение	Индекс степени помола
	г	%		
1				
2				

По результатам определений устанавливают индекс степени помола и вид вяжущего (см. табл. 2.3).

2.1.4. Определение нормальной густоты гипсового теста

Гипсовым тестом называется пластичная однородная масса, состоящая из гипса и воды. Под нормальной густотой понимают такую консистенцию теста или раствора, при которой обеспечиваются его подвижность и удобоукладываемость. Нормальную густоту характеризуют водопотребностью – количеством воды, необходимой для получения материала указанной консистенции. Водопотребность гипса зависит от условий его получения. С увеличением температуры обжига гипса до 200°С и тонкости помола повышается потребность в воде и, как следствие, снижается прочность. Поэтому в производстве строительного гипса необходимо избегать пережога и переизмельчения. Стандартная консистенция (нормальная густота) гипса характеризуется диаметром расплыва гипсового теста, вытекающего из цилиндра при его резком поднятии. Диаметр расплыва должен быть 180 ± 5 мм. Количество воды для получения гипсового теста стандартной консистенции выражается в процентах по отношению к массе гипсового вяжущего.

Для определения нормальной густоты строительного гипса используют вискозиметр Суттарда, который состоит из цилиндра, изготовленного из нержавеющей стали (меди, латуни) и имеющего внутренний диаметр 50 мм, высоту - 100 мм, а также стеклянного диска диаметром 200 мм, на котором нанесен ряд концентрических окружностей диаметром от 60 до 200 мм.

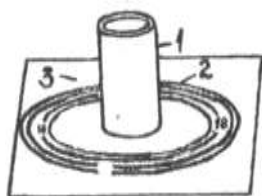


Рис. 2.1. Вискозиметр Суттарда:

- 1 - цилиндр;
- 2 - концентрические окружности;
- 3 - стеклянная пластина

Перед определением консистенции стеклянную пластину и внутреннюю

поверхность цилиндра протирают влажной тканью и помещают цилиндр строго в центр концентрических окружностей стекла, установленного горизонтально. Затем в чистую чашку заливают воду, масса которой зависит от свойств гипса, и туда же (в течение 2-5 секунд) всыпают 300/350 г гипса и перемешивают массу ручной мешалкой в течение 30 секунд, начиная отсчет от момента всыпания гипсового вяжущего в воду. Приготовленным тестом быстро заполняют цилиндр, и излишки теста срезают линейкой. Через 45 секунд, считая от начала всыпания гипсового вяжущего в воду, или через 15 секунд после окончания перемешивания, цилиндр быстро поднимают вверх на высоту 15-20 см и отводят в сторону. Время перемешивания следует строго соблюдать потому, что вязкость гипсового теста быстро возрастает во времени и нарушение продолжительности перемешивания приводит к искажению результатов испытания.

Диаметр расплыва измеряют непосредственно после поднятия цилиндра в двух взаимно перпендикулярных направлениях погрешностью не более 5 мм. Если диаметр расплыва отличается от 180 ± 5 мм, испытание повторяют с измененным количеством воды, добиваясь требуемого расплыва.

Результаты испытаний заносят в табл. 2.5.

Таблица 2.5 Результаты определения нормальной густоты гипсового теста

Номер опыта	Масса гипса	Количество воды		Диаметр лепешки, мм	Нормальная густота, %
		мл	%		

2.1.5. Определение сроков схватывания гипса

Сроки схватывания гипсового теста определяют с помощью прибора Вика с иглой (рис. 2.2) на тесте стандартной консистенции. Сущность метода заключается в определении времени от момента затворения гипса до начала и конца схватывания теста.

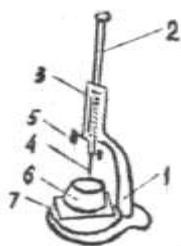


Рис. 2.2. Прибор Вика

- 1 – станина;
- 2 – стержень;
- 3 – шкала;
- 4 – игла;
- 5 – винт;
- 6 – кольцо для гипсового теста;
- 7 – стеклянная пластина

Перед началом испытания проверяют, свободно ли опускается стержень прибора Вика, а также нулевое положение подвижной части. Взвешивают на технических весах гипс (300 г), готовят тесто нормальной густоты (см. 2.1.4) и помещают его в кольцо прибора Вика, предварительно смазанное минеральным маслом. Снизу кольцо ограничивает стеклянная пластина. Для удаления попавшего в тесто воздуха производят встряхивание кольца с пластиной 4-5 раз

путем поднятия и опускания одной стороны пластины примерно на 10 мм. После этого излишки теста срезают линейкой и устанавливают заполненное кольцо с пластинкой на основание прибора Вика. Подвижную часть прибора с иглой устанавливают в такое положение, при котором конец иглы касается поверхности гипсового теста, а затем иглу свободно опускают в кольцо с тестом. Погружение производят один раз каждые 30 с, начиная с целого числа минут. После каждого погружения иглу тщательно вытирают, а пластину вместе с кольцом передвигают так, чтобы игла при новом погружении попадала в другое место поверхности теста.

Начало схватывания определяют числом минут от момента добавления вяжущего к воде до момента, когда свободно опущенная игла после погружения в тесто не доходит до поверхности пластины (первый раз), а конец схватывания, – когда свободно опущенная игла погружается на глубину не более 1 мм. Время начала и конца схватывания выражают числом минут.

Результаты определений заносят в табл. 2.6.

Таблица 2.6 Результаты определений сроков схватывания гипса

Номер определения сроков схватывания гипса	Время затвердения гипса, ч-мин	Время, когда игла не доходит до поверхности пластины, ч-мин	Время, в течение которого игла опускается в тесто на глубину не более 1 мм, ч-мин	Сроки схватывания, мин	
				начало	конец

По результатам определения устанавливают индекс твердения и вид вяжущего (см. табл. 2.2).

2.1.6. Определение механической прочности гипса

Сущность испытания заключается в определении напряжений (предела прочности), разрушающих стандартный образец-балочку размером 40x40x160мм, которую испытывают на изгиб, а образовавшиеся половинки балочки-на сжатие.

Образцы формируют из теста стандартной консистенции. Для этого берут 1200 г гипсового вяжущего и количество воды, необходимое для получения теста нормальной густоты. Смесь воды с гипсом перемешивают ручной мешалкой в течение 60 с до получения однородного теста. Для формирования образцов используют трехгнездные формы (ФБС 1), которые предварительно смазывают минеральным маслом средней вязкости. Отсеки формы одновременно и равномерно заполняют гипсовым тестом. Для удаления воздуха заполненную форму встряхивают 5-6 раз. После наступления начала схватывания излишки гипсового теста срезают линейкой. Через 15 ± 5 мин после конца схватывания образцы извлекают из формы, маркируют и хранят в помещении для испытаний.

По истечении 2 часов после начала перемешивания образцы испытывают

на изгиб на машине МИИ - 100 или на другом приборе. Балочки устанавливают на опоры таким образом, чтобы те грани, которые были горизонтальными при изготовлении, при испытании находились в вертикальном положении. Испытание образцов и расчет пределов прочности при изгибе производят в соответствии с инструкцией, прилагаемой к испытательной машине. Предел прочности при изгибе испытываемого гипса вычисляют как среднее арифметическое из двух наибольших результатов испытания 3 образцов.

Предел прочности на сжатие определяют на половинках балочек (6 штук), получившихся после испытания на изгиб. Каждую из них помещают между двумя металлическими пластинами так, чтобы боковые грани, которые при изготовлении прилегли к продольным стенкам форм, находились на плоскостях пластин, а упоры пластин плотно прилегли к торцовой гладкой стенке образца. Образец вместе с пластинами помещают в центре нижней плиты гидравлического пресса, опускают верхнюю плиту до упора, включают пресс. Время от начала равномерного нагружения образца до его разрушения должно составлять от 5 до 30 с, а средняя скорость нарастания нагрузки при испытании должна быть 10 ± 5 кгс/см² в секунду.

Разрушающая нагрузка (кгс) равна произведению показаний манометра на цену деления. Предел прочности на сжатие определяют как частное от деления разрушающей нагрузки на рабочую площадь пластины (25 см²).

Результаты определений механической прочности гипса заносят в табл. 2.7.

Таблица 2.7 Результаты определения механической прочности гипса

Номер образца	Предел прочности при изгибе		Разрушающая нагрузка при испытании на сжатие, кгс	Предел прочности при сжатии	
	кгс/см ²	МПа		кгс/см ²	МПа
Среднее значение					

По полученным результатам устанавливают марку строительного гипса (см. табл. 2.1).

Вопросы для самопроверки

1. Классификация гипсовых вяжущих в зависимости от условий термообработки.
2. К какой группе вяжущих относится гипс?
3. Сырьевые материалы, из которых получают гипсовые вяжущие.
4. Основные модификации гипса, условия их получения и отличительные свойства.
5. Сущность процесса твердения гипса.
6. Тонкость помола строительного гипса, ее определение и влияние на свойства.
7. Классификация строительного гипса по тонкости помола.
8. Нормальная плотность гипсового теста, ее определение. Факторы, влияющие на консистенцию гипсового теста.

9. Суть метода определения сроков схватывания гипса.
10. Классификация гипса по срокам схватывания.
11. Суть методов определения механической прочности гипса.
12. Классификация строительного гипса по механической прочности.
13. Что такое марка гипса?
14. Напишите условное обозначение гипсового вяжущего (согласно ГОСТ 125-2018), характеризующегося пределом прочности на сжатие 5 МПа, схватыванием: начало – 3 мин, конец – 13 мин, остатком на сите 02 (тонкость помола) – 10%.

2.2. Исследование свойств строительной извести

2.2.1. Общие сведения

Строительной известью (ГОСТ 9179-2018) называют вяжущее вещество, получаемое обжигом (не до спекания) до возможно более полного выделения углекислоты карбонатных горных пород (известняков, мела и др.). Содержание глинистых примесей в карбонатных породах не должно превышать 6-8%. При большем содержании глинистых примесей в сырье получают гидравлическую известь.

Воздушная известь в зависимости от содержания MgO подразделяется на:

- на кальциевую известь – до 5% MgO
- магнезиальную известь – до 20% MgO
- доломитовую известь – до 40% MgO

Гидравлическая известь в зависимости от отношения (гидравлического модуля m) оксида кальция к количеству (масс %) кислотных оксидов (SiO_2 , Al_2O_3 , Fe_2O_3) бывает слабогидравлической ($m=4,5\div 9,0$) и сильногидравлической ($m=1,7\div 4,5$).

Основной технологической операцией в производстве извести является обжиг. При обжиге карбонатные породы разлагаются с образованием CaO, MgO, CO_2 и силикатов, амониатов и ферритов кальция (если есть в сырье глинистые примеси). Обжиг ведут в шахтных или вращающихся печах различной конструкции при температурах 900-1300°C. Чем выше плотность обжигаемого сырья и меньше примесей, тем выше должна быть температура обжига. Известняки, содержащие значительные количества примесей глинистых, и мягкие известняки обжигают при температуре 1050-1150°C, а известняки со значительным содержанием магнезиальных примесей – при температуре не более 1000°C. Длительность обжига зависит от кусков и температуры обжига.

Выходящая из печи известь в виде кусков (до 200 мм) различного фракционного строения называется комовой. Такая известь активно взаимодействует с водой, выделяет значительное количество тепла. Вода сильно нагревается и может закипеть (отсюда название известькипелка), а куски извести самопроизвольно диспергируются (распадаются) в тончайший порошок (известь-пушонка). Процесс взаимодействия извести с водой называется гашением. В основе процесса гашения лежит реакция:



При повышении температуры гашения образуются крупные зерна и агрегаты гидроксида, не способные образовывать высокопластичное тесто. Поэтому температуру гасящейся извести следует поддерживать в пределах 50-80°C.

При гашении извести избытком воды получают пластичное известковое тесто. Оно содержит обычно 50-55% гидратов оксидов кальция и магния и 45-50% механически и адсорбционно связанной воды.

Воздушная известь может содержать частицы, не способные к гашению; инертные включения (песок, кусочки шлака и т.п.), "недожог" - остатки CaCO_3 , MgCO_3 и "пережог" – спекшиеся и оплавленные частицы. Качество воздушной извести оценивают по разным показателям, основным из которых является содержание свободных оксидов кальция и магния (активность извести). Чем выше их содержание, тем выше качество извести. Строительная воздушная известь должна соответствовать требованиям ГОСТ 9179-2018 (табл. 2.8).

Таблица 2.8 Требования ГОСТ 9279-2018 к воздушной извести

Наименование показателей ГОСТ 9179-2018	Нормы для извести, % по массе								
	Негашеной						Гидратной		
	кальциевой			магнезиальной (доломитовой)					
	сорт						сорт		
	1	2	3	1	2	3	1	2	3
Активные CaO , MgO не менее:									
без добавок	90	80	70	85	75	65	67	60	
с добавками	65	55	–	60	50	–	50	40	
Активная MgO									
не более	5	5	5	20	20	20	–	–	
CO_2 не более:									
без добавок	3	5	7	5	8	11	3	5	
с добавками	4	6	–	6	9	–	2	4	
Не гасившихся зерен, не более	7	11	14	10	15	20	–	–	
Тонкость помола (остаток на сите):									
№ 02	1	1	1	1	1	1	1	1	
№ 08	10	10	10	10	10	10	10	10	
Скорость гашения, мин:									
быстрогасящаяся, менее	8	8	8	8	8	8	8	8	
среднегасящаяся, не более	25	25	25	25	25	25	25	25	
медленногасящаяся, более	25	25	25	25	25	25	25	25	

В тех случаях, когда негашеную известь (комовую) не гасят, а размалывают, она называется молотой кипелкой. Гидравлическую известь после обжига всегда подвергают тонкому размолу.

Для всех видов сортов порошкообразной строительной извести (гидратной, молотой негашеной и молотой гидравлической) степень дисперсности должна быть такой, чтобы при просеивании пробы извести через сита с сетками № 02 и № 008 проходило соответственно не менее 98,5% и 85% массы пробы.

В зависимости от температуры гашения известь делится на низкоэкзотермическую – с температурой гашения ниже 70°C и высокоэкзотермическую – с температурой гашения выше 70°C.

Важным показателем строительных свойств воздушной извести является выход теста. Он определяется количеством известкового теста в литрах, получаемого при гашении 1 кг извести. Высококачественные сорта извести характеризуются выходом теста 2,5/3,5 л и больше. Такую известь называют "жирной". Известь с меньшим выходом теста считают "тощей".

2.2.2. Твердение извести и ее применение

В строительстве известь обычно используется в виде растворов или бетонов, так как в чистом виде она растрескивается. Заполнитель (песок и др.) служит жестким скелетом, препятствующим изменению объема и появлению трещин. Твердение известковых растворов характеризуется:

- испарением механически примешанной воды и постепенной кристаллизацией гидроксида кальция из насыщенного водного раствора;
- карбонизацией гидрата оксида кальция при поглощении углекислоты из воздуха.

Кристаллизация $\text{Ca}(\text{OH})_2$ протекает медленно, кристаллы $\text{Ca}(\text{OH})_2$, срастаясь друг с другом, образуют известковый каркас, сцепляющийся с частицами песка. Карбонатное твердение (образование CaCO_3) протекает интенсивно только в присутствии влаги. Растворы негашеной извести твердеют весьма медленно.

Известь широко применяется в строительстве (35% выпуска) для производства силикатного кирпича, плотных и ячеистых бетонов, строительных растворов, штукатурок, побелок и т.п. в черной металлургии (33%), химической (13%), пищевой (8,5%) и других областях народного хозяйства.

2.2.3. Определение активности воздушной извести

Активность извести зависит от качества исходного сырья, режима обжига. Чем меньше в сырье примесей, тем больше активность извести. Неразложившийся CaCO_3 снижает активность извести. Образующиеся при взаимодействии оксида кальция с глинистыми примесями силикаты, алюминаты и ферриты кальция ($2\text{CaO}\cdot\text{SiO}_2$; $\text{CaO}\cdot\text{Al}_2\text{O}_3$; $\text{CaO}\cdot\text{Fe}_2\text{O}_3$) также снижают активность извести. Зная количество и состав примесей; можно теоретически предсказать активность извести.

Суммарное содержание в извести активных CaO и MgO определяют титрованием навески извести соляной кислотой до тех пор, пока все активные частицы CaO и MgO не будут нейтрализованы кислотой. Для этого негашеную

комовую известь или молотую карбонатную известь в количестве 4-5 г предварительно растирают в фарфоровой ступке. Растертую известь в количестве 1 г помещают в коническую колбу вместимостью 250 мл, наливают 150 мл дистиллированной воды, добавляют 10-15 стеклянных бус или оплавленных кусочков стеклянных палочек (длиной 5-7 мм), закрывают стеклянной воронкой или часовым стеклом и нагревают содержимое колбы в течение 5 мин, не доводя до кипения, затем раствор охлаждают до температуры 20-30°C. По остывании смывают стенки колбы дистиллированной водой, добавляют 2-3 капли 1%-ного спиртового раствора фенолфталеина и титруют при постоянном взбалтывании раствором соляной кислоты до полного обесцвечивания содержимого. Титрование считается законченным, если по истечении 5-8 мин не изменяется цвет окрашивания содержимого колбы. Титрование следует производить медленно, добавляя кислоту по каплям.

Содержимое $\text{CaO} + \text{MgO}$ для негашеной извести, %,

$$A = V \cdot T_{\text{CaO}} \cdot 100/m$$

где V – объем раствора 1 н. соляной кислоты, пошедшей на титрование, мл;
 T_{CaO} – титр CaO по HCl ;
 m – масса навески извести, г.

По результатам анализа делают вывод о сорте извести (см. табл. 2.8).

2.2.4. Определение температуры и скорости гашения извести

Взаимодействие извести с водой (гашение) сопровождается интенсивным выделением тепла, поэтому характеристикой скорости гашения может служить время достижения смесью максимальной температуры.

Для определения скорости и температуры гашения извести используют сосуд Дьюара емкостью 250-500 мл или прибор, состоящий из двух сосудов, вставленных один в другой. Пространство между ними должно быть заполнено теплоизоляционным материалом (асбестовой мелочью, минеральной ватой и т.п.). Для опытов берут навеску с учетом активности извести. Масса навески извести, г,

$$m = 1000/A,$$

где A – содержание активных CaO и MgO в извести, %.

Известь измельчают до полного прохода через сито № 02. Навеску помещают в сосуд, вливают в него 25 мл воды температурой 20°C и плотно закрывают сосуд пробкой, через которую проходит термометр на 100°C. Необходимо следить, чтобы ртутный шарик термометра был погружен в реагирующую смесь.

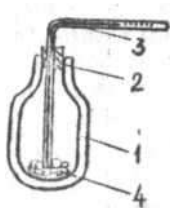


Рис. 2.3. Прибор для определения температуры и скорости гашения извести:

1 – сосуд Дьюара; 2 – пробка;
 3 – термометр; 4 – известь

Содержимое колбы взбалтывают и оставляют в покое. В момент приливания воды пускают секундомер. Через каждые 10 с отмечают температуру

гасящей извести. Наблюдения ведут до тех пор, пока рост температуры не превышает $0,25^{\circ}\text{C}$ в минуту. За время гашения принимают время от момента добавления воды к извести до начала снижения максимальной температуры. Опыт повторяют 2 раза. Результаты опытов заносят в табл. 2.9 и выражают графически.

Таблица 2.9 Результаты определения температуры и скорости гашения извести

Номер пробы	Время от момента приливания воды, с	Температура, $^{\circ}\text{C}$	Максимальная температура, $^{\circ}\text{C}$	Скорость гашения извести, мин
-------------	-------------------------------------	---------------------------------	--	-------------------------------

По полученным результатам делают выводы, к какому виду относится испытуемая известь по скорости и температуре гашения.

Вопросы для самопроверки

1. К какой группе вяжущих относится известь?
2. Сырьевые материалы, используемые для получения извести.
3. Получение извести и процессы, протекающие при обжиге известняков.
4. Виды воздушной извести.
5. Какими свойствами качественно характеризуется известь?
6. Процессы, происходящие при гашении и твердении извести.
7. Сколько воды необходимо взять для получения извести-пушонки, известкового теста и известкового молока?
8. Применение воздушной извести.

2.3. Исследование свойств портландцемента

2.3.1. Общие сведения

Портландцемент – гидравлическое вяжущее, твердеющее в воде и на воздухе, получаемое тонким измельчением портландцементного клинкера, а иногда и со специальными добавками.

Клинкер – это продукт спекания такой сырьевой смеси (глина с известняком, доменным шлаком, мергеля и др.), которая обеспечивает преобладание в нем высокоосновных силикатов кальция (70-80%).

Гипс в портландцемент добавляют для замедления сроков схватывания. Клинкерный порошок без гипса при замешивании с водой быстро схватывается и затвердевает в цементный камень.

Качество и свойства цементного клинкера зависят от химического и минералогического состава и характеризуются коэффициентом насыщения и модульными показателями. Основными оксидами в клинкере являются CaO , SiO_2 , Al_2O_3 , Fe_2O_3 , суммарное содержание которых составляет 95-97%.

В виде примесей в клинкере могут содержаться Na_2O , TiO_2 , P_2O_5 , SO_3 и др. В клинкере главные оксиды образуют силикаты, алюминаты и алюмофорриты кальция в виде минералов кристаллической структуры, часть их входит в

стекловидную фазу.

Основными минералами цементного клинкера являются алит (C_3S) – 40÷60%, белит (C_2S) – 15÷35%, трехкальциевый алюминат (C_3A) – 4÷14% и целит (C_4AF) – 10÷18%, которые значительно отличаются друг от друга по скорости твердения, конечной прочности и ряду других свойств. Алит – важнейший клинкерный минерал, он определяет высокую прочность и быстроту твердения цемента. Белит – второй основной минерал портландцементного клинкера, отличается медленным твердением, но через длительные сроки обеспечивает достижение высокой прочности портландцемента. Трехкальциевый алюминат твердеет быстро, ускоряет схватывание цементов и приходится применять специальные меры для замедления сроков схватывания. Свойства C_4AF во многом аналогичны свойствам C_3A .

Основной задачей при производстве портландцемента является получение клинкера строго определенного состава, а для этого необходимо иметь шихту заданного состава (колебания по содержанию $CaO \pm 0,1\%$).

Существуют два основных метода производства портландцемента: мокрый и сухой, отличающиеся приготовлением сырьевой смеси. Выбор того или иного способа производства определяется экономическими затратами для конкретного сырья.

Твердение портландцемента, как и других вяжущих, является сложным комплексом физико-химических процессов, тесно переплетенных друг с другом. При затворении цемента водой клинкерные минералы образуют новообразования в твердеющем цементном камне: гидросиликаты, гидросульфоалюминаты кальция, гидроксид кальция и др. Состав новообразований определяется составом цементного клинкера, температурными условиями твердения, соотношением твердой и жидкой фаз и в некотором случае составом и свойством заполнителя.

По Ле-Шателье (кристаллизационная теория) безводные составляющие цемента обладают большей растворимостью, чем новообразования. Поэтому раствор становится пересыщенным по отношению к продуктам гидротации и они выкристаллизовываются из раствора.

По Михаэлису (коллоидная теория) твердение вызывается образованием гелей. Они заполняют пустоты в цементном камне, уплотняются и прорастают кристаллическими образованиями,

По Байкову А.А. процесс твердения портландцемента можно разбить на три периода:

- период растворения, в котором растворимые соединения растворяются вплоть до образования насыщенного раствора;
- период коллоидации, или схватывания, когда новообразования не могут растворяться уже в насыщенном растворе, а выделяются в коллоидном состоянии в виде геля, минуя растворение;
- период кристаллизации, или твердения, сопровождающийся кристаллизацией гелей и нарастанием прочности.

Качество цемента регламентируется ГОСТом 31108-2020.

Настоящий стандарт распространяется на общестроительные цементы (далее - цементы), изготавливаемые на основе портландцементного клинкера, и

устанавливает требования к цементам и компонентам вещественного состава этих цементов.

Настоящий стандарт не распространяется на цементы, к которым предъявляются специальные требования и которые изготавливаются по соответствующим нормативным документам.

Классификация общестроительных цементов — по ГОСТ 30515 и настоящему стандарту.

По вещественному составу общестроительные цементы подразделяют на шесть типов:

- ЦЕМ 0 — бездобавочный портландцемент;
- ЦЕМ I — портландцемент;
- ЦЕМ II — портландцемент с минеральными добавками;
- ЦЕМ III — шлакопортландцемент;
- ЦЕМ IV — пуццолановый цемент;
- ЦЕМ V — композиционный цемент.

По содержанию портландцементного клинкера и добавок цементы типов ЦЕМ II, ЦЕМ IV – ЦЕМ V в зависимости от содержания добавок подразделяют на подтипы А и В (за исключением цемента ЦЕМ II с добавкой микрокремнезема), а цемент типа III — на А, В и С.

Физико-химические свойства цементов определяют в соответствии с ГОСТ 310.1-76; 310.2-76; 310.3-76; 310.4-81 или ГОСТ 30744-2001.

2.3.2. Определение плотности и объемной массы цемента

Плотность портландцемента колеблется в пределах 3,3-3,2 г/см³. Она зависит от минералогического состава клинкера, вида добавок и тонкости помола. Плотность пуццоланового и шлакопортландцемента ниже плотности портландцемента (2,7-2,9 г/см³). Плотность не нормируется стандартами, т.к. она мало влияет на технические и эксплуатационные свойства, цемента и косвенно характеризует его качество. Соотношение минералов, степень однородности, количество жидкой фазы в клинкере определяют величину плотности.

Определение плотности вяжущих веществ производится с помощью объемомера – прибора Ле-Шателье (рис. 2.4), представляющего собой сосуд емкостью 120-150 см³ с узкой шейкой длиной 18-20 см и диаметром около 1 см. В нижней части шейки имеется расширение, вблизи которого снизу и сверху нанесены деления, по которым производится отсчет объема с точностью до 0,1 см³.

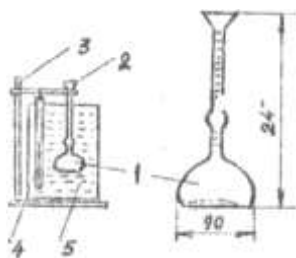


Рис. 2.4. Прибор Ле-Шателье;

1. – колба Ле-Шателье;
2. – воронка;
3. – штатив;
4. – термометр;
5. – сосуд с водой

Прибор помещают в стеклянный сосуд так, чтобы вся градуированная часть была погружена в воду, имеющую температуру, соответствующую градуировке прибора. Предварительно прибор наполняют безводным керосином

до нижней нулевой черты (по нижнему мениску).

Для испытания используют пробу цемента, предварительно высушенную в сушильном шкафу при температуре 105-110°C и охлажденную в эксикаторе. От этой пробы цемента точно до 0,01 г отвешивают 65 г и высыпают в прибор ложечкой через воронку небольшими порциями до тех пор, пока уровень жидкости в приборе не поднимется до черты с делением 20 мл или с любым другим делением в пределах градуированной части прибора. Для удаления пузырьков воздуха, которые могут удерживаться на частицах цемента, прибор вынимают из сосуда с водой и в наклонном положении поворачивают в течение 10 мин на гладком резиновом коврик. После этого прибор снова помещают в сосуд с водой. Затем (через 10 мин) производят отсчет уровня жидкости в приборе. Истинную плотность цемента определяют по формуле:

$$\rho = (m - m_1) / V,$$

где m – масса цемента до опыта, г;

m_1 – масса цемента оставшегося, г;

V – объем жидкости, вытесненной цементом, см³.

Плотность определяют с точностью до 0,01 г/см³ как среднее арифметическое значение результатов двух опытов, причем расхождение между результатами не должно превышать 0,02 г/см³.

Результаты определений заносят в табл. 2.10.

Таблица 2.10 Результаты определения плотности цемента

Номер определения	Температура воды, в которую погружен прибор	Масса цемента до опыта, г	Масса остатка цемента, г	Масса навески цемента, г	Объем жидкости, вытесненной цементом, см	Плотность цемента, г/см ³
-------------------	---	---------------------------	--------------------------	--------------------------	--	--------------------------------------

Объемная масса цемента в рыхлонасыпном состоянии составляет 900÷1100 кг/м³, а в уплотненном – 1400÷1700 кг/м³. При расчетах складских помещений обычно принимают величину объемной массы 1200 кг/м³, а при расчетах бетонной смеси – 1300 кг/м³. Объемную массу материалов учитывают при технологических расчетах (определении площади склада, емкости бункеров, расчете транспортных средств и т.п.).

Объемную массу материалов в рыхлонасыпном состоянии определяют при помощи воронки (рис. 2.5) или наклонной плоскости. В воронку прибора при закрытой задвижке насыпают около 2 кг высушенного материала, после чего открывают задвижку и наполняют литровый сосуд. Когда сосуд наполнится с некоторым избытком, задвижку закрывают, а излишек порошка срезают металлической или деревянной линейкой вровень с краями сосуда, держа линейку в наклонном положении и прижимая ее к краям сосуда. При этом следует избегать толчков, способствующих уплотнению материала. Затем сосуд с материалом взвешивают и определяют объемную массу цемента по формуле:

$$\rho_{об} = (m - m_1) / V,$$

где m – масса пустого сосуда, кг;

m_1 – масса сосуда с материалом, кг;
 V – объем сосуда, м³.

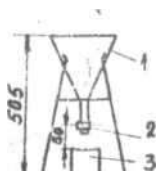


Рис. 2.5. Воронка для определения насыпной массы:
 1 – корпус; 2 – задвижка;
 3 – мерный сосуд

Определение объемной массы производят три раза и берут среднее арифметическое из трех значений. Результаты определений заносят в табл. 2.11.

Таблица 2.11 Результаты определения объемной массы цемента в рыхлом состоянии

Вид материала	Номер определения объемной массы цемента	Масса пустого сосуда	Масса материала, кг	Масса сосуда с материалом, кг	Объем сосуда	Объемная масса цемента, кг/м ³

По результатам определения истинной плотности и объемной массы вяжущего делают вывод.

2.3.3. Определение тонкости помола и удельной поверхности цемента

Многие свойства цемента, в том числе активность, скорость твердения и др., определяются не только химическими и минералогическим составом клинкера, наличием тех или иных добавок, но и в большой степени тонкостью помола продукта, его грануметрическим составом и формой частичек порошка. Цементный порошок в основном состоит из зерен размером от 5-10 до 30 мкм.

Тонкость помола портландцемента характеризуется обычно остатком на ситах с размером ячеек в свету 0,2; 0,08, а иногда и 0,06 мм, а также удельной поверхностью порошка, определяемой на приборах различной конструкции.

Портландцемент обычно измельчают до остатка на сите 0,08, равного 5-8% (по массе), цементы быстротвердеющие – до остатка 2-4% и меньше. При этом удельная поверхность соответственно достигает 2500-3000 и 3500-4500 см²/г и более.

С увеличением тонкости помола цемента повышается его прочность и скорость его твердения, но лишь до значений удельной поверхности 7000-8000 см²/г, сверх которой наблюдается ухудшение прочностных показателей затвердевшего цемента. По величине удельной поверхности можно судить о содержании самых тонких фракций в составе вяжущего. Если принять, что частички вяжущего имеют форму шара, то можно рассчитать количество их в грамме вещества и общую площадь поверхности. Диаметр и общая площадь поверхности частиц, содержащихся в 1 г цемента, связаны следующей зависимостью:

$$d \cdot S = \frac{S}{\rho}$$

где d – диаметр частиц, см;
 S – удельная поверхность частиц, см²/г;
 ρ – плотность веществ, г/см³.

Если принять, что цемент $\rho = 3,0$ г/см³ состоит из частиц одного диаметра, то общая поверхность 1 г цемента будет следующая:

d , мкм	S , см ² /г	d , мкм	S , см ² /г
80	250	20	1000
70	286	10	2000
60	333	5	4000
50	400	3	6666
40	500	2	10000
30	666	1	20000

Из полученных данных видно, что при уменьшении диаметра частиц с 80 до 30 мкм величина поверхности растет незначительно, тогда как дальнейшее уменьшение размера частиц приводит к резкому возрастанию общей площади поверхности. Следовательно, основную долю удельной поверхности составляют частицы менее 6 мкм.

Тонкость помола определяют как остаток на сите с сеткой № 008 в процентах от первоначальной массы просеиваемой пробы. Согласно требованиям ГОСТ тонкость помола цемента должна быть такой, чтобы при просеивании его через сито с сеткой № 008 проходило не менее 85% пробы, взятой для просеивания, а остаток на указанном сите был не более 15%. Для испытаний отвешивают 50 г цемента, предварительно высушенного в сушильном шкафу при температуре 105-110°С, и просеивают через сито № 008. Просеивание считается законченным, если в течение 1 минуты через сито не проходит более чем 0,5 г цемента. По окончании просеивания остаток на сите взвешивают с точностью до 0,01 г.

Тонкость помола по удельной поверхности определяется методом воздухопроницаемости. Этот метод основан на измерении сопротивления, которое оказывает слой уплотненного материала просасываемому воздуху. Для измерения используют прибор Т-3.

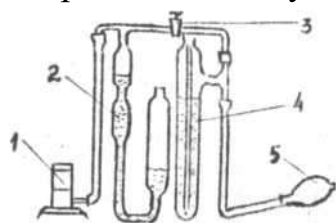


Рис. 2.6. Прибор для определения удельной поверхности:

- 1 - гильза с перфорированным диском и плунжером;
- 2 - манометр-аспиратор;
- 3 - кран; 4 - регулятор разряжения;
- 5 - источник разряжения

Гильза предназначена для размещения и уплотнения навески материала. Манометр-аспиратор служит для создания разряжения, вызывающего просасывание воздуха через слой порошка, находящегося в гильзе. На одном колене манометра-аспиратора имеются два расширенных участка: верхнее расширение предназначено для измерений порошков с большой удельной поверхностью, а нижнее с малой удельной поверхностью. Над расширенным участком и под ним нанесены метки. Регулятор разряжения

заполняют насыщенным раствором поваренной соли в таком количестве, чтобы при включении водоструйного насоса в манометре-аспираторе могла подняться вода выше верхнего расширения.

Перед испытанием цемент, высушенный в течение 2 часов при 105-110°C, просеивают через сито 09. Прибор проверяют на герметичность. Для этого плотно закрывают сверху гильзу, создают разрежение в манометре-аспираторе и закрывают кран. Если уровень жидкости в манометре-аспираторе не опускается, то герметичность соединения обеспечена. В противном случае нужно найти место прососа воздуха и добиться герметичности.

Из высушенной пробы цемента берут навеску, величину которой рассчитывают по формуле:

$$G = \rho V(1 - k),$$

где ρ – плотность цемента, г/см³;

V – объем слоя цемента в гильзе (7,5 см³);

k – коэффициент пористости цемента (0,48±0,01).

Для очень тонко молотого цемента, а также цементов с кремнеземистыми и карбонатными добавками величину навески следует подбирать опытным путем так, чтобы при уплотнении плунжером в гильзе получился плотный слой. В этом случае величину коэффициента пористости вычисляют по формуле:

$$k = (\rho V - G) / \rho V.$$

Перед тем как поместить цемент в гильзу, на перфорированный диск кладут кружок фильтровальной бумаги. Затем высыпают навеску в гильзу, повторным встряхиванием уплотняют цемент, сверху кладут другой кружочек фильтровальной бумаги и уплотняют цемент плунжером так, чтобы упорное кольцо плунжера пришло в соприкосновение с верхним краем гильзы. Водоструйным насосом создают разрежение, вода в манометре-аспираторе поднимается выше верхней метки. Кран закрывают. Уровень жидкости начинает опускаться, когда он дойдет до отметки над верхним расширением, пускают в ход секундомер и останавливают его на уровне метки между двумя расширениями. Определение продолжительности просасывания воздуха для одной и той же навески производят дважды и для расчетов берут среднее арифметическое значение. При измерениях, требующих повышенной точности, необходимо сделать 2-3 повторных определения с отдельными навесками.

Если уровень жидкости понижается слишком быстро, что не позволяет точно фиксировать момент прохода мениска жидкости против первой метки (выше верхнего расширения), для измерения следует пользоваться нижним расширением манометра-аспиратора.

Удельную поверхность цемента вычисляют по формуле:

$$S = \frac{N}{\rho} \sqrt{\frac{k^3}{(1-k)^2}} \sqrt{\frac{1}{\eta}} \sqrt{t},$$

где N – постоянная прибора, указанная в паспорте отдельно для работы с верхним расширением манометра-аспиратора и с нижним расширением;

η – плотность воздуха при температуре опыта, пз;

t – время снижения уровня жидкости от верхней до нижней отметки, с.

Числовые значения $\sqrt{\frac{1}{\eta}}$ при различных температурах и числовые значения $\sqrt{\frac{k^3}{(1-k)^2}}$, в зависимости от К приведены в таблицах (см. приложения к прибору).

Результаты определений удельной поверхности округляют до целых десятков квадратных сантиметров и заносят в табл. 2.12.

Таблица 2.12 Результаты определения удельной поверхности цемента

Вид цемента	Навеска, г	Плотность, г/см ³	Коэффициент пористости	Вязкость воздуха ПЗ	Постоянная прибора	Удельная поверхность, см ² /г
-------------	------------	------------------------------	------------------------	---------------------	--------------------	--

В выводах указывают среднее значение удельной поверхности цемента и преобладающий размер частиц.

2.3.4. Определение нормальной густоты цементного теста

Под нормальной густотой подразумевают такую консистенцию цементного теста, которая обеспечивает его удобообрабатываемость и подвижность. Нормальная густота цементного теста характеризуется количеством воды затворения в % от массы цемента и составляет для портландцемента 22-28%.

Для процесса гидратации цемента требуется значительно меньшее количество воды, чем для получения теста нормальной густоты. Нормальная густота зависит от химико-минералогического состава клинкера, тонкости помола и наличия в цементе гидравлических добавок. Из клинкерных минералов наибольшей видопотребностью обладает трехкальциевый алюминат, а наименьшей – двухкальциевый силикат. Высокая дисперсионность цемента увеличивает водопотребность, так как возрастает общая величина поверхности частиц, которую необходимо смочить. Введение гидравлических добавок также увеличивает водопотребность, так как эти добавки имеют обычно весьма развитую поверхность.

По сравнению с другими вяжущими материалами цемент обладает наиболее низкой водопотребностью.

Определение нормальной густоты цементного теста выполняется по ГОСТ 310.3-76 на приборе Вика с цилиндрическим стержнем (диаметр 10 мм) вместо иглы. Масса подвижной части прибора вместе с пестиком должна составлять 300 ± 2 г, цена деления шкалы – 1 мм. Поверхность пестика должна быть гладкой и чистой.

Затворение цемента производят в чаше сферической формы специальным скребком. Порцию цемента (400 г) помещают в чашу, предварительно протертую влажной тканью, делают в цементе углубление, куда в один прием вливают воду, отмеренную с точностью до 0,6 мл. После этого углубление немедленно засыпают цементом и через 30 сек. после добавления воды сначала осторожно, а

затем энергично перемешивают тесто мешалкой. Перемешивание цемента с водой производят в течение 5 минут, считая от момента приливания воды.

Перед испытанием необходимо проверить, насколько свободно опускается стержень приборами показания самого прибора. Пестик, кольцо и пластину протирают машинным маслом.

Наполненное в один прием цементным тестом кольцо 5-6 раз встряхивают, постукивая пластинку о твердое основание. Затем смоченным ножом срезают избыток теста и заглаживают поверхность его вровень с краями кольца. Немедленно после этого приводят пестик в центре кольца в соприкосновение с поверхностью теста и закрепляют стержень стопорным устройством, затем быстро освобождают его и предоставляют пестик свободно погружаться в тесто. Через 30 сек. с момента освобождения стержня производят отчет погружения по шкале. Если пестик погружается ниже 6 мм или выше 7 мм, изменяют количество воды и вновь готовят тесто, добиваясь консистенции, соответствующей требованиям стандартов. Количество добавляемой воды для получения теста нормальной густоты выражают в процентах от массы цемента и определяют с точностью до 0,25%. Результаты определений нормальной густоты цемента заносят в табл. 2.13.

Таблица 2.13

Номер определения нормальной густоты цементного теста	Масса цемента	Количество воды		Пестик не доходит до поверхности пластины, мм	Нормальная густота цементного теста, %
		%	мл		

В выводах отражают значение нормальной густоты цементного теста и соответствие требованиям ГОСТа.

2.3.5. Определение сроков схватывания цемента

Скорость схватывания цемента – важная его характеристика. Схватыванием называется процесс, при котором относительно подвижная смесь цемента с водой постепенно густеет и приобретает такую начальную прочность, когда ее механическая переработка затрудняется. Поэтому вяжущие вещества должны характеризоваться такими сроками схватывания, которые дают возможность готовить растворные и бетонные смеси и использовать их в строительстве. Если цемент схватывается очень быстро, то его необходимо как можно быстрее транспортировать и укладывать после затворения водой. При промедлении цементный раствор может загустеть, потерять пластичность. Если его снова перемешать, то первоначальное структурообразование будет нарушено и прочность раствора понизится. Использование медленно схватывающихся цементов замедляет темпы строительства. Поэтому как слишком быстрое, так и слишком медленное схватывание цемента является существенным недостатком.

Скорость схватывания цемента зависит от ряда факторов. Большое влияние

оказывает содержание трехкальциевого алюмината, повышение содержания которого ускоряет схватывание. Более тонкий помол, повышение температуры также ведут к ускорению схватывания. Повышение количества воды затворения, снижение температуры замедляют схватывание. Для замедления сроков схватывания к клинкеру добавляют двуводный гипс в таком количестве, чтобы содержание SO_3 в цементе было не менее 1,5 и не более 3,5%. Величина дозировки гипса зависит от количества трехкальциевого алюмината. Чем больше в клинкере C_3A , тем больше требуется гипса.

Большое значение имеет нагревание цемента при помоле, так как при температуре выше $100^\circ C$ двуводный гипс переходит в более растворимый полуводный, наличие которого в цементе вызывает ложное схватывание, т.е. быстрое загустевание. Это загустевание можно ликвидировать только дополнительным перемешиванием. Явление ложного схватывания приводит к нежелательным последствиям при транспортировке раствора по трубам.

Сроки схватывания согласно ГОСТ 310.3-76 определяют с помощью прибора Вика. При этом испытании пестик заменяют иглой (диаметр $1,1 \pm 0,4$ мм, длина 50 мм). Игла не должна иметь никаких искривлений, поверхность ее должна быть гладкой и чистой. Масса всей перемещающейся части прибора должна составлять 300 ± 2 г.

Для определения сроков схватывания используют тесто нормальной густоты. Сразу после приготовления теста его помещают в кольцо прибора Вика, установленное на стеклянной пластинке, и слегка встряхивают 5-6 раз для удаления воздуха. Избыток теста снимают ножом, и поверхность выравнивают. Кольцо с цементным тестом устанавливают на столик прибора, опускают стержень до соприкосновения иглы с поверхностью теста и закрепляют стержень винтом. Затем быстро отвинчивают зажимной винт, чтобы игла могла свободно погрузиться в тесто. Иглу погружают в тесто через каждые 5 мин до начала схватывания и через каждые 10-15 мин в последующее время до конца схватывания. Место погружения иглы в тесто меняют, передвигая кольцо, иглу вытирают мягкой тканью или фильтровальной бумагой.

За начало схватывания принимают время с момента затворения цемента водой до момента, когда игла не дойдет до стеклянной пластинки на 1-2 мм. За конец схватывания принимают время от начала затворения цементного теста до момента, когда игла будет опускаться в тесто не более чем на 1-2 мм. Начало схватывания портландцемента, портландцемента с минеральными добавками, шлакопортландцемента и пуццоланового портландцемента должно наступить не ранее чем через 45 мин, а конец схватывания – не позднее 10 ч с момента затворения цементного теста. Определение сроков схватывания производят при температуре $20 \pm 5^\circ C$.

Результаты определений заносят в табл. 2.14.

Таблица 2.14 Результаты определения сроков схватывания цемента

Наименование цемента	Время			Сроки схватывания	
	затворения водой, ч. мин.	при котором игла не доходит до дна на 1-2 мм, ч. мин.	при котором игла опускается в тесто не более 1-2 мм, ч. мин	начало	конец

По результатам опытов делается вывод о соответствии цемента требованиям стандарта.

2.3.6. Определение равномерности изменения объема цемента

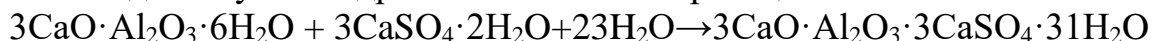
Процесс твердения цемента сопровождается изменением объема образовавшегося цементного камня. Однако иногда у цементов наблюдается значительное неравномерное изменение объема после схватывания, что сопровождается появлением трещин в затвердевшей массе.

Неравномерность изменения объема цементов может быть вызвана:

- гидратацией свободного оксида кальция при содержании его в клинкере более 1,5-2%;
- гидратацией свободного оксида магния, присутствующего в клинкере в виде высокотемпературной медленно гасящейся формы-периклаза;
- образованием в твердеющем цементе высокосульфатной формы гидросульфатоалюмината кальция при повышенном содержании в клинкере и при избыточном введении гипса в портландцемент при его помоле (содержание в цементе более 3,5%)

Оксид кальция, оставшийся неусвоенным в процессе обжига клинкера, является очень медленно гасящимся, так как при температуре 1450° он обожжен "намертво". Поэтому его гашение будет происходить не в момент затвердения цемента, а значительно позже, когда цемент уже затвердеет. Гашение же извести сопровождается увеличением в объеме, что вызывает местные напряжения. Величина последних может быть иногда такой большой, что возникают трещины. Аналогичное действие оказывает и содержащийся в цементе оксид магния.

Неравномерное изменение объема вследствие избытка SO₃, объясняется следующим образом. Когда цемент смешивают с водой, то содержащийся в нем гипс взаимодействует с гидроалюминатами по реакции:



Продукт реакции – гидросульфатоалюминат кальция, занимает больший объем, чем исходные вещества. Если он образуется в первые часы после затвердения цемента, когда тесто может пластически деформироваться, то увеличение объема не вызывает вредных последствий. При избытке гипса, когда он не может полностью связаться в период схватывания, вышеуказанная реакция будет происходить в уже затвердевшем цементном камне, не способном к пластической деформации. Поэтому кристаллизационное давление

образующегося гидросульфоалюмината способно вызывать разрушение цементного камня.

Содержание свободного оксида кальция в цементе стандартом не регламентируется. При избыточном количестве его отрицательное влияние легко определяется по поведению цементных образцов при нагревании их в кипящей воне.

По ГОСТ 31108-2020 в исходном клинкере всех разновидностей портландцемента допускается содержание MgO не более 5%.

Неравномерность изменения, объема из-за избытка гипса нельзя точно определить ни одним из методов, однако повиданное количество сернокислых содержаний в цементе (в том числе и гипса) можно установить достаточно быстро химическим анализом.

Для испытания на равномерность изменения объема по ГОСТ 310.3-76 берут 400 г цемента и готовят лепешки по 75 г каждая из цементного теста нормальной густоты. Помещают последние в виде шариков на отдельную стеклянную пластинку, предварительно протертую машинным маслом. Осторожно постукивая пластинкой о край стола, получают из шарика лепешку диаметром 7-8 см и толщиной в средней ее части около 1 см. Поверхность полученных лепешек заглаживают от наружных краев к центру смоченным в воде ножом. Приготовленные таким образом лепешки выдерживают на стеклянных пластинках 24 ± 2 часа и хранят во влажной среде в ванне с гидравлическим затвором. После этого лепешки испытывают на равномерность изменения объема в горячих пробах (кипячение). Лепешки помещают в бачок с водой на решетку, которая должна находиться на расстоянии не менее 5 см от дна бачка. Вода должна покрывать лепешки на 4-6 см. Воду в бачке нагревают до кипения в течение 30-45 минут и кипятят в течение 3 часов. После этого лепешки в бачке охлаждают и осматривают. Если на лепешках не обнаружено радиальных, доходящих до краев трещин, сетки мелких трещин и искривлений, то цемент отвечает требованиям стандарта в отношении равномерности изменения объема.

2.3.7. Определение предела прочности цемента при изгибе и сжатии

Качество цемента как строительного материала определяется, в первую очередь, его механической прочностью в затвердевшем виде.

Прочность цемента характеризуется его маркой, которая определяется пределом прочности при изгибе и сжатии образцов, изготовленных по ГОСТ 310.4-81 и испытанных через 28 сут с момента изготовления, а быстротвердеющего портландцемента через 3 и 29 суток.

По минералогическому составу исходного клинкера можно судить об ожидаемой прочности и скорости ее растания. Влияют на прочность также размеры и структура клинкерных минералов, тонкость помола, количество добавок, температура твердения и ряд других факторов.

Наибольшую скорость твердения цемента обеспечивает, в первую очередь, трехкальциевый силикат (алит). Способствует быстрому твердению

также и трехкальциевый алюминат. Самое медленное твердение характерно для двухкальциевого силиката (белита), однако по истечении продолжительного времени прочность его приближается к прочности алитового цемента. Гидратация четырехкальциевого алюмоферрита протекает медленнее, чем гидратация трехкальциевого алюмината, но быстрее, чем гидратация силикатов кальция.

Более тонкий помол цемента ускоряет твердение, повышает прочность в первые сроки, но до некоторого предела. При достижении удельной поверхности около $6000 \text{ см}^2/\text{г}$ дальнейшего роста прочности не происходит. Может даже наблюдаться снижение прочности вследствие очень высокой водопотребности цемента.

Введение в портландцемент небольшого количества гидравлических добавок не оказывает существенного влияния на прочность, поэтому ГОСТ 31108-2020 разрешает введение в портландцемент до 20% этих добавок. При большем количестве добавок цемент будет называться пуццолановым.

Твердение портландцемента можно ускорить введя некоторые добавки, например, хлористый кальций, который, быстро взаимодействуя с трехкальциевым алюминатом, образует $3\text{CaO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot \text{CaCl}_2 \cdot \text{H}_2\text{O}$, что повышает в первые сроки прочность твердения цемента.

Согласно ГОСТ 310.4-81 для определения прочностных характеристик цемента изготавливаются образцы-блочки размером $40 \times 40 \times 160 \text{ мм}$ из раствора 1:3 (1 масс. часть цемента, 3 масс. части нормального Вольского песка) при установленном водоцементном отношении, которое обеспечивает пластичную консистенцию, характеризуемую расплывом конуса на встряхивающем столике $106-115 \text{ мм}$. Для этого отвешивают 1500 г песка и 500 г испытываемого цемента и высыпают их в предварительно протертую мокрой тканью сферическую чашку. Цемент с песком перемешивают 2 минуты. Затем в центре сухой смеси делают лунку, вливают в нее воду в количестве 200 мл (В/Ц-0,4) и дают ей впитаться в течение $0,5 \text{ мин}$, после чего смесь перемешивают вручную в течение 1 минуты.

Подготовленный таким образом раствор переносят в предварительно протертую влажной тканью чашу мешалки и перемешивают в ней в течение $2,5 \text{ минут}$ (20 оборотов чаши мешалки). Как исключение, возможно ручное перемешивание смеси продолжительностью не менее 5 минут. По окончании перемешивания определяют консистенцию раствора. Для этого применяют встряхивающий столик, в направляющую втулку которого вставлен стержень со столиком. На столике закреплен диск из шлифованного стекла диаметром 300 мм . Стержень столика упирается в кулачок, при вращении кулачка столик поднимается на 10 мм и резко падает. На стекло столика ставят коническую форму с загрузочной воронкой. Внутреннюю поверхность конуса и стекло перед укладкой раствора протирают влажной тканью.

Для определения консистенции раствора укладывают в форму конус в два приема (слоями равной толщины). Каждый слой уплотняют штыковой диаметром 20 мм и массой $350 \pm 20 \text{ г}$, изготовленной из нержавеющей стали. Нижний слой штыкуют 15 раз, верхний – 10 раз. Излишек раствора срезают ножом и металлическую форму-конус снимают в вертикальном направлении.

Полученный конус цементного раствора встряхивают на столике 30 раз в течение 30 ± 5 секунд. Затем штангенциркулем или металлической линейкой измеряют диаметр конуса по нижнему основанию в 2 взаимно перпендикулярных направлениях и берут среднее значение.

Консистенция раствора считается нормальной, если расплыв конуса составляет 106-115 мм. Если расплыв конуса менее 106 мм или раствор при встряхивании рассыпается, готовят новую порцию раствора с увеличенным количеством воды до получения расплыва конуса 106-115 мм. Если расплыв конуса более 115 мм, то испытание повторяют с меньшим количеством воды. Водоцементное отношение, полученное при достижении расплыва конуса 106-115 мм, принимают для проведения дальнейших испытаний. Запись о потребном количестве воды, выраженном в виде водоцементного отношения, заносят в табл. 2.15.

Таблица 2.15 Результаты определения нормальной консистенции цементного раствора

Вид цемента	Масса цемента, г	Количество воды, мл	Расплыв конуса, мм	Водоцементное отношение
-------------	------------------	---------------------	--------------------	-------------------------

Изготовление образцов-балочек

Раствор для трех образцов-балочек готовят так же, как и для определения нормальной консистенции. На каждый намеченный срок испытания изготавливают по три образца. Для уплотнения раствора формы балочек с насадкой закрепляют на виброплощадке. Смазанные машинным маслом формы наполняют приблизительно на 1 см раствором и включают вибрационную машинку, затем в течение 2 минут вибрации все три гнезда формы равномерно небольшими порциями, окончательно заполняют раствором. По истечении 3 минут от начала вибрации виброплощадку отключают. Сняв форму с виброплощадки, срезают смоченным водой ножом излишек раствора, зачищают поверхность образцов вровень с краями и маркируют их. После изготовления образцы в формах хранят 24 ± 2 часа в ванне с гидравлическим затвором, затем осторожно расформовывают и укладывают образцы в ванны с питьевой водой в горизонтальном положении таким образом, чтобы они не соприкасались друг с другом. Вода должна покрывать образцы не менее чем на 2 см. Воду следует менять через каждые 14 суток. Температура воды при замене и хранении образцов должна быть $20 \pm 2^\circ\text{C}$.

Образцы, не достигшие через 24 ± 2 часа достаточной прочности, допускается вынимать из формы через 48 часов.

По истечении срока хранения образцы вынимают из воды и не позднее чем через 1 час подвергают испытанию. Непосредственно перед испытанием образцы должны быть насухо вытерты.

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

Образцы-балочки испытывают на изгиб на приборах, обеспечивающих

нарастание нагрузки в среднем 50 ± 10 Н в секунду. Образец устанавливают на опорные элементы машины таким образом, чтобы его горизонтальные грани находились в машине в вертикальном положении. Испытание образцов и расчет предела прочности при изгибе производят в соответствии с инструкцией, прилагаемой к машине. Предел прочности при изгибе испытываемого цемента вычисляют как среднее арифметическое из 2 наибольших результатов испытания 3 образцов.

Полученные после испытания на изгиб в результате излома шесть половинок белочек сразу же подвергаются испытанию на сжатие. Каждую половинку балочки помещают между двумя пластинами таким образом, чтобы боковые грани, которые при изготовлении прилегали к продольным стенкам формы, находились на плоскостях пластинок, а упоры пластинок плотно прилегали к торцевой гладкой стенке образца. Образец вместе с пластинками подвергают сжатию на прессе. Скорость увеличения нагрузки должна быть равномерной – около 5 кН/с (20 ± 5 кгс/см²). Предел прочности при сжатии отдельного образца вычисляют как частное от деления разрушающей нагрузки (в кг) на рабочую площадь пластинки (см²), т.е. на 25 см². Среднее значение вычисляют из 4 наибольших результатов.

Результаты испытаний заносят в табл. 2.16.

Таблица 2.16 Результаты определения механической прочности образцов из цементного раствора

Дата		Срок твердения образцов	Номер образца	Предел прочности образцов МПа, кгс/см ²		Марка цемента
изготовления образца	испытания образца			при изгибе	при сжатии	

В выводах указывается соответствие цемента требованиям стандарта и его марки.

Вопросы для самопроверки

1. Классификация цементов.
2. Что такое клинкер? Сырьевые материалы для его получения.
3. Химический состав клинкера, роль отдельных оксидов и их влияние на свойства.
4. Основные минералы клинкера и их свойства.
5. Реакции взаимодействия с водой клинкерных материалов.
6. Роль гипса как добавки при помоле клинкера.
7. Суть теории твердения портландцемента.
8. По каким нормируемым показателям оценивается качество цемента?
9. Как определить плотность и объемную массу цемента? Практическое значение этих свойств.
10. Тонкость помола цементного клинкера, методы ее определения.
11. До какой удельной поверхности размалывают цементы разных видов?
12. Что такое нормальная плотность цементного теста? Факторы, влияющие на это свойство цемента.

13. Начало и конец схватывания цемента и их роль в технологических процессах.
14. Причина неравномерного изменения объема при твердении цемента.
15. Как проводятся испытания цемента на равномерность изменения объема и оценивается это свойство?
16. Как определяется нормальная консистенция цементного раствора?
17. Что такое марка цемента? Как ее установить?

Перечень рекомендованной литературы

1. Дворкин, Л.И. Строительные минеральные вяжущие материалы: учебно-практическое пособие / Л. И. Дворкин, О. Л. Дворкин. – Москва : Инфра-Инженерия, 2013. – 544 с. – ISBN 978-5-9729-0035-0. – Текст : электронный // Электронно-библиотечная система IPR BOOKS : [сайт]. – URL: <http://www.iprbookshop.ru/13559.html>
2. Жерновая, Н. Ф. Химическая Технология вяжущих веществ и стеклокристаллических материалов / Н. Ф. Жерновая, Н. И. Минько, О.А. Добринская. – Белгород : Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова, ЭБС АСВ, 2018. — 324 с. — Текст : электронный // Электронно-библиотечная система IPR BOOKS : [сайт]. — URL: <https://www.iprbookshop.ru/92308.html>
3. Расчеты в технологии керамики, стекла и вяжущих материалов: учебное пособие / С.И. Нифталиев, И.В. Кузнецова, Л.В. Лыгина, Е.М. Горбунова. – Воронеж: Воронежский государственный университет инженерных технологий, 2019. – 52 с. – ISBN 978-5-00032-426-4. — Текст: электронный // Электронно-библиотечная система IPR BOOKS: [сайт]. – URL: <http://www.iprbookshop.ru/95376.html>
4. Бутт Ю.М., Сычев М.М., Тимашев В.В. Химическая технология вяжущих материалов — М.: Высшая школа, 1980. – 472 с.
5. Расчеты в технологии керамики, стекла и вяжущих материалов : учебное пособие / С. И. Нифталиев, И. В. Кузнецова, Л. В. Лыгина, Е. М. Горбунова. – Воронеж : Воронежский государственный университет инженерных технологий, 2019. — 52 с. — ISBN 978-5-00032-426-4. – Текст : электронный // Электронно-библиотечная система IPR BOOKS : [сайт]. – URL: <http://www.iprbookshop.ru/95376.html>
6. Сулименко, Л. М. Технология производства минеральных вяжущих материалов: учебное пособие / Л.М. Сулименко, Т.Н. Акимова, А.А. Макаева; под редакцией А. А. Макаева. — Оренбург : Оренбургский государственный университет, ЭБС АСВ, 2016. — 156 с. — ISBN 978-5-7410-1694-7. — Текст : электронный // Электронно-библиотечная система IPR BOOKS : [сайт]. — URL: <http://www.iprbookshop.ru/69959.html>
7. Гуляян Ю.А. Технология вяжущих веществ и стеклоизделий. Владимир: Транзит-Икс, 2003. – 480 с.
8. Химическая Технология вяжущих веществ и ситаллов: учебное пособие / О.В. Казьмина, Э.Н. Беломестнова, А.А. Дитц; Томский политехнический университет. – Томск: Изд-во Томского политехнического университета, 2011. – 170 с.

МЕТОДИЧЕСКИЕ РЕКОМЕНДАЦИИ
к выполнению лабораторных работ по дисциплине
«Химическая технология вяжущих веществ»

Составители:

Беломеря Николай Иосифович – кандидат технических наук, профессор кафедры прикладной экологии и охраны окружающей среды ГОУВПО «ДОННТУ»;
Горбатко Сергей Витальевич – кандидат технических наук, доцент кафедры прикладной экологии и охраны окружающей среды ГОУВПО «ДОННТУ».

Ответственный за выпуск:

Шаповалов Валерий Васильевич – доктор химических наук, профессор, заведующий кафедрой «Прикладная экология и охрана окружающей среды» ГОУВПО «ДОННТУ».