



МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ  
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение  
высшего профессионального образования  
«МОСКОВСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ СТРОИТЕЛЬНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ»

Кафедра строительных материалов

# НЕОРГАНИЧЕСКИЕ ВЯЖУЩИЕ ВЕЩЕСТВА

Методические указания  
к выполнению лабораторных работ и домашнего задания  
для студентов всех направлений и уровней подготовки,  
реализуемых МГСУ

Москва 2015

МАТЕРИАЛОВЕДЕНИЕ

УДК 691.5  
ББК 38.3  
Н52

Рецензент  
доктор технических наук *А.Ф. Бурьянов*,  
профессор кафедры технологии вяжущих веществ и бетонов

Составители:  
кандидат технических наук *В.С. Семенов*;  
кандидат технических наук *Н.А. Сканави*;  
кандидат технических наук *Б.А. Ефимов*

Под редакцией:  
доктора технических наук *Д.В. Орешкина*

Н52      **Неорганические** вяжущие вещества : методические указания к выполнению лабораторных работ и домашнего задания для студентов всех направлений и уровней подготовки, реализуемых МГСУ / М-во образования и науки Рос. Федерации, Моск. гос. строит. ун-т, каф. строительных материалов ; сост. В.С. Семенов, Н.А. Сканави, Б.А. Ефимов ; под ред. Д.В. Орешкина. Москва : МГСУ, 2015. 56 с.

Приведены общие сведения об основных вяжущих веществах – воздушной извести, гипсовых вяжущих, портландцементе и его разновидностях, глиноземистом цементе – сырье, основах технологии производства, составе, нормируемых показателях качества, свойствах и областях применения. Рассмотрены стандартные методы испытания гипсовых вяжущих и портландцемента.

Для студентов бакалавриата и специалитета всех направлений, изучающих дисциплины «Строительные материалы», «Материаловедение», «Архитектурное материаловедение», «Основы строительного дела Ъ» и др.

УДК 691.5  
ББК 38.3

## 1. ОБЩИЕ СВЕДЕНИЯ

**Вяжущие вещества** используются для получения широкого спектра строительных материалов: бетонов, строительных растворов, сухих строительных смесей, гидроизоляционных, кровельных, теплоизоляционных, полимерных материалов и др. Вяжущие вещества обладают ценным свойством – соединяют отдельные компоненты материала (например, зерна песка, гравия, щебня в бетоне) в единое целое.

По составу вяжущие вещества делят на две группы:

- **Неорганические** (минеральные), которые затворяют водой, реже – водными растворами солей. К ним относятся известь, цементы, гипсовые вяжущие, жидкое стекло, магнезиальные вяжущие и др.
- **Органические**, переводимые в рабочее состояние нагреванием или растворением в органических растворителях (битумы, полимеры). Для этой группы часто применяется термин «*связующее*».

**Неорганические вяжущие вещества** – порошкообразные материалы, которые при смешивании с водой образуют пластично-вязкое тесто, способное со временем самопроизвольно затвердевать в результате физико-химических процессов. Это свойство широко используют при изготовлении искусственных безобжиговых материалов: бетонов, строительных растворов, силикатного кирпича, асбестоцементных изделий, гипсокартонных листов и др.

Неорганические вяжущие вещества по условиям твердения и водостойкости делятся на три группы:

- **Воздушные вяжущие вещества** способны затвердевать и длительно сохранять прочность только на воздухе. К ним относятся воздушная строительная известь, гипсовые вяжущие, магнезиальные вяжущие, жидкое стекло.
- **Гидравлические вяжущие вещества** способны твердеть и длительно сохранять прочность (или даже повышать ее) не только на воздухе, но и в воде. К гидравлическим вяжущим относятся портландцемент и его разновидности, глиноземистый цемент и его разновидности.
- **Вяжущие вещества автоклавного твердения** эффективно твердеют (быстро набирают прочность) только в среде насыщенного водяного пара в автоклавах (при температуре 175...200°C и давлении 0,8...1,3 МПа). К ним относятся известково-кремнеземистые, известково-золевые, известково-шлаковые вяжущие, нефелиновый цемент и др.

## 2. ВОЗДУШНАЯ СТРОИТЕЛЬНАЯ ИЗВЕСТЬ

### 2.1. Общие сведения

**Воздушная известь** – воздушное вяжущее вещество, получаемое в результате умеренного обжига (ниже температуры спекания) кальцево-магниевого карбонатных горных пород.

Известь – древнейшее вяжущее вещество, которое было известно за несколько тысяч лет до нашей эры.

**Сырьем** для производства воздушной извести служат известняки, мел, доломитизированный известняк, доломит с содержанием глинистых примесей не более 6%. Основной составляющей известняка и мела является минерал кальцит  $\text{CaCO}_3$ , доломита – минерал доломит  $\text{CaCO}_3 \cdot \text{MgCO}_3$ .

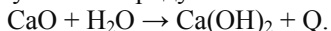
**Производство и виды извести.** Технология производства воздушной извести включает добычу сырья, его подготовку (дробление, сортировку по крупности и др.), обжиг, гашение извести или помол, упаковку готового продукта.

На обжиг известняк поступает в виде кусков размером 8...20 см. Обжиг производят в шахтных или вращающихся печах при температуре 900...1200°C до возможно более полного удаления  $\text{CO}_2$  по реакциям:  $\text{CaCO}_3 \rightarrow \text{CaO} + \text{CO}_2 \uparrow$ ,  $\text{MgCO}_3 \rightarrow \text{MgO} + \text{CO}_2 \uparrow$ .

Выделяющийся при термической диссоциации  $\text{CaCO}_3$  углекислый газ  $\text{CO}_2$  составляет 44% от массы  $\text{CaCO}_3$ , поэтому образующаяся **комовая негашеная известь** ( $\text{CaO} + \text{MgO}$ ) получается в виде пористых кусков, активно взаимодействующих с водой. Комовая известь – это полуфабрикат, из которого получают вяжущее – молотую негашеную известь или гашеную известь.

**Молотая негашеная известь** – порошок, получаемый тонким помолом комовой извести (без предварительного гашения).

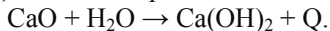
Процесс взаимодействия извести с водой называется гашением, а получаемый продукт – **гашеной известью**:



Воздушная известь – единственное вяжущее, которое можно перевести в тонкодисперсное состояние не только помолом, но и гашением (химическим диспергированием). Гашение извести протекает с выделением такого большого количества теплоты (1163 кДж/кг), что смесь закипает, поэтому комовую негашеную известь называют также **известью-кипелкой**. Из-за испарения воды при «закипании» смеси гашеная известь самопроизвольно рассыпается («распушивается») в тонкодисперсный порошок с размером частиц 5...20 мкм,

который называют *известью-пушонкой*, или *гидратной известью*. Если известь гасится в избытке воды, получают известковое тесто (2–3 части воды на 1 часть извести-кипелки), или известковое молоко (более трех частей воды).

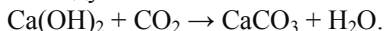
**Твердение извести.** Строительные растворы на *молотой негашеной извести* быстро схватываются и отвердевают вследствие *гидратационного твердения*:



При правильно подобранном водоизвестковом отношении  $V/I=0,9-1,5$ , кристаллы гидроксида кальция срастаются между собой и быстро образуют достаточно прочный камень.

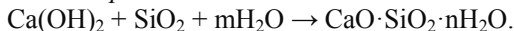
**Твердение гашеной извести** происходит медленно, на воздухе и обусловлено двумя одновременно протекающими процессами:

- *высыханием раствора*, сближением кристаллов  $\text{Ca}(\text{OH})_2$  и их срастанием;
- *карбонизацией* извести под действием углекислого газа, содержащегося в воздухе:



Образующиеся кристаллы  $\text{CaCO}_3$  срастаются с кристаллами  $\text{Ca}(\text{OH})_2$ , повышая прочность известкового камня. Твердение известковых растворов ускоряется сушкой.

При производстве автоклавных силикатных изделий (силикатного кирпича, автоклавных ячеистых бетонов и др.) из смесей, содержащих известь, молотый кварцевый песок и воду, имеет место *гидросиликатное твердение извести*:



При повышенной температуре в автоклаве известь взаимодействует с диоксидом кремния  $\text{SiO}_2$  (в виде молотого песка), с образованием малорастворимых в воде низкоосновных гидросиликатов кальция различного состава, обуславливающих прочность и водостойкость силикатных изделий.

## 2.2. Показатели качества и свойства

К основным **нормируемым показателям качества** воздушной извести относят: активность, количество непогасившихся зерен (недожог и пережог) и время гашения.

**Активность** – процентное содержание оксидов, способных гаситься. Чем выше содержание основных оксидов в извести ( $\text{CaO}+\text{MgO}$ ), тем выше её сорт и пластичнее известковое тесто.

В зависимости от содержания MgO в обожженном продукте воздушную известь подразделяют на:

- кальциевую:  $MgO \leq 5\%$ ;
- магнезиальную:  $5\% < MgO \leq 20\%$ ;
- доломитовую:  $20\% < MgO \leq 40\%$ .

Частицы недожога и пережога снижают качество извести. Частицы **недожога** (неразложившиеся при обжиге зерна сырья) отошают известковое тесто, снижают его пластичность. Частицы **пережога** (остеклованные плотные трудногасящиеся оксиды кальция и магния) крайне медленно гидратируются с увеличением своего объема, что может вызвать растрескивание известковой штукатурки. Воздушная известь должна выдерживать испытание на равномерность изменения объема.

По активности, содержанию непогасившихся зерен и другим показателям химического состава воздушная строительная известь делится на 3 сорта (табл. 2.1).

Таблица 2.1

**Требования к химическому составу негашеной извести**

Наименование показателя	Норма для извести, %, по массе		
	сорт		
	1	2	3
Содержание активных (CaO+MgO), % по массе, не менее	90 (85)	80 (75)	70 (65)
Содержание непогасившихся зерен, % по массе, не более	7 (10)	11 (15)	14 (20)
Содержание CO <sub>2</sub> в составе извести, % по массе, не более	3 (5)	5 (8)	7 (11)

**П р и м е ч а н и е.** В скобках указаны характеристики магнезиальной и доломитовой извести.

**Степень дисперсности** порошкообразной воздушной извести должна быть такой, чтобы при просеивании пробы извести сквозь сито с сетками № 02 (200 мкм) и №008 (80 мкм) проходило соответственно не менее 98,5 и 85 % массы просеиваемой пробы.

**Истинная плотность** негашеной извести колеблется в пределах 3100...3300 кг/м<sup>3</sup>. **Насыпная плотность** молотой негашеной извести в рыхлонасыпном состоянии 900...1100 кг/м<sup>3</sup>, в уплотненном – 1100...1300 кг/м<sup>3</sup>; для гидратной извести в рыхлонасыпном состоянии – 400...500 кг/м<sup>3</sup>, в уплотненном – 600...700 кг/м<sup>3</sup>.

Воздушную негашеную известь в зависимости от *времени гашения* подразделяют на 3 группы (табл.2.2).

Таблица 2.2

### Классификация извести по времени гашения

Группа извести	Время гашения извести
Быстрогасящаяся	не более 8 мин.
Среднегасящаяся	не более 25 мин.
Медленногасящаяся	более 25 мин.

**Влажность** гидратной извести не должна быть более 5%. Содержание гидратной воды в негашеной извести не должно быть более 2%.

Ценнейшее свойство воздушной извести – **высокая пластичность и водоудерживающая способность** известкового теста, обусловленные огромной удельной поверхностью частиц.

**Прочность** известковых растворов невысока: предел прочности при сжатии в возрасте 28 суток воздушного твердения составляет 0,4...1,0 МПа у растворов на гашеной извести и до 5,0 МПа у растворов на молотой негашеной извести. Поэтому в отличие от других вяжущих известь не делится на марки по прочности; прочность воздушной извести не нормируется. При длительном твердении (годы и десятки лет) прочность известковых растворов может увеличиваться до 7...10 МПа вследствие дальнейшей карбонизации и образования гидросиликатов кальция.

В строительстве известь из-за **большой усадки** при твердении и возможного растрескивания применяют только в виде растворов и бетонов, т.е. в смеси с заполнителями.

### 2.3. Применение

Воздушная строительная известь используется при производстве силикатного кирпича и камней, силикатобетонных блоков, плит, панелей автоклавного твердения, изделий из автоклавных ячеистых бетонов, как составная часть смешанных вяжущих (известково-шлаковые, известково-пущоцолановые и др.), при производстве сухих строительных смесей, для изготовления известковых красок.

### 3. ГИПСОВЫЕ ВЯЖУЩИЕ ВЕЩЕСТВА

#### 3.1. Общие сведения

**Гипсовые вяжущие вещества** – это воздушные вяжущие вещества, состоящие в основном из полуводного гипса  $\text{CaSO}_4 \cdot 0,5\text{H}_2\text{O}$  или ангидрита  $\text{CaSO}_4$ .

**Сырьем** для производства гипсовых вяжущих служат мономинеральная горная порода гипс, состоящая из двухводного сульфата кальция  $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ , и природный ангидрит  $\text{CaSO}_4$ , а также отходы химической промышленности, содержащие двухводный или безводный сернокислый кальций, например, фосфогипс (отход при производстве фосфорной кислоты).

**Производство** гипсовых вяжущих состоит в измельчении и последующей тепловой обработке сырья. В зависимости от температуры обжига, гипсовые вяжущие подразделяются на 2 группы:

- Низкообжиговые (температура обжига  $110 \dots 180^\circ\text{C}$ ), составляют более 95% объема производства гипсовых вяжущих веществ;
- Высокообжиговые (температура обжига  $600 \dots 1000^\circ\text{C}$ ).

**Низкообжиговые гипсовые вяжущие** состоят преимущественно из полуводного гипса  $\text{CaSO}_4 \cdot 0,5\text{H}_2\text{O}$ . Дегидратация сырья в процессе термической обработки происходит по реакции:



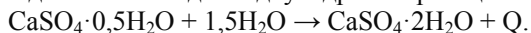
Существуют две технологии получения низкообжиговых гипсовых вяжущих:

- Обжиг сырья в открытых агрегатах – варочных котлах или печах, когда вода в процессе обжига удаляется в виде пара. По такой технологии получают **строительный гипс**, который состоит в основном из мелких кристаллов  $\beta\text{-CaSO}_4 \cdot 0,5\text{H}_2\text{O}$  и обладает высокой водопотребностью. В строительном гипсе может содержаться небольшое количество ангидрита  $\text{CaSO}_4$  (пережог) и частицы неразложившегося сырья  $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$  (недожог). Прочность при сжатии образцов из строительного гипса достигает  $10 \dots 12$  МПа.
- Обжиг сырья в герметически закрытых аппаратах в среде насыщенного пара под давлением. В этом случае вода из гипсовой породы удаляется в капельно-жидком состоянии, а получаемый продукт обжига состоит из крупных плотных кристаллов в виде игл или призм. Эта модификация гипса  $\alpha\text{-CaSO}_4 \cdot 0,5\text{H}_2\text{O}$  называется **высокопрочным гипсом**. Он отличается от  $\beta$ -модификации меньшей водопотребностью, а, следовательно, изделия из такого гипса имеют пониженную пористость и высокую прочность ( $15\text{-}25$  МПа).



**Высокообжиговые гипсовые вяжущие (ангидритовые вяжущие)** состоят преимущественно из ангидрита  $\text{CaSO}_4$  и 3...5%  $\text{CaO}$ , образующегося при разложении  $\text{CaSO}_4$  и выполняющего роль активизатора твердения  $\text{CaSO}_4$ . Ангидритовое вяжущее получают обжигом  $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$  при температуре 600...1000°C, либо помолом природного ангидрита  $\text{CaSO}_4$  с добавками-активизаторами твердения (известью, обожженным доломитом и др.). Высокообжиговый гипс имеет прочность 10...20 МПа, по сравнению с низкообжиговыми гипсовыми вяжущими медленно схватывается и твердеет, но обладает повышенной водостойкостью.

**Твердение**  $\alpha$ - и  $\beta$ -модификаций гипса обусловлено переходом их при взаимодействии с водой в двугидрат по реакции:



Процесс твердения гипса впервые описал французский ученый А. Ле-Шателье (*H. Le Chatelier*) в 1887 г. При смешивании с водой полуводный гипс растворяется до образования насыщенного раствора, в котором он гидратируется с образованием двугидрата. Поскольку растворимость в воде двугидрата в 4 раза меньше, чем полу-гидрата (2 г/л против 8 г/л), раствор оказывается пересыщенным по отношению к двугидрату, и он в виде кристаллов  $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$  выделяется из раствора. По мере накопления двугидрата происходит схватывание (загустевание) гипсового теста. После схватывания начинается твердение, обусловленное ростом кристаллов, их срастанием, образованием кристаллического сростка из достаточно крупных кристаллов двуводного гипса. Твердение гипса сопровождается выделением теплоты – 133 кДж/кг для  $\beta$ -модификации.

### 3.2. Показатели качества и свойства

К **нормируемым показателям качества** гипсовых вяжущих относят: марку по прочности, сроки схватывания и степень помола.

По **степени помола** различают 3 вида гипсовых вяжущих (таблица 3.1).

Таблица 3.1

**Виды гипсовых вяжущих веществ по степени помола**

Вид вяжущего	Индекс степени помола	Остаток на сите с размерами ячеек в свету 0,2 мм, %, не более
Грубого помола	I	23
Среднего помола	II	14
Тонкого помола	III	2

Степень помола оценивают путем просеивания пробы вяжущего сквозь сито с размером ячейки 0,2 мм по остатку на сите, выраженному в % массы просеиваемой пробы.

**Истинная плотность** гипсовых вяжущих изменяется в пределах 2600...2750 кг/м<sup>3</sup>. **Насынная плотность** в рыхлом состоянии составляет 800...1100 кг/м<sup>3</sup>, в уплотненном – 1250...1450 кг/м<sup>3</sup>.

**Водопоглощаемость** гипса выражают количеством воды в % массы вяжущего, необходимым для получения гипсового теста *стандартной консистенции*, которое используют при определении сроков схватывания и марки гипсового вяжущего по прочности. Водопоглощаемость гипса не нормируется, определяется подбором (по вискозиметру Суттарда) и существенно влияет на прочность и сроки схватывания гипса: чем она выше, тем больше сроки схватывания и ниже прочность.

Отличительной особенностью гипсовых вяжущих является их **быстрое схватывание и твердение**.

В зависимости от **сроков схватывания** различают 3 вида гипсовых вяжущих (табл. 3.2).

Таблица 3.2

**Виды гипсовых вяжущих веществ по срокам схватывания**

Вид вяжущего	Индекс сроков схватывания	Сроки схватывания, мин	
		начало, не ранее	конец, не позднее
Быстротвердеющее	А	2	15
Нормальнотвердеющее	Б	6	30
Медленнотвердеющее	В	20	не нормируется

Сроки схватывания гипса определяют при помощи прибора Вика с иглой на гипсовом тесте *стандартной консистенции*. Сроки схватывания можно регулировать введением добавок – замедлителей схватывания.

В зависимости от **предела прочности при изгибе и сжатии** установлены **12 марок гипсовых вяжущих** (табл. 3.3).

Марку гипсовых вяжущих определяют по результатам испытания на изгиб трех образцов-балочек размером 4×4×16 см и испытания на сжатие шести половинок образцов-балочек, изготовленных из гипсового теста *стандартной консистенции* и твердевших на воздухе в течение 2 часов после затворения гипса водой.

Таблица 3.3

## Марки гипсовых вяжущих веществ по прочности

Марка вяжущего	Предел прочности в возрасте 2 ч, МПа, не менее		Марка вяжущего	Предел прочности в возрасте 2 ч, МПа, не менее	
	при сжатии	при изгибе		при сжатии	при изгибе
Г-2	2,0	1,2	Г-10	10,0	4,5
Г-3	3,0	1,8	Г-13	13,0	5,5
Г-4	4,0	2,0	Г-16	16,0	6,0
Г-5	5,0	2,5	Г-19	19,0	6,5
Г-6	6,0	3,0	Г-22	22,0	7,0
Г-7	7,0	3,5	Г-25	25,0	8,0

Гипс – одно из немногих вяжущих, *увеличивающихся в объеме при твердении (до 1%)*, что способствует изготовлению архитектурных деталей литьевым способом.

Теоретически для гидратации полуводного гипса с образованием двуводного гипса требуется 18,6% воды от массы гипсового вяжущего. Практически для получения удобоформуемой смеси строительный гипс требует 50...70% воды, высокопрочный – 30...40%. Химически несвязанная вода формирует *высокую пористость гипсового камня – 40...60%*. Средняя плотность гипсового камня при этом составляет *1200...1500 кг/м<sup>3</sup>*. Свежеизготовленные гипсовые изделия содержат много химически несвязанной воды, снижающей их прочность. Для повышения прочности изделия сушат при температуре 60...70°C.

*Водостойкость гипсовых изделий низкая* – коэффициент размягчения составляет 0,3...0,5 в зависимости от водогипсового отношения. Вследствие высокой пористости, *гипсовые изделия гигроскопичны*. В результате сорбционного увлажнения прочность изделий может снижаться на 30...40%. Водостойкость повышают гидрофобизирующие добавки и пропитки, интенсивное уплотнение.

К недостаткам гипсовых вяжущих веществ также относят *ползучесть влажного гипсового камня* и *коррозию стальной арматуры* в гипсовых изделиях.

Гипсовые изделия *огнестойки*: они достаточно медленно прогреваются и разрушаются через 6...8 часов после начала нагрева, что позволяет устраивать, например, гипсокартонные перегородки с пределом огнестойкости до EI 240.

В *условном обозначении* гипсового вяжущего отражены нормируемые показатели качества:



### 3.3. Применение

Гипсовые вяжущие вещества применяются для производства сухих строительных смесей различного назначения (штукатурных, шпаклевочных, для наливных полов и др.); гипсокартонных и гипсоволокнистых листов, звукопоглощающих перфорированных плит и панелей, плит для модульных потолков и др.; гипсобетонных изделий, гипсовых пазогребневых плит для перегородок, тонкостенных изделий (вентиляционные короба и др.); гипсовых архитектурных деталей; гипсоцементно-пуццолановых вяжущих.

## 4. ПОРТЛАНДЦЕМЕНТ

### 4.1. Общие сведения

**Портландцемент** – гидравлическое вяжущее вещество, получаемое совместным тонким измельчением портландцементного клинкера, в составе которого преобладают силикаты кальция – 70...80%, с добавкой природного гипса (3...5%). По *внешнему виду* портландцемент представляет собой тонкодисперсный порошок темно-серого или зеленовато-серого цвета.

**Портландцементный клинкер** – это зернистый материал (размер гранул 10...40 мм), получаемый обжигом до спекания (при температуре до 1450°С) тщательно подобранной сырьевой смеси. Добавка гипса вводится для регулирования сроков схватывания портландцемента.

**Изобретение** портландцемента связано с именами английского каменщика Джозефа Аспдина, получившего 21.10.1824 г. патент на портландцемент, и русского строителя Егора Герасимовича Челиева, который изобрел цемент, наиболее схожий с современным портландцементом, и описал его в своей книге, изданной в 1825 г.

**Название** портландцемента происходит от англ. *Portland* – название полуострова на юге Великобритании, где добывалось сырье для производства портландцемента.

**Сырьем** для производства портландцемента служат:

- известняки с высоким содержанием кальцита  $\text{CaCO}_3$  (мел, плотный известняк и др.);
- глинистые породы (глины, глинистые сланцы), основной составляющей которых являются водные алюмосиликаты с общей формулой  $\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot n\text{SiO}_2 \cdot m\text{H}_2\text{O}$ ;
- мергели – горные породы, представляющие собой природную смесь известняков и глин;
- отходы промышленности, сходные по составу с природным сырьем (вскрышные породы, доменные шлаки, нефелиновый шлам, золы ТЭС и проч.);
- корректирующие добавки, используемые для обеспечения требуемого химического состава сырьевой смеси (пиритные огарки, трепел, опока и др.).

Соотношение между карбонатной и глинистой составляющими сырьевой смеси 3:1 (75% известняка и 25% глины).

**Производство портландцемента** – технологически сложный и энергоемкий процесс, который можно разделить на две основные стадии: первая – производство клинкера, вторая – помол клинкера совместно с гипсом, а в ряде случаев и со специальными добавками.

Производство клинкера может осуществляться сухим, мокрым и комбинированным способом. **Сухой способ** заключается в приготовлении сырьевой муки (в виде порошка) из сухих или предварительно высушенных компонентов с остаточной влажностью 1...2%. Сухой способ в 1,5...2 раза менее энергоемок, чем мокрый. При **мокрым способе** сырьевые материалы измельчаются и смешиваются в присутствии воды, поэтому смесь получается в виде вязкотекучей массы – шлама (от нем. *schlamm* – грязь) с влажностью 35...45%. Это наиболее энергоемкий способ. **Комбинированный способ** заключается в том, что приготовленный шлам до поступления в печь обезвоживается на фильтрах до влажности 16...18%. Энергоемкость производства в целом остается высокой, однако, данный способ позволяет на 20...30% снизить расход топлива по сравнению с мокрым способом.

**Обжиг** сырьевой смеси осуществляется во вращающихся печах, работающих по принципу противотока (сырье движется навстречу раскаленным продуктам сгорания топлива). Печь диаметром 5...7 м имеет небольшой наклон (3-5°) и вращается со скоростью 1–2 об/мин. При мокрым способе производства длина печи достигает 185-230 м. Двигаясь от верхнего конца печи (холодного) к нижнему (горячему, со стороны которого подается топливо), сырье проходит

различные температурные зоны, в каждой из которых происходят физико-химические превращения, в результате чего и получается цементный клинкер.

После испарения свободной воды, выгорания органических примесей и удаления химически связанной воды из глинистых минералов происходит декарбонизация углекислого кальция ( $900...1100^{\circ}\text{C}$ ) с образованием большого количества  $\text{CaO}$  и одновременно разложение дегидратированных глинистых минералов на оксиды  $\text{Al}_2\text{O}_3$ ,  $\text{SiO}_2$ ,  $\text{Fe}_2\text{O}_3$ . Образовавшиеся оксиды вступают в химическое взаимодействие с образованием новых минералов  $3\text{CaO}\cdot\text{Al}_2\text{O}_3$ ,  $\text{CaO}\cdot\text{Al}_2\text{O}_3$  и частично  $2\text{CaO}\cdot\text{SiO}_2$ .

При температуре  $1100...1250^{\circ}\text{C}$  происходят твердофазовые реакции образования минералов  $3\text{CaO}\cdot\text{Al}_2\text{O}_3$ ,  $4\text{CaO}\cdot\text{Al}_2\text{O}_3\cdot\text{Fe}_2\text{O}_3$  и  $2\text{CaO}\cdot\text{SiO}_2$ . Наивысшего значения ( $1300\text{--}1450^{\circ}\text{C}$ ) температура обжига достигает в зоне спекания, где происходит частичное плавление сырья и образуется главный минерал клинкера – алит  $3\text{CaO}\cdot\text{SiO}_2$ . В последней зоне печи клинкер охлаждается до  $1000^{\circ}\text{C}$  путем вдувания холодного воздуха, а при выходе из печи поступает в холодильник, где интенсивно охлаждается холодным воздухом.

Помол клинкера с добавкой гипса осуществляется в многокамерных шаровых мельницах при помощи загруженных в барабан мельющих тел – шаров (при грубом помоле) или цилиндров (при мелком помоле).

**Химический состав клинкера** выражают содержанием оксидов в % по массе (табл. 4.1).

Таблица 4.1

**Химический состав клинкера портландцемента**

Оксид	Содержание, %	Оксид	Содержание, %
$\text{CaO}$	63...66	$\text{Al}_2\text{O}_3$	4...8
$\text{SiO}_2$	21...24	$\text{Fe}_2\text{O}_3$	2...4

В небольших количествах в клинкере содержатся  $\text{MgO}$ ,  $\text{SO}_3$ ,  $\text{Na}_2\text{O}$ ,  $\text{K}_2\text{O}$ ,  $\text{TiO}_2$ ,  $\text{Cr}_2\text{O}_3$ ,  $\text{P}_2\text{O}_5$ .

Содержание в клинкере  $\text{MgO}$  и свободного (не связанного в основные клинкерные минералы)  $\text{CaO}$  ограничивается, так как они могут стать причиной неравномерного изменения объема цемента при твердении. Свободного  $\text{CaO}$  в клинкере должно быть не более 1%,  $\text{MgO}$  – не более 5%.

Суммарное содержание щелочных оксидов ( $\text{Na}_2\text{O}$  и  $\text{K}_2\text{O}$ ) не должно превышать 0,6%, так как они могут явиться причиной коррозии бетона и существенно замедлять схватывание портландцемента.

**Минеральный состав клинкера:**

- *Трехкальциевый силикат (алит)* –  $3\text{CaO} \cdot \text{SiO}_2$  ( $\text{C}_3\text{S}^1$ ) – 45...60% – основной минерал клинкера, определяет скорость твердения, прочность и другие свойства портландцемента;
- *Двухкальциевый силикат (белит)* –  $2\text{CaO} \cdot \text{SiO}_2$  ( $\text{C}_2\text{S}$ ) – 20...30% – медленно твердеет, но достигает высокой прочности при длительных сроках твердения;
- *Трехкальциевый алюминат*  $3\text{CaO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3$  ( $\text{C}_3\text{A}$ ) – 4...12% – быстро гидратируется и твердеет, но конечная прочность его небольшая; является причиной сульфатной коррозии цементного камня;
- *Четырехкальциевый алюмоферрит*  $4\text{CaO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot \text{Fe}_2\text{O}_3$  ( $\text{C}_4\text{AF}$ ) – 10...20% – по скорости твердения занимает промежуточное положение между  $\text{C}_3\text{S}$  и  $\text{C}_2\text{S}$ .

**Фазовый состав клинкера** представлен кристаллической фазой в виде клинкерных минералов (85...95%) и аморфной фазой в виде клинкерного стекла (5...15%).

**Вещественный состав** портландцемента характеризуется процентным содержанием клинкера, гипса, видом и количеством вводимых добавок.

Введение в цемент при помолу минеральных и органических добавок позволяет направленно изменять свойства вяжущего, экономить клинкер, уменьшать расход цемента в бетоне. Добавки обладают разным механизмом действия: при твердении цемента могут вступать в химическое взаимодействие с продуктами гидратации цемента (активные минеральные добавки), влиять на пластичность бетонных и растворных смесей (добавки поверхностно-активных веществ), выступать в роли наполнителей, снижающих активность цемента и т.п.

Добавки–наполнители (тонкомолотые магматические горные породы, известняк, кварцевый песок, топливные шлаки и золы) вводятся для снижения активности вяжущего, способствуют снижению тепловыделения цемента при твердении.

Активные минеральные добавки (АМД) – природные (осадочного происхождения – диатомиты, трепелы, опоки, глиежи; вулканического происхождения – вулканический пепел, вулканический туф, пемза,

---

<sup>1</sup> При записи формул в сокращенной форме используются следующие обозначения:  
С – CaO; S – SiO<sub>2</sub>; A – Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>; F – Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>.

трасс, витрофир) или искусственные (зола-унос, микрокремнезем, топливные шлаки) вещества, которые вводятся в цемент для связывания водорастворимого портландита –  $\text{Ca}(\text{OH})_2$ , являющегося одним из продуктов гидратации алита и белита, в малорастворимые соединения, повышая стойкость бетона к коррозии выщелачивания (вымыванию портландита из цементного камня), его водостойкость, сульфатостойкость и эксплуатационные свойства.

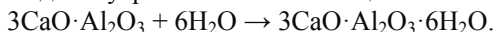
**Твердение** портландцемента происходит благодаря сложным физико-химическим процессам взаимодействия клинкерных минералов и гипса с водой. Сразу после затворения начинаются химические реакции. В результате физико-химических процессов на поверхности твёрдых частиц и в жидкой фазе формируются продукты гидратации в виде новообразований различной закристаллизованности. На их смачивание затрачивается вода, поэтому система постепенно теряет подвижность, загустевает, переходит в твёрдое состояние, наступает начало схватывания и дальнейшее твердение.

При взаимодействии с водой минералов – силикатов происходит одновременно их гидролиз (разложение водой) и гидратация (присоединение воды) с образованием гидросиликата и гидроксида кальция (портландита):



Гидросиликаты кальция – основной продукт твердения портландцемента – практически нерастворимы в воде. Они выделяются из раствора в виде геля, который со временем кристаллизуется. Этот гель пронизывают, укрепляя его, кристаллы  $\text{Ca}(\text{OH})_2$ . Содержание портландита в продуктах гидратации портландцемента может составлять до 15...20%. Другие продукты взаимодействия клинкера с водой также участвуют в формировании структуры цементного камня и влияют на его свойства.

Гидратация трехкальциевого алюмината протекает крайне быстро с образованием крупных кристаллов гидроалюмината кальция и приводит к утрате пластичности цементного теста:



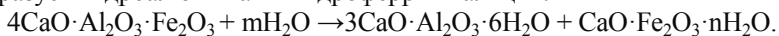
Для замедления схватывания портландцемента при помолке клинкера добавляют 3...5% двуводного гипса. Гипс реагирует с трехкальциевым алюминатом и связывает его в практически нерастворимый гидросульфаталюминат кальция (эттрингит) в начале гидратации портландцемента:





Этtringит выделяется в виде пленок на поверхности частиц  $C_3A$ , затрудняет доступ к ним воды и, соответственно, замедляет их гидратацию и отодвигает начало схватывания цемента. Кроме того, роль добавки гипса состоит в улучшении свойств цементного камня (прочности, морозостойкости) за счет уплотнения структуры, связанного с увеличением объема этtringита (в 2...2,5 раза больший объем по сравнению с объемом исходных реагирующих веществ) в еще не затвердевшей системе.

Четырехкальциевый алюмоферрит при взаимодействии с водой образует гидроалюминат и гидроферрит кальция:



Гидроалюминат связывается добавкой природного гипса, а гидроферрит входит в состав цементного геля.

Реакции гидратации клинкерных минералов экзотермические. По интенсивности тепловыделения минералы можно расположить в следующей последовательности:  $C_3A > C_3S > C_4AF > C_2S$ . Интенсивность тепловыделения портландцемента зависит от минерального состава и тонкости помола.

Тепловыделение играет положительную роль при бетонировании конструкций в зимних условиях, т.к. позволяет применять метод термоса (твердение бетона в утепленной опалубке), и отрицательную – при бетонировании в жаркую, сухую погоду, особенно при бетонировании массивных конструкций. Вследствие саморазогрева бетона возможно образование в конструкции усадочных трещин.

Выделяющийся при гидратации портландцемента портландит –  $Ca(OH)_2$  создает в твердеющем цементе щелочную среду ( $pH = 12...12,5$ ), что предотвращает коррозию стальной арматуры в бетоне (порог коррозии арматурной стали  $pH = 11,8$ ). В то же время водорастворимый  $Ca(OH)_2$  является «слабым звеном» с точки зрения коррозии цементного камня в бетоне.

При затворении портландцемента избыток воды нежелателен. Цемент в состоянии химически связать строго определенное количество воды – максимально 25...30% массы цемента, фактически к возрасту 28 суток это значение составляет 15%. Лишняя вода образует в цементном камне капиллярные поры, что ведет к снижению его прочности. Поэтому в современной технологии бетона практически всегда используют пластификаторы – поверхностно-активные вещества, позволяющие при сохранении заданной подвижности бетонной смеси снизить её водопотребность на 25...40%.

## 4.2. Показатели качества и свойства

В настоящее время в Российской Федерации параллельно действуют две группы стандартов, в которых установлены технические условия на цементы и методы их испытания. Первая группа стандартов была разработана в СССР в 70–80-х гг. XX в, вторая сформировалась относительно недавно и практически полностью заимствована из европейских стандартов EN 196 и EN 197 (табл. 4.2).

Таблица 4.2

### Стандарты РФ, регламентирующие показатели качества и методы испытания портландцемента

Группа стандартов	«Старая» нормативная база, разработанная в СССР	«Новая» нормативная база, гармонизированная с EN
Технические условия	ГОСТ 10178–85	ГОСТ 30515–2013 ГОСТ 31108–2003
Методы испытания	ГОСТ 310.1 – ГОСТ 310.6	ГОСТ 30744–2001

Таблица 4.3

### Классификация цементов на основе портландцементного клинкера по вещественному составу

№ п/п	Виды цементов (по «старым» стандартам)	=	Типы цементов (по «новым» стандартам)
1	Портландцемент – ПЦ–Д0* (без минеральных добавок)	=	ЦЕМ I – портландцемент
2	Портландцемент с добавками – ПЦ–Д5, ПЦ–Д20* (с АМД** не более 20%)	=	ЦЕМ II – портландцемент с минеральными добавками (с АМД** и известняком 6...20%, со шлаком 6...35%)
3	Шлакопортландцемент – ШПЦ (с добавками гранулированного шлака 21...80%)	=	ЦЕМ III – шлакопортландцемент (с добавками гранулированного шлака 36...65%)
4	Пуццолановый портландцемент – ППЦ (с кислыми АМД 21...40%) – <i>исключен из ГОСТ 22266 с 01.01.2015 г.</i>	=	ЦЕМ IV – пуццолановый цемент (с кислыми АМД 21...35%)
5	<i>Аналогов нет</i>	=	ЦЕМ V – композиционный цемент (содержит смесь минеральных добавок 22...60%)

\* – Наличие минеральных добавок обозначается буквой «Д»: Д0, Д5, Д20, цифра обозначает количество добавки (% по массе);

\*\* – АМД – активная минеральная добавка.

Основу классификации портландцементов по видам и типам составляет их **вещественный состав** (табл. 4.3).

Цементы типа II в зависимости от содержания минеральных добавок делятся на подтипы А с содержанием минеральных добавок 6...20% и В – 21...35% (см. табл. 4.4).

ГОСТ 30515–2013 **нормируемые показатели качества** общестроительных цементов на основе портландцементного клинкера подразделяет на обязательные и рекомендуемые. К **обязательным** относят: прочность, вещественный состав, равномерность изменения объема, начало схватывания, содержание в клинкере оксида магния (MgO), оксида серы (VI) – SO<sub>3</sub>, хлор-иона (Cl), удельную эффективную активность естественных радионуклидов. К **рекомендуемым** показателям относят: конец схватывания, тонкость помола, содержание в клинкере свободного оксида кальция. Основные показатели качества по «старым» и «новым» стандартам приведены в табл. 4.5.

**Истинная плотность** портландцемента 3100...3200 кг/м<sup>3</sup>. **Насыпная плотность** в рыхлом состоянии – 900...1100 кг/м<sup>3</sup>, в уплотненном состоянии – 1400...1700 кг/м<sup>3</sup>, в среднем для расчетов принимают насыпную плотность 1300 кг/м<sup>3</sup>.

**Тонкость помола** цемента определяет скорость твердения и прочность цементного камня, а также влияет на интенсивность тепловыделения. Тонкость помола – важнейший рычаг регулирования активности цемента. По ГОСТ 10178–85 она должна быть такой, чтобы через сито № 008 с размером ячеек 80 мкм прошло не менее 85% массы просеиваемой пробы. При этом удельная поверхность составляет S<sub>уд</sub>=2500...3000 см<sup>2</sup>/г (или 250...300 м<sup>2</sup>/кг). ГОСТ 31108–2003 требований к тонкости помола не устанавливает.

**Водопотребность** портландцемента (нормальная густота) характеризуется количеством воды, % массы цемента, необходимым для получения **цементного теста нормальной густоты**. В среднем она составляет 24...28%. При введении активных минеральных добавок водопотребность цемента повышается и может достигать 32...37%. Нормальную густоту находят подбором и определяют по глубине погружения в цементное тесто пестика прибора Вика при стандартном испытании.

**Сроки схватывания** цементов (начало и конец схватывания) определяют с помощью прибора Вика на цементном тесте нормальной густоты. На сроки схватывания существенно влияет минеральный состав цемента, его водопотребность и тонкость помола. На производстве сроки схватывания регулируют использованием добавок – ускорителей и замедлителей схватывания.

Таблица 4.4

## Вещественный состав цементов по ГОСТ 31108–2003

Тип цемента	Наименование цемента	Сокращенное обозначение цемента	Вещественный состав цемента, % массы									
			Основные компоненты									
			Портландцементный клинкер	Доменный или электротермофосфорный гранулированный шлак	Пуццолан	Зола-уноса	Глиеж или обожженный сланец	Микрокремнезем	Известняк	Вспомогательные компоненты		
ЦЕМ I	Портландцемент	ЦЕМ I	Кл	Ш	П	З	Г	МК	И	—	—	0-5
ЦЕМ II	Портландцемент с минеральными добавками:		95-100	—	—	—	—	—	—	—	—	—
	шлаком	ЦЕМ II/A-III	80-94	6-20	—	—	—	—	—	—	—	0-5
		ЦЕМ II/B-III	65-79	21-35	—	—	—	—	—	—	—	0-5
	пуццоланом	ЦЕМ II/A-II	80-94	—	6-20	—	—	—	—	—	—	0-5
	золы-уноса	ЦЕМ II/A-3	80-94	—	—	6-20	—	—	—	—	—	0-5
	глиежем или обожженным сланцем	ЦЕМ II/A-Г	80-94	—	—	—	6-20	—	—	—	—	0-5
	микрокремнеземом	ЦЕМ II/A-МК	90-94	—	—	—	—	6-10	—	—	—	0-5
	известняком	ЦЕМ II/A-И	80-94	—	—	—	—	—	—	6-20	—	0-5
	композиционный портландцемент	ЦЕМ II/A-К	80-94	—	—	6-20	—	—	—	—	—	0-5
ЦЕМ III	Шлакопортландцемент	ЦЕМ III/A	35-64	36-65	—	—	—	—	—	—	—	0-5
ЦЕМ IV	Пуццолановый цемент	ЦЕМ IV/A	65-79	—	—	21-35	—	—	—	—	—	0-5
ЦЕМ V	Композиционный цемент	ЦЕМ V/A	40-78	11-30	11-30	—	—	—	—	—	—	0-5

Таблица 4.5

## Показатели качества поргланццемента

Наименование показателя	Значение показателя	
	ГОСТ 10178-85	ГОСТ 31108-2003
Прочность	Установлены марки по прочности (кгс/см <sup>2</sup> ): 300; 400; 500; 550; 600.	Установлены классы по прочности (МПа): 22,5Н; 32,5Н; 32,5Б; 42,5Н; 42,5Б; 52,5Н; 52,5Б
Вещественный состав	См. табл. 4.3.	См. табл. 4.3.-4.4.
Сроки схватывания: начало, мин, не ранее конец, ч, не позднее	45  10	45, 60, 75 в зависимости от класса прочности цемента (см. табл. 4.7)  Не нормируется
Тонкость помола	При просеивании пробы через сито № 008 должно проходить не менее 85% массы пробы	Не нормируется
Равномерность изменения объема	Визуальная оценка по результатам кипячения в течение 3-х часов лепешек, изготовленных и цементного теста нормальной густоты	Инструментальная оценка при помощи колец Ле-Шателье (расхождение индикаторных игл не более 10 мм)
Массовая доля SO <sub>3</sub> , %	Не менее 1,0...1,5, не более 3,5...4,0 в зависимости от марки и вида цемента	Не более 3,5...4,0 в зависимости от класса цемента
Массовая доля MgO, %	Не более 5	Не более 5
Содержание хлор-иона Cl <sup>-</sup> , %	Не нормируется	Не более 0,1

**Равномерность изменения объема** при твердении цемента в соответствии с ГОСТ 310.3–76 определяется путем визуальной оценки состояния образцов-лепешек, изготовленных из цементного теста нормальной густоты, после испытания кипячением в течение 3-х часов. ГОСТ 30744–2001 предполагает инструментальную оценку данного показателя при помощи колец Ле-Шателье. К неравномерному изменению объема приводят местные деформации, вызываемые расширением свободных СаО и MgO при их взаимодействии с водой.

**Марка (класс) по прочности** – основной показатель качества портландцемента. Прочность контролируется испытанием на изгиб и сжатие стандартных образцов–балочек размером 4×4×16 см, изготовленных из цементно-песчаного раствора, через 28 суток твердения. В результате определяется **активность цемента** – фактическая прочность на сжатие образцов цементно-песчаного раствора. На основании активности цемента устанавливается его марка по ГОСТ 10178–85 (табл. 4.6) или класс по ГОСТ 31108–2003 (табл. 4.7).

ГОСТ 10178–85 устанавливает пять марок портландцемента по прочности. Численно марка указывает на минимально допустимую активность цемента и выражается в кгс/см<sup>2</sup>. Для той или иной марки необходимо обеспечить минимальную прочность при изгибе и при сжатии (табл. 4.6).

Таблица 4.6

**Требования к прочности образцов по ГОСТ 10178–85**

Марка портландцемента	Предел прочности, МПа (кгс/см <sup>2</sup> ), в возрасте 28 суток, не менее	
	изгиб	сжатие
300	4,4 (45)	29,4 (300)
400	5,4 (55)	39,2 (400)
500	5,9 (60)	49,0 (500)
550	6,1 (62)	53,9 (550)
600	6,4 (65)	58,8 (600)

ГОСТ 31108–2003 предусматривает разделение цементов по классам прочности. Цементы всех классов, кроме 22,5Н, подразделяют по скорости твердения на подклассы: нормально твердеющие (индекс Н) и быстротвердеющие (индекс Б). Числовое значение класса выражено в МПа. Для цементов любого класса в обязательном порядке должна быть обеспечена прочность в промежуточном возрасте (2 или 7 суток).

Таблица 4.7

**Требования к свойствам цемента по ГОСТ 31108–2003**

Класс прочности цемента	Предел прочности на сжатие, МПа, в возрасте				Начало схватывания, мин, не ранее
	2 сут, не менее	7 сут, не менее	28 сут		
			не менее	не более	
22,5Н	—	11	22,5	42,5	75
32,5Н	—	16	32,5	52,5	
32,5Б	10	—			
42,5Н	10	—	42,5	62,5	60
42,5Б	20	—			
52,5Н	20	—	52,5	—	45
52,5Б	30	—			

При назначении класса цемента по прочности учитывается только прочность образцов при сжатии, прочность при изгибе значения не имеет.

Методики определения активности портландцемента для установления марки или класса отличаются. Основные отличия заключаются в различном водоцементном отношении раствора, использовании песков с разным гранулометрическим составом, способе уплотнения раствора. В среднем активность цемента, определенная по ГОСТ 30744–2001, составляет 77...98% (в зависимости от марки цемента) активности, определенной по ГОСТ 310.4–81. На практике удобно пользоваться таблицей соответствия между классами и марками цемента (табл. 4.8).

Таблица 4.8

**Усредненное соотношение между марками цемента по ГОСТ 10178–85 и классами цемента по ГОСТ 31108–2003**

Класс цемента по ГОСТ 31108–2003	22,5	32,5	42,5	52,5
Марка цемента по ГОСТ 10178–85	300	400	500; 550	550; 600

Согласно ГОСТ 10178–85, *условное обозначение* цемента должно состоять из наименования вида цемента, марки по прочности, обозначения максимального содержания добавок в цементе, обозначения быстротвердеющего цемента, номера стандарта. Пример условного обозначения портландцемента марки 500, бездобавочного:

*ПЦ 500–Д0 ГОСТ 10178–85.*

Согласно ГОСТ 31108–2003, условное обозначение цементов должно включать: наименование цемента, сокращенное обозначение цемента, включающее обозначение типа и подтипа цемента и вида добавки, класс прочности, обозначение подкласса, номер стандарта. Пример условного обозначения портландцемента класса 42,5 быстротвердеющего, бездобавочного:

*Портландцемент ЦЕМ I 42,5Б ГОСТ 31108–2003.*

### 4.3. Применение

Портландцемент – основной материал современной строительной индустрии. Портландцемент и его разновидности применяются при возведении монолитных железобетонных конструкций практически любого назначения, для производства сборных железобетонных конструкций и изделий, для изготовления строительных растворов и сухих строительных смесей, для производства специальных видов цемента, а также при изготовлении ряда других строительных материалов.

## 5. СПЕЦИАЛЬНЫЕ ВИДЫ ПОРТЛАНДЦЕМЕНТА

Для получения цементов с заданными специальными свойствами применяют следующие основные способы:

1. **Регулирование минерального состава** и структуры цементного клинкера – оказывает решающее влияние на все свойства цемента. Мероприятия по регулированию минерального состава клинкера осуществляются на этапе проектирования и корректировки состава сырьевой смеси, структура обеспечивается определенным режимом обжига и скоростью охлаждения клинкера.
2. **Изменение вещественного состава** цемента – введение в цемент при помоле минеральных и органических добавок, позволяющих направленно изменять свойства вяжущего.
3. **Регулирование тонкости помола** цемента. За счет более тонкого помола увеличивается поверхность раздела фаз, реакции гидратации протекают быстрее, следовательно, цемент быстрее набирает заданную прочность, сокращаются сроки схватывания, увеличивается тепловыделение.

Состав, характерные свойства и области применения некоторых специальных видов портландцемента приведены в таблице 5.1.



Таблица 5.1

## Специальные виды портландцемента

Вид цемента	Особенности состава	Характерные свойства	Применение
Быстротвердеющий портландцемент	$C_3S + C_3A \geq 60 \dots 65\%$ .	Марки 400Б и 500Б (классы 32,5Б, 42,5Б, 52,5Б); $S_{уд} = 3500 \dots 4000 \text{ см}^2/\text{г}$ ; быстрый рост прочности в раннем возрасте – $R_3 \approx (0,6 \dots 0,7)R_{28}$ ; повышенное тепловыделение; теряет активность при длительном хранении; низкая стойкость к коррозии выщелачивания и сульфаталюминатной коррозии.	Для сборных и монолитных железобетонных конструкций; при зимнем бетонировании; при возведении конструкций в скользящих, катучих и переставных опалубках. Не годится для массивных конструкций и конструкций, подверженных действию мягких и сульфатных вод.
Сульфатостойкий портландцемент (ЦЕМ I СС)	$C_3A \leq 3,5\%$ ; $Al_2O_3 \leq 5\%$ .	Классы 32,5Н, 32,5Б, 42,5Н, 42,5 Б. Стойкость к сульфатной коррозии; медленный набор прочности в ранние сроки; низкое тепловыделение; повышенная морозостойкость.	Для бетонов конструкций, подверженных сульфатной агрессии и частому попеременному замораживанию-оттаиванию.
Пластифицированный портландцемент	При помолке клинкера вводится пластифицирующая добавка (например, лигносульфонаты технические) в количестве 0,15...0,25% от массы цемента.	Снижение водопотребности бетонных смесей на 10...15%, следовательно: 1) уменьшается водоцементное отношение В/Ц, повышается плотность, прочность, морозостойкость, водонепроницаемость, долговечность бетона; 2) при сохранении В/Ц снижается расход цемента на 10...15%.	При изготовлении всех видов сборного и монолитного железобетона; для гидротехнических сооружений; для бетонов на дорожных и аэродромных покрытиях.

Продолжение табл. 5.1

Вид цемента	Особенности состава	Характерные свойства	Применение
Гидрофобный портландцемент	При помеле клинкера вводятся гидрофобизирующая добавка (асидол, мылонафт) в количестве 0,1...0,2% от массы цемента.	Имеет пониженную г игроскопичность при хранении – потеря активности составляет не более 6...8% в год; снижает водопотребность бетонных смесей на 8...10%, повышает морозостойкость и водонепроницаемость бетона; замедленный рост прочности в ранние сроки.	При длительном хранении и дальних перевозках; для всех видов сборного и монолитного железобетона.
Вязущее низкое водопотребности (ВНВ)	При помеле клинкера с гипсом вводится суперпластификатор (С-3 и т.п.) в количестве 2...5% от массы вяжущего и минеральные добавки (для снижения активности) – до 70% от массы вяжущего.	Повышенная реакционная способность; $S_{\text{пл}} = 4500 \dots 5000 \text{ см}^2/\text{г}$ ; водопотребность 15...18%; замедление начала схватывания до 6...8 ч; быстрый набор прочности в ранние сроки: $R_1=25 \dots 30 \text{ МПа}$ ; высокая прочность $R_{28}=70 \dots 100 \text{ МПа}$ ; низкое водопоглощение и повышенная морозостойкость бетона на ВНВ.	Высокопрочные бетоны классов В60...В100; зимнее бетонирование; экстренные ремонтные работы; в составах полимерцементных покрытий полов промышленных зданий. Не годится для массивных конструкций.
Белый портландцемент	Сырье: чистый известняк, белые глины; топливо – беззолное (газовое); практически полное отсутствие $\text{Fe}_2\text{O}_3$ , $\text{C}_3\text{S} - 35 \dots 50\%$ , $\text{C}_2\text{S} - 35 \dots 45\%$ , $\text{C}_3\text{A} - 14 \dots 17\%$ , $\text{C}_4\text{AF} - 0,9 \dots 1,4\%$ .	Марки 400 и 500; белый цвет (три сорта в зависимости от степени белизны); сроки схватывания – начало не ранее 45 мин, конец не позднее 10 ч; тонкость помола – остаток на сите № 008 не более 12%; повышенная усадка; пониженная коррозионная стойкость и морозостойкость.	Для цветных декоративных портландцементов; для архитектурно-отделочных и декоративных работ.

Продолжение табл. 5.1

Вид цемента	Особенности состава	Характерные свойства	Применение
Портландцемент с минеральными добавками	При помоле клинкера вводятся активные минеральные добавки в количестве: ПЦ-Д5 – до 5%; ПЦ-Д20 – до 20%; (ЦЕМ II – см. табл. 4.4)	Марки – такие же, как у бездобавочного портландцемента; повышенная стойкость против коррозии выщелачивания и не сколько большая по сравнению с бездобавочным портландцементом стойкость к сульфатной агрессии.	Для тех же целей, что и портландцемент; для конструкций, постоянно находящихся во влажных условиях – под землей, в воде, в том числе – в проточной мягкой воде.
Пуццолановый цемент (ЦЕМ IV)	При помоле клинкера вводятся кислые активные минеральные добавки (вулканические туфы, пеплы, пемзы, диатомит, опока, золы ТЭС и др.) в количестве 21...35%.	Класс 32,5 Н; повышенная стойкость против коррозии выщелачивания и в сульфатных водах; повышенная водопотребность; высокие деформации усадки и набухания; низкая воздухоустойчивость; низкая морозостойкость – не более 100...150 циклов; медленный рост прочности в ранние сроки; пониженное тепловыделение; высокая водостойкость и водонепроницаемость.	Для подземных и подводных частей сооружений; внутренних частей массивных сооружений (плотин, шлюзов и т.д.); строительства туннелей. Не эффективен в надземных конструкциях, в особенности, эксплуатируемых в жарком сухом климате.
Шлакопортландцемент (ШПЦ, ЦЕМ III)	При помоле клинкера вводятся добавка гранулированного доменного (или электротермофосфорного) шлака в количестве 21...80% (36...65% по «норме» ГОСТ 31108-2003 – см. табл. 4.4)	Марки 300, 400, 500 (классы 22,5, 32,5, 42,5); медленный рост прочности в ранние сроки твердения; низкое тепловыделение (в 2...2,5 раза ниже по сравнению с ПЦ); умеренная водопотребность; стойкость в мягких и сульфатных водах; пониженная морозостойкость; жаростойкость до 600...800°С; стоимость на 15...20% ниже, чем у ПЦ.	В гидротехническом строительстве, для возведения массивных конструкций, для жаростойких бетонов, для сборных бетонных и железобетонных конструкций, изготовляемых с тепловлажностной обработкой.

Окончание табл. 5.1

Вид цемента	Особенности состава	Характерные свойства	Применение
Цементы для транспортного строительства	<p><math>C_3A \leq 7\%</math>;  <math>C_3S \geq 55\%</math>;  <math>C_3A + C_4AF \leq 24\%</math> (для бетона дорожных и аэродромных покрытий);  <math>Na_2O + 0,658 K_2O \leq 0,8\%</math>;  содержание органических добавок – не более 0,15%.</p>	<p>Виды цементов: ЦЕМ I, ЦЕМ II/A–III, ЦЕМ II/B–III, ЦЕМ III, классы 32,5Н, 42,5Б, 52,5Б; <math>S_{уд} = 2700 \dots 3500 \text{ см}^2/\text{г}</math>; начало схватывания – не ранее 2 ч; характеризуется повышенной стойкостью к сульфатной коррозии и морозостойкостью, цементами с минеральными добавками – дополнительно повышенной стойкостью к коррозии выщелачивания.</p>	<p>Для бетонов дорожных и аэродромных покрытий (ДП), дорожных оснований (ДО), для изготовления железобетонных изделий и мостовых конструкций (ЖИ), применяемых в транспортном строительстве, для укрепления грунтов (УГ).</p>

## 6. ГЛИНОЗЕМИСТЫЙ ЦЕМЕНТ

### 6.1. Общие сведения

**Глиноземистый цемент** – быстротвердеющее и высокопрочное гидравлическое вяжущее вещество, получаемое путем тонкого измельчения клинкера, содержащего преимущественно низкоосновные алюминаты кальция.

**Сырьем** для получения клинкера глиноземистого цемента служат чистые известняки ( $\text{CaCO}_3$ ) и породы, содержащие глинозем, например, бокситы ( $\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot n\text{H}_2\text{O}$ ).

**Производство.** Клинкер глиноземистого цемента получают обжигом сырьевой смеси до спекания при температуре  $1200\text{--}1300^\circ\text{C}$  либо плавлением в электрических или доменных печах при температуре  $1500\text{--}1600^\circ\text{C}$ . Помол клинкера затруднен из-за его высокой твердости. Производство глиноземистого цемента более энергоемко, и с учетом дефицитности сырья (бокситы – ценное сырье для производства алюминия), стоимость его гораздо выше (до 5–6 раз), чем стоимость портландцемента. Выпуск глиноземистого цемента в РФ составляет порядка 0,2% объема выпуска портландского цемента.

**Химический состав** глиноземистых цементов, получаемых различными способами, приведен в табл. 6.1.

Таблица 6.1

**Химический состав глиноземистого цемента**

Оксид	Содержание, %	Оксид	Содержание, %
$\text{Al}_2\text{O}_3$	30...50	$\text{SiO}_2$	5...10
$\text{CaO}$	35...45	$\text{Fe}_2\text{O}_3$	5...15

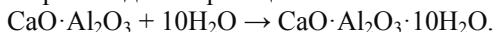
#### **Минеральный состав:**

- $\text{CaO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3$  (CA) – однокальциевый алюминат – основной минерал глиноземистого цемента, определяющий его быстрое твердение и высокую прочность цементного камня;
- другие низкоосновные алюминаты кальция, в частности,  $\text{CaO} \cdot 2\text{Al}_2\text{O}_3$  ( $\text{CA}_2$ ), медленно твердеющий, но имеющий высокую конечную прочность (содержится в количестве 20...30%);
- $2\text{CaO} \cdot \text{SiO}_2$  ( $\beta\text{-C}_2\text{S}$ ) – белит, характеризующийся медленным твердением;
- $2\text{CaO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot \text{SiO}_2$  – алюмосиликат кальция – геленит, практически не взаимодействующий с водой при нормальных температурах.

**Твердение** глиноземистого цемента – сложный процесс, представляющий собой результат взаимодействия, в первую очередь, однокальциевого алюмината СА с водой. Процесс твердения глиноземистого цемента и прочность образующегося цементного камня существенно зависят от температуры твердения.

*Глиноземистый цемент обладает высокой прочностью только в том случае, если твердеет при температуре не выше 25°C.*

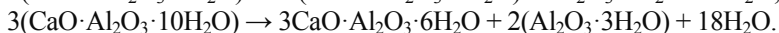
При температуре 20...22°C гидратация однокальциевого алюмината происходит по реакции:



При температуре 22...30°C в присутствии воды СА<sub>Н<sub>10</sub></sub> постепенно переходит в двухкальциевый гидроалюминат С<sub>2</sub>АН<sub>8</sub>, выделяющийся в виде пластинчатых кристаллов гексагональной системы; одновременно образуется гидроксид алюминия в виде гелевидной массы:



При температурах выше 30°C СА<sub>Н<sub>10</sub></sub> и С<sub>2</sub>АН<sub>8</sub> переходят в стабильный кубический трехкальциевый гидроалюминат С<sub>3</sub>АН<sub>6</sub>:



Переход гексагонального С<sub>2</sub>АН<sub>8</sub> в кубический С<sub>3</sub>АН<sub>6</sub> сопровождается появлением напряжений в цементной системе, что существенно снижает прочность цементного камня. При начальной гидратации 1 ч. по массе СА связывает 1,14 ч. воды с образованием СА<sub>Н<sub>10</sub></sub>, при этом объем твердой фазы в смеси СА с водой увеличивается в 3,7 раза, за счет чего образуется малопористый прочный камень. Переход СА<sub>Н<sub>10</sub></sub> в С<sub>3</sub>АН<sub>6</sub> сопровождается обратным выделением воды из твердой фазы, что уменьшает её объем на 52,6%, формируется цементный камень с высокой пористостью, прочность его снижается. Отрицательное воздействие на свойства цементного камня оказывает также неоднократная смена состава и структуры новообразований.

Твердение глиноземистого цемента сопровождается интенсивным тепловыделением, достигающим через сутки 70...80% полной экзотермии (500 кДж/кг). Тепловыделение портландцемента тех же марок через сутки в 3-4 раза меньше. Из-за интенсивного выделения теплоты возможен саморазогрев бетона на глиноземистом цементе. По этой причине глиноземистый цемент нельзя применять при бетонировании массивных конструкций, в условиях жаркого климата, а также нельзя подвергать его тепловлажностной обработке.

## 6.2. Показатели качества и свойства

К **нормируемым показателям качества** глиноземистого цемента относят: марку по прочности, тонкость помола и сроки схватывания.

**Тонкость помола** оценивают по остатку на сите №008 (80 мкм), который должен быть не более 10% массы просеиваемой пробы.

**Истинная плотность** глиноземистого цемента 3100...3300 кг/м<sup>3</sup>, **насыпная плотность** 1000...1300 кг/м<sup>3</sup>.

**Нормальная густота** составляет 24...28%.

Глиноземистый цемент обладает нормальными **сроками схватывания**, не смотря на его быстрое твердение: начало – не ранее 45 мин, конец – не позднее 10 ч.

**По пределу прочности при сжатии** (МПа) в возрасте 3 суток глиноземистые цементы подразделяются на **марки**: ГЦ–40, ГЦ–50, ГЦ–60. Водоцементное отношение для изготовления образцов подбирают таким образом, чтобы расплыв стандартного конуса на встряхивающем столике был равен 105...110 мм. Формы с образцами хранят в течение (6±0,5) ч в ванне с гидравлическим затвором, затем помещают их в ванну с водой. Через (24±2) ч с момента затворения образцы расформовывают, часть подвергают испытаниям, определяя прочность в возрасте 1 сут, остальные помещают в ванну с водой. В возрасте 1 сут. глиноземистый цемент набирает 75...90% марочной прочности.

В продуктах гидратации глиноземистого цемента не содержатся Ca(OH)<sub>2</sub> и 3CaO·Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>·6H<sub>2</sub>O, вследствие чего бетон на глиноземистом цементе более **стойк к коррозии** выщелачивания по сравнению с бетонами на портландцементе, а также в растворах сульфата кальция и магния (в частности, в морской воде). Однако затвердевший глиноземистый цемент разрушается в растворах кислот и щелочей.

**Усадка** глиноземистого цемента при твердении на воздухе в 3...5 раз ниже, чем у портландцемента, **пористость** ниже в 1,5 раза. Бетоны на глиноземистом цементе характеризуются высокой **водостойкостью, морозостойкостью и жаростойкостью**. Жаростойкость глиноземистого цемента тем выше, чем больше в нем глинозема и меньше кремнезема.

Пример **условного обозначения** глиноземистого цемента марки 50:  
*ГЦ 50 ГОСТ 969–91.*

## 6.3. Применение

Глиноземистый цемент применяют: для получения высокопрочных быстротвердеющих бетонов, в особенности, твердеющих при пониженных температурах (при аварийных и ремонтных работах, зимнем бетонировании); в конструкциях, подвергающихся систематическому замораживанию-оттаиванию, увлажнению и высушиванию, особенно, в агрессивных средах; для получения жароупорных бетонов и растворов; для получения расширяющихся и безусадочных цементов.

## 7. ЛАБОРАТОРНЫЙ ПРАКТИКУМ

### 7.1. Лабораторная работа №8<sup>2</sup>

#### Стандартные испытания гипсового вяжущего вещества (ГОСТ 23789–79)

*Перед выполнением лабораторной работы необходимо ознакомиться с теоретической частью по пп. 3.1–3.3 настоящих методических указаний.*

#### Задание 1.

Определить водопотребность строительного гипса.

Водопотребность выражается в процентах как отношение массы воды, необходимой для получения гипсового теста стандартной консистенции, к массе гипсового вяжущего.

**Методика:** определение диаметра расплыва гипсового теста на стандартном приборе (вискозиметре Суттарда). Диаметр расплыва теста стандартной консистенции должен быть равен  $(180 \pm 5)$  мм.

**Оборудование:** чаша, ручная мешалка, пластина из стекла или оргстекла, вискозиметр Суттарда, секундомер, линейка, весы, мерный цилиндр.

#### **Ход работы:**

- Изобразить схему испытания (рис. 7.1. б).
- Отвесить 300 г гипсового вяжущего.
- При помощи мерного цилиндра отмерить требуемое количество воды (принимается по указанию преподавателя в интервале 52...58 % массы гипсового вяжущего).

---

<sup>2</sup> номер соответствует нумерации работ в лабораторном журнале



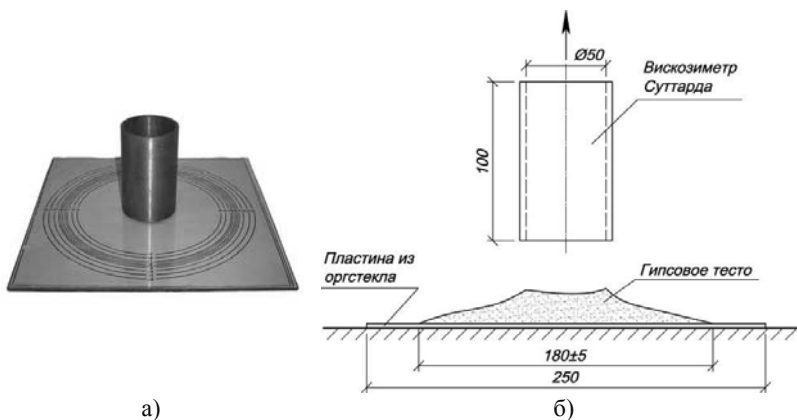


Рис. 7.1. Определение стандартной консистенции гипсового теста:  
 а) вискозиметр Суттарда; б) схема испытания

- Вискозиметр Суттарда (рис. 7.1. а), представляющий собой полый латунный цилиндр высотой 100 мм и внутренним диаметром 50 мм, и стеклянную пластину предварительно протереть влажной тканью.
- В чистую чашу, предварительно протертую влажной тканью, влить воду, затем в течение 2-5 с в воду всыпать 300 г гипсового вяжущего. Одновременно с началом затворения гипса водой включить секундомер. Массу перемешивать ручной мешалкой в течение 30 с, начиная отсчет времени с момента затворения гипсового вяжущего водой.
- После окончания перемешивания цилиндр вискозиметра Суттарда, установленный в центре пластины, заполнить гипсовым тестом, излишки которого срезать линейкой.
- Через 45 с, считая с момента затворения гипса водой, или через 15 с после окончания перемешивания цилиндр быстро поднять вертикально на высоту 15...20 см и отвести в сторону.
- Измерить диаметр расплыва гипсового теста линейкой в двух перпендикулярных направлениях с погрешностью не более 5 мм и вычислить среднее арифметическое значение. Результат внести в таблицу.
- Если диаметр расплыва теста не соответствует  $(180 \pm 5)$  мм, испытание следует повторить с другим количеством воды. Результаты внести в таблицу.
- По достижении требуемого результата необходимо сделать вывод о фактической водопотребности гипсового вяжущего.

## Задание 2.

Определить сроки схватывания гипсового теста.

Для определения сроков схватывания гипса готовят гипсовое тесто стандартной консистенции (см. задание 1).

**Методика:** погружение иглы прибора Вика в гипсовое тесто стандартной консистенции.

**Оборудование:** чаша, ручная мешалка, пластина из стекла или оргстекла размером  $100 \times 100$  мм, прибор Вика с массой подвижной части  $(300 \pm 2)$  г, коническое кольцо, секундомер, весы, мерный цилиндр.

### Ход работы:

- Установить иглу в стержень прибора Вика (рис. 7.2). Проверить, свободно ли опускается стержень, а также нулевое положение подвижной части (при соприкосновении иглы со стеклянной пластинкой стрелка прибора должна указывать на «0»). В противном случае, скорректировать положение шкалы.

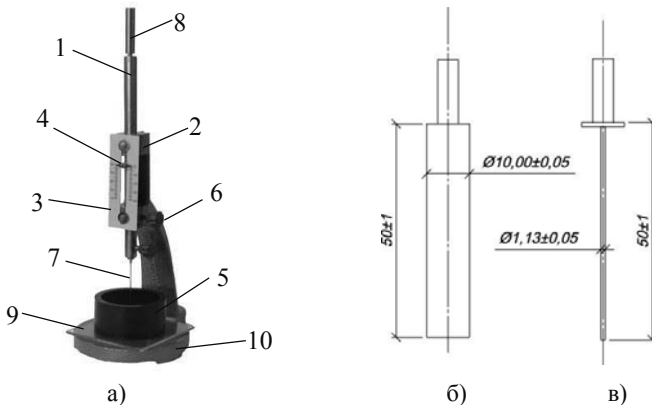


Рис. 7.2. Прибор Вика

а) общий вид; б) рабочая часть пестика; в) рабочая часть иглы.

- 1 – цилиндрический металлический стержень; 2 – обойма станины; 3 – шкала;  
4 – указатель; 5 – кольцо; 6 – стопорный винт; 7 – игла; 8 – пестик; 9 – пластинка;  
10 – основание станины.

- Изобразить схему испытания (рис. 7.3. а).
- Кольцо прибора Вика и стеклянную пластинку смазать машинным маслом.
- Отвесить 300 г гипсового вяжущего.
- При помощи мерного цилиндра отмерить количество воды, определенное в задании 1.

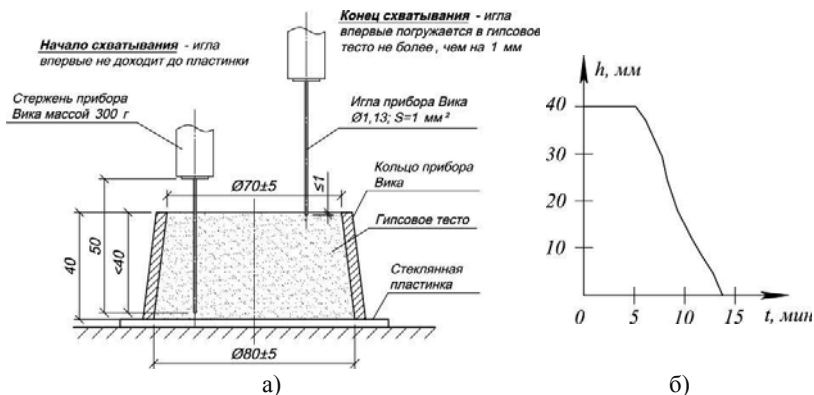


Рис. 7.3. Определение сроков схватывания гипсового теста

а) – схема испытания; б) – вид графика изменения глубины погружения иглы прибора Вика в гипсовое тесто при его схватывании

- Гипс всыпать в воду, одновременно включая секундомер, и перемешать в течение не более 1 мин до получения однородного теста.
- Кольцо, установленное на пластинку, заполнить гипсовым тестом. Кольцо с пластинкой 4–5 раз встряхнуть путем поднятия и опускания одной из сторон пластинки примерно на 10 мм. После этого излишки теста срезать ножом, и заполненную форму на пластинке установить на основание прибора Вика.
- Подвижный стержень установить в такое положение, при котором конец иглы касается поверхности гипсового теста, а затем иглу свободно опустить в тесто, освободив стопорный винт. Погружение иглы производить каждые 30 с, начиная с целого числа минут (обычно 2 мин). После каждого погружения необходимо тщательно вытирать иглу, а пластинку вместе с кольцом передвигать так, чтобы игла при новом погружении попадала в другое место поверхности теста. Результаты измерений заносить в таблицу.
- По результатам опыта определить начало и конец схватывания.

**Начало схватывания** – время с момента затворения гипса до того момента, когда игла прибора Вика после погружения в гипсовое тесто впервые не дойдет до поверхности пластинки.

**Конец схватывания** – время с момента затворения гипса до того момента, когда игла прибора Вика впервые погрузится в гипсовое тесто не более, чем на 1 мм.

- Построить график зависимости глубины погружения иглы прибора Вика в гипсовое тесто от времени (рис. 7.3 б).

- Сделать заключение о принадлежности испытанного гипса к одной из трех групп гипсовых вяжущих по срокам схватывания.

## 7.2. Лабораторная работа №9

### Портландцемент: водопотребность, сроки схватывания, равномерность изменения объема

*Перед выполнением лабораторных работ №№ 9–11 необходимо ознакомиться с теоретической частью по пп. 4.1–4.3. настоящих методических указаний.*

#### Задание 1.

Ознакомиться с методикой определения водопотребности цемента по ГОСТ 310.3–76.

**Методика:** определение глубины погружения пестика прибора Вика в цементное тесто.

Водопотребность цемента характеризуется количеством воды в % массы цемента, необходимым для получения цементного теста нормальной густоты. *Нормальной густотой цементного теста считают такую его консистенцию, при которой пестик прибора Вика при стандартном испытании не доходит до пластинки на 5...7 мм.*

**Оборудование:** прибор Вика, кольцо к прибору Вика, пластинка из стекла или оргстекла, чаша сферической формы, лопатка, весы, секундомер, мерный цилиндр.

**Проведение испытания.** Для определения нормальной густоты цементного теста в нижнюю часть стержня прибора Вика (рис. 7.2) вставляют металлический пестик диаметром 10 мм.

Перед началом испытания проверяют прибор Вика, пластинку и кольцо смазывают тонким слоем машинного масла.

Для ручного приготовления цементного теста отвешивают 400 г цемента, высыпают его в чашу (рис. 7.4), предварительно протертую влажной тканью. Затем делают в цементе углубление, в которое вливают в один прием воду в количестве, ориентировочно необходимом для получения цементного теста нормальной густоты (обычно 24...26%). Углубление засыпают цементом и через 30 с после добавления воды сначала осторожно перемешивают, а затем энергично растирают тесто лопаткой (рис. 7.4) в течение 5 минут. При механическом приготовлении цементного теста в растворосмесителе руководствуются инструкцией к прибору.



Рис. 7.4. Чаша и лопатка для затворения цемента

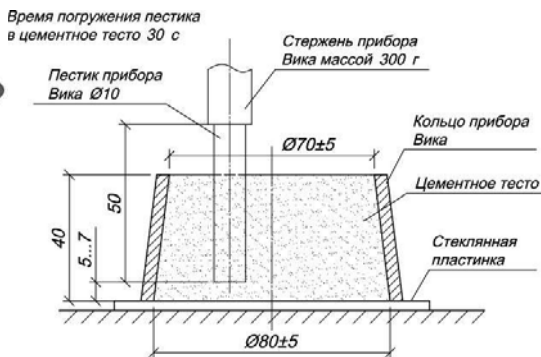


Рис. 7.5. Схема определения нормальной густоты цементного теста

Кольцо прибора Вика, установленное на пластинке (рис. 7.5), наполняют в один прием цементным тестом и пять-шесть раз встряхивают его, постукивая пластинку о твердое основание. Избыток теста срезают вровень с краями кольца ножом, протертым влажной тканью.

Пластинку с кольцом помещают на основание прибора Вика, приводят пестик в соприкосновение с поверхностью теста в центре кольца и закрепляют стержень стопорным винтом, затем быстро освобождают его и предоставляют пестику свободно погружаться в тесто. Через 30 с, начиная с момента освобождения стержня, фиксируют отсчет погружения по шкале.

При несоответствующей консистенции цементного теста корректируют количество воды и эксперимент повторяют. Нормальную густоту определяют с точностью до 0,25 %.

## Задание 2.

Ознакомьтесь с методикой определения сроков схватывания цементного теста по ГОСТ 310.3–76.

**Методика:** определение глубины погружения иглы прибора Вика в цементное тесто нормальной густоты.

**Оборудование:** то же, что в задании 1.

**Проведение испытания.** Для определения сроков схватывания цемента в нижнюю часть стержня прибора Вика вставляют иглу длиной 50 мм, площадью поперечного сечения  $1 \text{ мм}^2$ .

Перед началом испытания проверяют прибор Вика, а также чистоту поверхности и отсутствие искривлений иглы.

Для приготовления цементного теста отвешивают 400 г цемента, воду берут в количестве, необходимом для получения цементного теста нормальной густоты. Готовят цементное тесто и укладывают его в кольцо, как описано в задании 1.

Иглу прибора Вика доводят до соприкосновения с поверхностью цементного теста. В этом положении закрепляют стержень стопором, затем освобождают стержень, давая игле свободно погружаться в тесто (рис. 7.6).

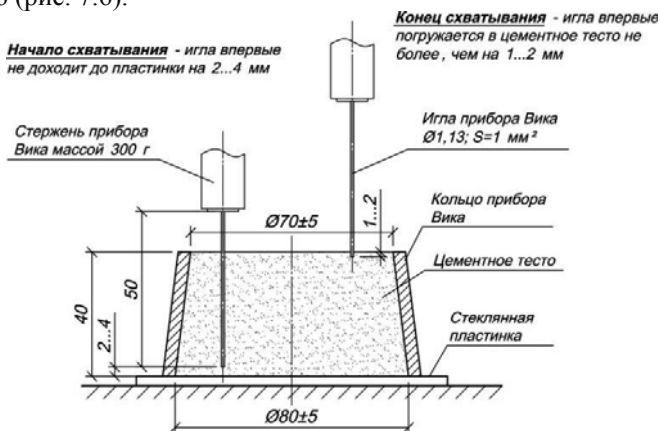


Рис. 7.6. Схема определения сроков схватывания цементного теста

Иглу погружают в тесто через каждые 10 мин, передвигая кольцо после каждого погружения для того, чтобы игла не попадала в прежнее место. После каждого погружения иглу вытирают.

**Начало схватывания** – время от начала затворения цемента до того момента, когда игла впервые не доходит до пластины на 2...4 мм.

**Конец схватывания** – время от начала затворения цемента до момента, когда игла впервые опускается в тесто не более чем на 1...2 мм.

### Задание 3.

Ознакомьтесь с методикой определения равномерности изменения объема портландцемента по ГОСТ 310.3–76.

**Методика:** определение повреждений лепешек, изготовленных из цементного теста нормальной густоты, после кипячения в течение 3-х часов.

**Оборудование:** чаша сферической формы, лопатка, весы, пластинка из стекла или оргстекла, ванна с гидравлическим затвором, бачок для кипячения лепешек с регулятором уровня воды, часы.

**Проведение испытания.** Готовят тесто нормальной густоты по методике, описанной в задании 1. Две навески теста массой 75 г каждая, приготовленные в виде шариков, помещают на стеклянную пластинку, предварительно протертую машинным маслом. Постукивая пластинкой о твердое основание, добиваются образования из шариков лепешек диаметром 7...8 см и толщиной в середине около 1 см (рис. 7.9). Лепешки заглаживают смоченным водой ножом, придавая им гладкую поверхность и острые края.



Рис. 7.7. Ванна с гидравлическим затвором



Рис. 7.8. Бачок для кипячения образцов

Лепешки на пластине помещают в ванну с гидравлическим затвором (рис. 7.7), где хранят в течение  $(24 \pm 2)$  ч с момента изготовления. В ванне с гидравлическим затвором поддерживается комнатная температура –  $(20 \pm 2)^\circ\text{C}$  и влажность 95...100 %.

Затем лепешки вынимают из ванны, снимают с пластинок и помещают в бачок на съемную решетку (рис. 7.8). Воду в бачке доводят до кипения, которое поддерживают в течение 3 ч. В процессе кипячения вода должна покрывать лепешки на 4...6 см.

После кипячения лепешки охлаждают в бачке и производят их визуальный осмотр немедленно после извлечения из воды.

Цемент соответствует требованиям стандарта в отношении равномерности изменения объема, если на лицевой стороне лепешек не обнаружено радиальных, доходящих до краев, трещин или сетки мелких трещин, видимых невооруженным глазом или в лупу, а также каких-либо искривлений и увеличения объема лепешек (рис. 7.9). Допускается в первые сутки после испытания появление трещин усыхания, не доходящих до краев лепешек.



Рис. 7.9. Внешний вид образцов до и после испытания на равномерность изменения объема по ГОСТ 310.3–76

### 7.3. Лабораторная работа №10

#### Портландцемент: изготовление стандартных образцов, определение активности и марки

##### Задание 1.

Ознакомиться с методикой определения стандартной консистенции цементно-песчаного раствора по ГОСТ 310.4–81.

**Методика:** определение диаметра расплыва конуса из цементно-песчаного раствора на встряхивающем столике.

**Оборудование:** сферическая чаша и лопатка (или растворосмеситель), встряхивающий столик, форма-конус с насадкой, штыковка, весы, мерный цилиндр, штангенциркуль, секундомер.

**Проведение испытания.** Для определения стандартной консистенции цементно-песчаного раствора отвешивают 500 г цемента,



1500 г стандартного монофракционного песка (соотношение по массе цемент : песок = 1 : 3), и, в первом приближении, 200 г воды ( $V/C=0,4$ ). Песок и цемент высыпают в предварительно протертую мокрой тканью сферическую чашу и перемешивают лопаткой в течение 1 мин. Затем в центре сухой смеси делают лунку, вливают в нее воду, дают воде впитаться в течение 0,5 мин и тщательно перемешивают смесь в течение 5 мин. Возможно использование растворосмесителя.

Форму-конус с насадкой устанавливают в центр диска встряхивающего столика (рис. 7.10, 7.11). Внутреннюю поверхность конуса и диск столика перед испытанием протирают влажной тканью.

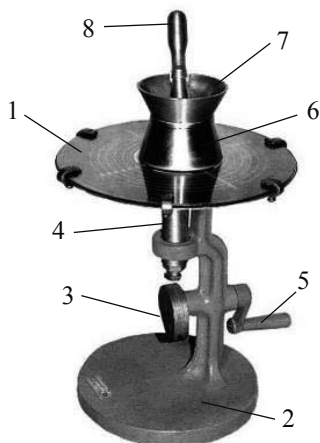


Рис. 7.10. Встряхивающий столик:

- 1 – диск; 2 – станина; 3 – кулачок;
- 4 – шток; 5 – рукоятка; 6 – форма-конус;
- 7 – насадка на форму; 8 – штыковка.

Форму-конус заполняют раствором на половину высоты и уплотняют 15-ю штыкованиями металлической штыковкой диаметром 20 мм и массой около 400 г. Затем наполняют конус раствором с небольшим избытком и штыкуют еще 10 раз.

После уплотнения верхнего слоя снимают насадку, избыток раствора удаляют ножом, протертым влажной тканью, расположенным под небольшим углом к торцевой поверхности конуса, заглаживая с нажимом раствор вровень с краями конуса, затем конус снимают вертикально вверх.

Полученный растворный конус встряхивают на столике 30 раз за  $(30 \pm 5)$  с. Высота подъема подвижной части столика составляет  $(10 \pm 0,5)$  мм. После этого штангенциркулем измеряют диаметр конуса по нижнему основанию в двух взаимно перпендикулярных направлениях и рассчитывают среднее значение. Расплыв конуса должен быть в пределах 106...115 мм. Если результат окажется вне указанных пределов, количество воды необходимо скорректировать и повторить испытание.

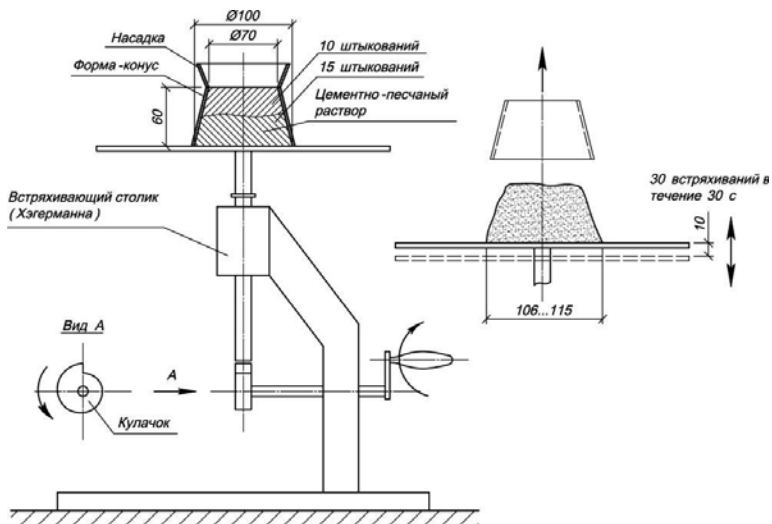


Рис. 7.11. Схема определения распыла конуса из цементно-песчаного раствора на встряхивающем столике

## Задание 2.

Ознакомьтесь с методикой изготовления стандартных образцов для определения активности цемента по ГОСТ 310.4–81.

**Методика:** формование образцов из цементно-песчаного раствора стандартной консистенции.

**Оборудование:** сферическая чаша и лопатка (или растворосмеситель), трехгнездовая форма для изготовления образцов-балочек размером 4×4×16 см, насадка к форме, лабораторная виброплощадка, ванна с гидравлическим затвором, весы, мерный цилиндр, секундомер.

**Проведение испытания.** Перед изготовлением образцов форму (рис. 7.12) слегка смазывают машинным маслом. На собранную форму устанавливают насадку. В одной форме изготавливают 3 образца размером 4×4×16 см.

Приготовленный цементно-песчаный раствор стандартной консистенции используют для изготовления образцов. Форму с насадкой закрепляют в центре виброплощадки (рис. 7.13). Виброплощадка имеет вертикальные колебания с амплитудой  $(0,35 \pm 0,03)$  мм и частотой 50 Гц (рис. 7.14).

Форму наполняют приблизительно на 1 см по высоте раствором и включают виброплощадку.



Рис.7.12. Трехгнездовая форма для изготовления образцов-балочек размером 4×4×16 см



Рис. 7.13. Виброплощадка

В течение первых 2 мин вибрации все три гнезда формы равномерно небольшими порциями заполняют раствором. По истечении 3 мин от начала вибрации виброплощадку отключают. Форму снимают с виброплощадки, снимают насадку, избыток раствора удаляют ножом, заглаживая раствор вровень с краями формы. Образцы маркируют.

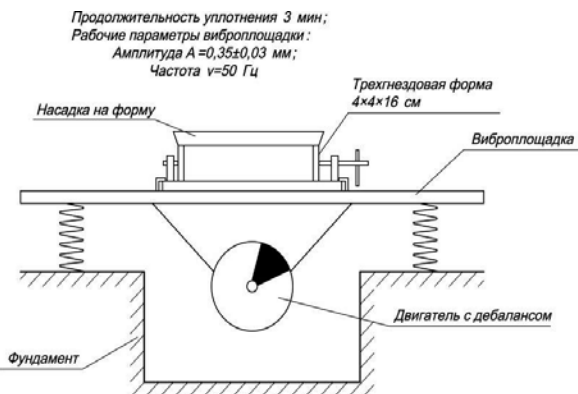


Рис. 7.14. Схема уплотнения цементного раствора в формах

**Условия хранения образцов до испытания.** После изготовления образцы в формах хранят  $(24\pm 1)$  ч в ванне с гидравлическим затвором (рис. 7.15) или в шкафу, обеспечивающем относительную влажность воздуха не менее 90% и температуру  $(20\pm 2)^\circ\text{C}$ .

Через сутки образцы расформовывают и укладывают их на 27 суток в ванны с водой с температурой  $(20\pm 2)^\circ\text{C}$ .

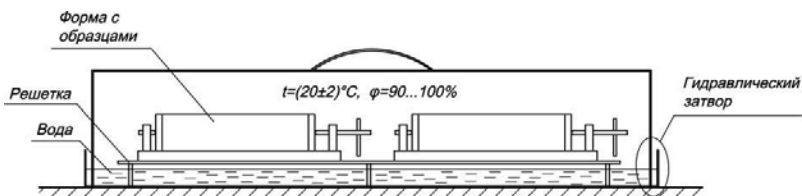


Рис. 7.15. Схема хранения образцов в ванне с гидравлическим затвором

### Задание 3.

Ознакомьтесь с методикой испытания стандартных цементных образцов-балочек на изгиб и сжатие по ГОСТ 310.4–81.

**Методика:** испытание образцов-балочек на изгиб, испытание половинок балочек на сжатие.

**Оборудование:** устройство для испытания образцов-балочек на изгиб, пресс гидравлический, стальные нажимные пластины.

**Продолжительность твердения образцов** – 28 суток.

**Проведение испытания.** По истечении срока хранения образцы вынимают из воды и не позднее, чем через 30 мин подвергают испытанию, предварительно протерев тканью.



Рис. 7.16. Устройство для испытания образцов-балочек на изгиб

Для определения предела прочности при изгибе образец зажимают между тремя роликовыми опорами (рис. 7.16, 7.17). Расстояние (в осях) между нижними опорами 100 мм; через верхнюю опору передается изгибающее усилие.

Образец устанавливают таким образом, чтобы те его грани, которые были горизонтальными при изготовлении, находились в вертикальном положении. Средняя скорость нарастания нагрузки на образец должна быть  $(0,05 \pm 0,01)$  кН/с.

Предел прочности образца при изгибе (МПа) определяют по формуле:  $R_{II} = \frac{3 F_P \cdot l}{2 b \cdot h^2} \cdot 10 = 2,344 \cdot F_P$ ;

где:  $F_P$  – разрушающая нагрузка, кН;

$l = 10$  см – расстояние между опорами;

$b = h = 4$  см – ширина и высота поперечного сечения образца.

Предел прочности при изгибе вычисляют как среднее арифметическое значение из двух наибольших результатов испытания трех образцов.

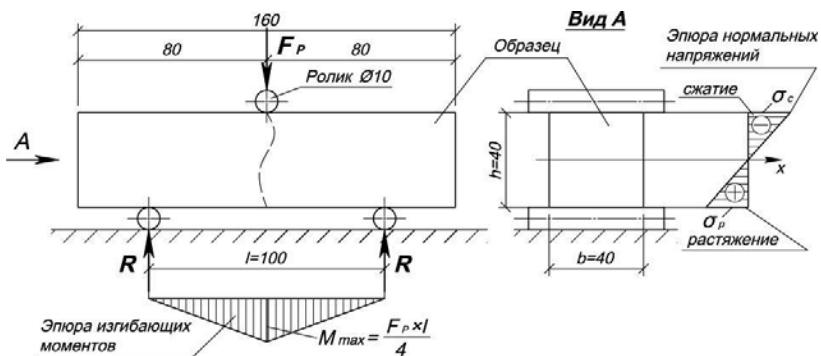


Рис. 7.17. Схема испытания образцов-балочек на изгиб

Полученные после испытания на изгиб шесть половинок балочек испытывают на сжатие на гидравлическом прессе. Для того, чтобы результаты испытания половинок балочек были сопоставимы, несмотря на разный размер образующихся при испытании на изгиб образцов, используют стандартные металлические нажимные пластины с площадью  $25 \text{ см}^2$ . Через них нагрузка от плит пресса передается на образец. Образцы помещают между двумя пластинами таким образом, чтобы боковые грани, которые при изготовлении прилегали к продольным стенкам форм, находились на плоскостях пластин, а упоры пластин плотно прилегали к торцевой грани образца. Образец вместе с пластинами подвергают сжатию на прессе (рис. 7.18). Средняя скорость нарастания нагрузки при испытании должна быть  $(2,0 \pm 0,5) \text{ МПа/с}$ .

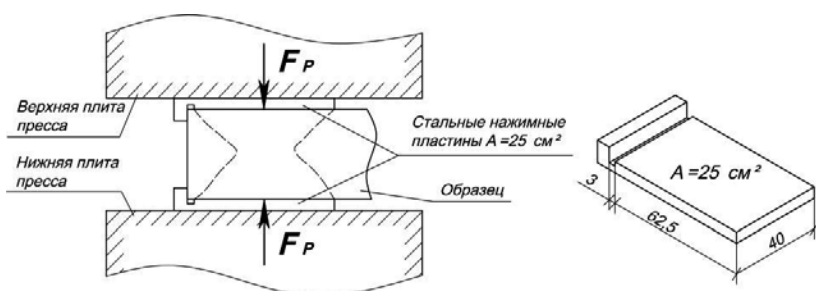


Рис. 7.18. Схема испытания половинок образцов-балочек на сжатие

Предел прочности образца на сжатие (МПа) определяют по формуле:  $R_c = \frac{F_p}{A} \cdot 10$ ;

где:  $F_p$  – разрушающая нагрузка, кН.

$A=25 \text{ см}^2$  – рабочая площадь пластины.

Предел прочности при сжатии вычисляют как среднее арифметическое значение из четырех наибольших результатов испытания шести образцов, определяя **активность цемента** – фактическую прочность на сжатие образцов цементно-песчаного раствора, изготовленных и испытанных в соответствии со стандартом.

На основании полученных результатов устанавливают марку цемента (см. табл. 4.6).

#### 7.4. Лабораторная работа №11

##### Стандартные методы испытания портландцемента по ГОСТ 30744–2001

###### Задание 1.

Ознакомиться с методикой определения водопотребности портландцемента

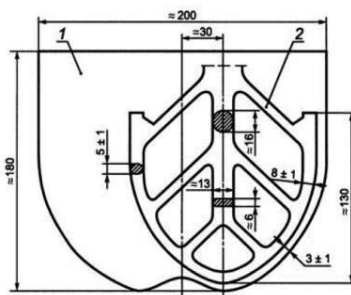
Методика определения водопотребности аналогична ГОСТ 310.3–76 (см. лабораторную работу №9) за следующими отличиями:

1. Допускается только механизированное приготовление цементного теста в течение 3 минут в растворосмесителе определённой конструкции (рис. 7.19.);

2. Кольцо прибора Вика заполняется цементным тестом без уплотнения или вибрации.



а)



б)

Рис. 7.19. Растворосмеситель: а) общий вид; б) чаша (1) и лопасть (2)

## Задание 2.

Ознакомиться с методикой определения сроков схватывания портландцемента

**Методика:** определение глубины погружения иглы прибора Вика в цементное тесто нормальной густоты.

**Оборудование:** прибор Вика с длинной и короткой иглами, кольцо к прибору Вика, пластинка из стекла или оргстекла, растворосмеситель, весы, мерный цилиндр, часы.

**Проведение испытания.** В нижнюю часть стержня прибора Вика вставляют длинную (50 мм) иглу, площадью поперечного сечения 1 мм<sup>2</sup>. Отвешивают 400 г цемента, готовят цементное тесто нормальной густоты в растворосмесителе и заполняют им кольцо прибора Вика без уплотнения или вибрации (как в задании 1). Иглу прибора Вика доводят до соприкосновения с поверхностью цементного теста. В этом положении закрепляют стержень стопором, затем освобождают стержень, давая игле свободно погружаться в тесто (рис. 7.21).

**Время погружения иглы в цементное тесто – 30 с.** По истечении 30 с берут отсчет по шкале прибора Вика. Иглу погружают в тесто через каждые 10 мин, передвигая кольцо после каждого погружения для того, чтобы игла не попадала в прежнее место. После каждого погружения иглу вытирают.

**Начало схватывания** – время от начала затворения цемента водой до момента, когда игла при проникновении в цементное тесто не доходит до пластинки на 3...5 мм.



Рис. 7.20.  
Короткая игла к прибору Вика

Для определения конца схватывания длинную иглу в приборе Вика заменяют на короткую иглу с кольцеобразной насадкой (рис. 7.20).

Кольцо с цементным тестом, использованное для определения начала схватывания, переворачивают таким образом, чтобы определение конца схватывания проводить на поверхности, контактировавшей с пластинкой (рис. 7.21). Иглу осторожно опускают до соприкосновения с поверхностью цементного теста, погружение иглы выполняют с интервалом 30 мин. При приближении конца схватывания интервалы времени между погружениями могут быть сокращены.

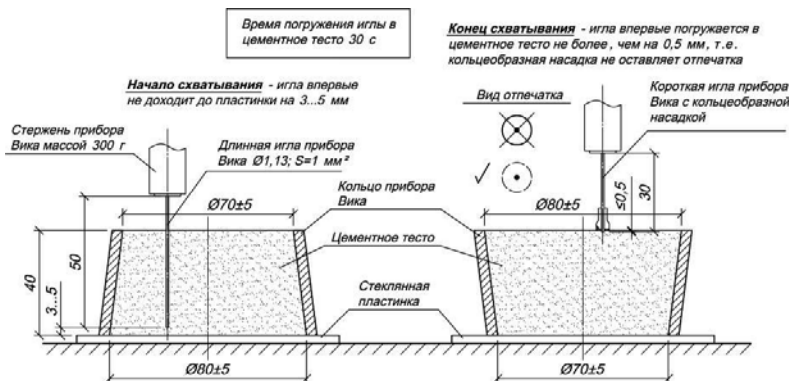


Рис. 7.21. Схема определения сроков схватывания цементного теста в соответствии с ГОСТ 30744–2001

**Конец схватывания** – время от начала затворения цемента водой до момента, когда игла проникает в цементное тесто не более чем на 0,5 мм, что соответствует положению иглы, при котором кольцеобразная насадка впервые не оставляет отпечатка на поверхности цементного теста.

### Задание 3.

Ознакомиться с методикой определения равномерности изменения объема портландцемента

**Методика:** определение величины расширения образца из цементного теста нормальной густоты в кольце Ле-Шателье при кипячении.

**Оборудование:** растворосмеситель, весы, мерный цилиндр, кольца Ле-Шателье в комплекте с пластинками и пригрузом, бачок для кипячения с подставкой для размещения колец Ле-Шателье, камера (шкаф) влажного хранения, штангенциркуль.

Кольцо Ле-Шателье (рис. 7.22 а), изготовленное из латуни, представляет собой разрезанный по образующей полый цилиндр с двумя индикаторными иглами, припаянными по обе стороны на одинаковом расстоянии от прорези. Кольцо должно быть снабжено двумя стеклянными пластинками, размеры которых превышают диаметр кольца. На одну из пластинок устанавливают кольцо, вторую накладывают сверху. Масса верхней пластинки с дополнительным пригрузом должна быть не менее 75 г.

**Проведение испытания.** Кольца и пластинки перед началом испытания смазывают тонким слоем машинного масла. При помощи растворосмесителя готовят цементное тесто нормальной густоты.



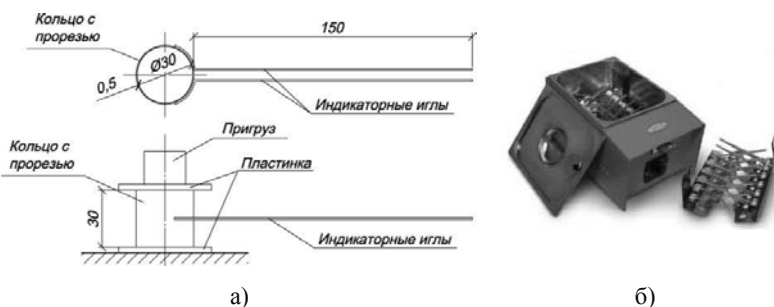


Рис. 7.22. Оборудование для определения равномерности изменения объема порландцемента в соответствии с ГОСТ 30744–2001  
 а) кольцо Ле-Шателье; б) водяная баня Ле-Шателье

Кольца устанавливают на пластинки и наполняют в один прием цементным тестом с избытком, но без уплотнения или вибрации. При заполнении колец исключают случайное раскрытие прорези осторожным сдавливанием кольца пальцами или резиновой лентой. Избыток цементного теста срезают ножом вровень с краями кольца. Для одного испытания заполняют два кольца из одного замеса цементного теста.

Кольца, заполненные цементным тестом, накрывают сверху пластинками, на которые устанавливают пригруз, и помещают в камеру влажного хранения, где выдерживают в течение  $(24 \pm 0,5)$  ч.

После предварительного твердения кольца извлекают из камеры, измеряют штангенциркулем расстояние между концами индикаторных игл с точностью до 0,5 мм (начальное измерение), освобождают от пластинок и пригруза и помещают в бачок для кипячения (рис. 7.22 б) индикаторными иглами вверх. Воду в бачке доводят до кипения и выдерживают кольца в кипящей воде в течение  $(180 \pm 5)$  мин. После окончания кипячения кольца извлекают из воды, дают им остыть до температуры помещения, после чего измеряют расстояние между концами индикаторных игл (конечное измерение).

**Обработка результатов.** Вычисляют разность между значениями конечного и начального измерений для каждого кольца.

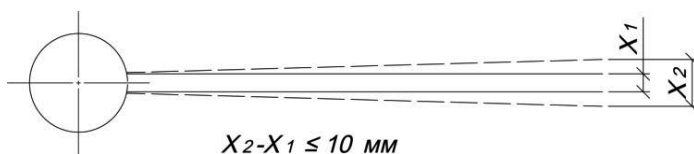


Рис. 7.23. Схема определения равномерности изменения объема порландцемента в соответствии с ГОСТ 30744–2001

За расширение образцов в кольце Ле-Шателье принимают среднеарифметическое значение результатов двух определений, которое не должно превышать 10 мм.

#### Задание 4.

Ознакомиться с методикой изготовления стандартных образцов для определения класса цемента по прочности

**Методика:** формование образцов из цементно-песчаного раствора.

**Оборудование:** растворосмеситель, трехгнездовая форма для изготовления образцов-балочек размером 4×4×16 см, насадка к форме, встряхивающий стол, ванна с гидравлическим затвором или камера влажного хранения, весы, мерный цилиндр, секундомер.

**Проведение испытания.** Класс цемента определяется по результатам испытаний трех образцов-балочек размером 4×4×16 см. Образцы изготавливают из цементно-песчаного раствора, состоящего из цемента и *стандартного полифракционного песка* в соотношении 1:3 по массе *при постоянном водоцементном отношении, равном 0,5*. Для приготовления одного замеса цементного раствора отвешивают 450 г цемента, используют одну упаковку стандартного полифракционного песка массой 1350 г и отмеривают 225 г воды.

Компоненты перемешивают в растворосмесителе по определенному режиму в течение 240 с (4 мин).

На предварительно смазанную машинным маслом форму устанавливают насадку, форму помещают на платформу встряхивающего стола и закрепляют зажимами. Встряхивающий стол для уплотнения раствора в форме (рис. 7.24) обеспечивает подъем платформы стола на высоту  $(15 \pm 0,3)$  мм и ее свободное падение с этой высоты до удара о неподвижную преграду.



Рис. 7.24. Встряхивающий стол для уплотнения цементного раствора в формах по ГОСТ 30744–2001

Форму заполняют первым слоем раствора примерно на половину высоты, разравнивают раствор лопаткой, включают встряхивающий стол и уплотняют раствор за 60 ударов. После уплотнения первого слоя форму заполняют вторым слоем раствора, разравнивают его и снова включают встряхивающий стол, уплотняя второй слой цементного раствора за 60 ударов.

По окончании уплотнения с формы снимают насадку, ножом удаляют излишек цементного раствора, выравнивают поверхность образцов и производят их маркировку. На каждый срок испытания изготавливается по 3 образца.

Форму с образцами накрывают пластинкой и помещают на полку в камеру (шкаф) влажного хранения на  $(24 \pm 1)$  ч. Затем образцы расформовывают и помещают на решетки в ванну с водой при температуре  $(20 \pm 1)^\circ\text{C}$  где и хранят до испытания. Три образца испытывают в возрасте 28 суток, а еще три – в промежуточном возрасте – 2 или 7 суток.

### Задание 5.

Ознакомиться с методикой испытания стандартных цементных образцов–балочек на изгиб и сжатие

Методика испытания стандартных образцов на изгиб и сжатие аналогична методике ГОСТ 310.4–81 (см. лабораторную работу №10). Отличие состоит в обработке результатов: за прочность при изгибе принимают среднеарифметическое значение результатов испытаний трех образцов, за прочность при сжатии принимают среднеарифметическое значение результатов испытаний шести половинок образцов-балочек. По значению прочности образцов при сжатии в возрасте 2 (7) и 28 суток по табл. 4.7 определяют класс цемента. Прочность образцов при изгибе при назначении класса цемента не учитывается.

**По окончании выполнения лабораторного практикума необходимо:**

- Выполнить в журнале лабораторных работ домашнее задание по теме «Неорганические вяжущие вещества».
- Ответить на контрольные вопросы по теме.

## 8. КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

1. Что такое неорганические вяжущие вещества?
2. Каким образом классифицируются неорганические вяжущие вещества? Дать характеристику отдельных групп.
3. Как производят воздушную известь? Какие существуют виды воздушной строительной извести? Каковы области применения воздушной извести?
4. Каковы основные показатели качества воздушной строительной извести?
5. В результате каких процессов происходит твердение гашёной и негашёной воздушной извести?
6. Как производят гипсовые вяжущие вещества? Какие существуют разновидности гипсовых вяжущих веществ? Каковы области применения гипсовых вяжущих?
7. Напишите уравнение реакции гидратации строительного гипса.
8. Каковы основные показатели качества гипсовых вяжущих веществ? Что означает марка гипса Г–10 А II ?
9. Как определить стандартную консистенцию гипсового теста?
10. Как определить сроки схватывания гипса?
11. Как определить марку гипсового вяжущего по прочности?
12. Каким образом получают портландцемент? Какие сырьевые материалы используют при производстве клинкера портландцемента? Какие существуют способы производства портландцементного клинкера? В чём их отличие?
13. Каковы химический и минеральный составы портландцементного клинкера?
14. Напишите уравнения реакций гидратации основных клинкерных минералов. Для чего в состав портландцемента вводится добавка гипса?
15. Назовите основные показатели качества портландцемента.
16. Как определить нормальную плотность цементного теста по ГОСТ 310.3–76?
17. Как определить сроки схватывания портландцемента по ГОСТ 310.3–76? Каковы требования ГОСТ 10178–85 к срокам схватывания портландцемента?
18. Как определить равномерность изменения объёма портландцемента по ГОСТ 310.3–76? В чём состоит причина неравномерного изменения объёма?
19. Как определить активность и марку портландцемента с использованием монофракционного песка по ГОСТ 310.4–81?

20. Каковы основные области применения портландцемента?
21. Назовите и дайте краткую характеристику специальных видов портландцемента.
22. Каким образом получают глинозёмистый цемент? Каков минеральный и химический состав глинозёмистого цемента?
23. Напишите уравнение реакции гидратации основного минерала глинозёмистого цемента. Каковы особенности твердения глинозёмистого цемента при нормальных и повышенных температурах?
24. Назовите основные показатели качества глинозёмистого цемента. В чем состоят особенности свойств глинозёмистого цемента?
25. Приведите рациональные области применения глинозёмистого цемента?

*Дополнительные вопросы по лабораторной работе №11.*

26. Каким образом классифицируются портландцементы по ГОСТ 31108–2003.
27. Как определить нормальную плотность цементного теста по ГОСТ 30744–2001?
28. Как определить сроки схватывания портландцемента по ГОСТ 30744–2001? Каковы требования ГОСТ 31108–2003 к срокам схватывания портландцемента?
29. Как определить равномерность изменения объёма портландцемента по 30744–2001?
30. Как определить активность и класс прочности портландцемента с использованием полифракционного песка по 30744–2001?

### Библиографический список

1. Строительные материалы. Материаловедение. Технология конструкционных материалов : учеб. для вузов / В.Г. Микульский [и др.]; под ред. В.Г. Микульского, Г.П.Сахарова. - [5-е изд., доп. и перераб.]. – М.: Изд-во АСВ, 2011. – 519 с.
2. Минеральные вяжущие вещества : Учебник для вузов / А.В. Волженский. – 4-е изд., перераб. и доп. – М.: Стройиздат, 1986. – 464 с.
3. Оценка качества строительных материалов: Учебное пособие / К.Н. Попов, М.Б. Каддо, О.В. Кульков. – [3-е изд. стер.]. – М.: Изд-во «Студент», 2012. – 287 с.
4. Технология бетона : Учебник / Ю.М. Баженов. – 5-е изд. – М.: Изд-во АСВ, 2011. – 528 с.
5. ГОСТ 10178–85. Портландцемент и шлакопортландцемент. Технические условия.
6. ГОСТ 310.1–76. Цементы. Методы испытания. Общие положения.
7. ГОСТ 310.2–76. Цементы. Методы определения тонкости помола.
8. ГОСТ 310.3–76. Цементы. Методы определения нормальной густоты, сроков схватывания и равномерности изменения объема.
9. ГОСТ 310.4–81. Цементы. Методы определения предела прочности при изгибе и сжатии.
10. ГОСТ 30515–2013. Цементы. Общие технические условия.
11. ГОСТ 31108–2003. Цементы общестроительные. Технические условия.
12. ГОСТ 30744–2001. Цементы. Методы испытаний с использованием полифракционного песка.
13. ГОСТ 125–79. Вяжущие гипсовые. Технические условия.
14. ГОСТ 23789–79. Вяжущие гипсовые. Методы испытаний.
15. ГОСТ 9179–77. Известь строительная. Технические условия.
16. ГОСТ 22688–77. Известь строительная. Методы испытаний.
17. ГОСТ 969–91. Цементы глиноземистые и высокоглиноземистые. Технические условия.
18. ГОСТ 965-89. Портландцементы белые. Технические условия.
19. ГОСТ 22266-2013. Цементы сульфатостойкие. Технические условия.
20. ГОСТ Р 55224–2012. Цементы для транспортного строительства. Технические условия.

## СОДЕРЖАНИЕ

1. ОБЩИЕ СВЕДЕНИЯ .....	3
2. ВОЗДУШНАЯ СТРОИТЕЛЬНАЯ ИЗВЕСТЬ .....	4
2.1. Общие сведения .....	4
2.2. Показатели качества и свойства .....	5
2.3. Применение .....	7
3. ГИПСОВЫЕ ВЯЖУЩИЕ ВЕЩЕСТВА .....	8
3.1. Общие сведения .....	8
3.2. Показатели качества и свойства .....	9
3.3. Применение .....	12
4. ПОРТЛАНДЦЕМЕНТ .....	12
4.1. Общие сведения .....	12
4.2. Показатели качества и свойства .....	18
4.3. Применение .....	24
5. СПЕЦИАЛЬНЫЕ ВИДЫ ПОРТЛАНДЦЕМЕНТА .....	24
6. ГЛИНОЗЕМИСТЫЙ ЦЕМЕНТ .....	29
6.1. Общие сведения .....	29
6.2. Показатели качества и свойства .....	31
6.3. Применение .....	32
7. ЛАБОРАТОРНЫЙ ПРАКТИКУМ .....	32
7.1. Лабораторная работа №8 .....	32
7.2. Лабораторная работа №9 .....	36
7.3. Лабораторная работа №10 .....	40
7.4. Лабораторная работа №11 .....	46
8. КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ .....	52
Библиографический список .....	54

## НЕОРГАНИЧЕСКИЕ ВЯЖУЩИЕ ВЕЩЕСТВА

Составители: **Семенов** Вячеслав Сергеевич, **Сканави** Наталья Алексеевна,  
**Ефимов** Борис Александрович

Подписано в печать 13.04.2015 г. И-68. Формат 60×84/16.  
Усл.-печ. л. 3,25. Уч.-изд. л. 2,98. Тираж 150 экз. Заказ 103

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение  
высшего профессионального образования  
«Московский государственный строительный университет».

129337, Москва, Ярославское ш., 26  
Издательство МИСИ – МГСУ.

Тел. (495) 287-49-14, вн. 13-71, (499) 188-29-75, (499) 183-97-95.  
E-mail: [ric@mgsu.ru](mailto:ric@mgsu.ru), [rio@mgsu.ru](mailto:rio@mgsu.ru).

Отпечатано в типографии Издательства МИСИ – МГСУ.  
Тел. (499) 183-91-90, (499) 183-67-92, (499) 183-91-44