

Министерство образования и науки Российской Федерации
Волгоградский государственный архитектурно-строительный университет

ВЯЖУЩИЕ ВЕЩЕСТВА

Методические указания к лабораторным работам

Составители О. К. Потапова, Т. К. Цебоева

**Волгоград
ВолгГАСУ
2016**



© Федеральное государственное бюджетное
образовательное учреждение
высшего профессионального образования
«Волгоградский государственный
архитектурно-строительный университет», 2016

УДК 691.5(076.5)
ББК 38.32я73
В99

- В99 **Вязущие** вещества [Электронный ресурс]: методические указания к лабораторным работам / М-во образования и науки Рос. Федерации, Волгогр. гос. архит.-строит. ун-т; сост. О. К. Потапова, Т. К. Цебоева. — Электронные текстовые и графические данные (0,3 Мбайт). — Волгоград: ВолгГАСУ, 2016. — Учебное электронное издание сетевого распространения. — Систем. требования: PC 486 DX-33; Microsoft Windows XP; Internet Explorer 6.0; Adobe Reader 6.0. — Официальный сайт Волгоградского государственного архитектурно-строительного университета. Режим доступа: <http://www.vgasu.ru/publishing/on-line/> — Загл. с титул. экрана.

Изложены методы определения свойств портландцемента в соответствии с современными стандартами и стандартизированными методиками.

Для студентов направления 08.03.01 «Строительство» профиля подготовки «Производство строительных материалов, изделий и конструкций» всех форм обучения.

УДК 691.5(076.5)
ББК 38.32я73

Введение

Цель лабораторных работ состоит в изучении основных свойств портландцемента и методов их определения.

Цементы, как любая другая продукция промышленных предприятий в нашей стране, регламентируется государственными стандартами — ГОСТами, определяющими название, состав, свойства этих цементов и методы их испытания.

Настоящие методические указания рассматривают ряд физических свойств цементов: истинную и насыпную плотность, тонкость помола и удельную поверхность, определение которых позволяет судить о качестве цемента и делать предварительные выводы о его составе и количестве введенных в него добавок.

Эти физические свойства необходимо знать как заводу-изготовителю, так и заводу-потребителю.

Настоящие методические указания имеют целью дать подробное описание методик определения физических свойств цементов применительно к оборудованию кафедры, максимально приблизив их выполнение к условиям заводских и научно-исследовательских лабораторий, познакомить студентов с основными ГОСТами на цементы и требованиями кафедры к выполнению и оформлению лабораторных работ.

Перечень лабораторных работ составлен на основе утвержденной программы по дисциплине «Вязущие вещества».

В данных методических указаниях рассмотрены пять работ, посвященных исследованию свойств портландцемента.

В процессе работы каждый студент в специальной тетради ведет рабочий журнал, в который заносятся полученные экспериментальные данные и их обработка.

На основе рабочего журнала каждый студент составляет индивидуальный отчет о проделанных работах по форме, принятой при составлении отчетов о научных исследованиях. Отчет должен включать следующие разделы:

- основные теоретические положения по каждой теме;
- общая методика работы;
- описание данных, полученных в работе (данные представляются в виде таблиц и графиков);
- анализ экспериментальных данных;
- выводы и рекомендации.

Отчет оформляется на стандартных листах бумаги формата А4 размером 210 x 297 мм. Форма титульного листа отчета приведена в прил. 1.

Контрольные вопросы для подготовки к отчету приведены в приложении 2.

Портландцементом называют гидравлическое вяжущее вещество, в составе которого преобладают силикаты кальция (70...80 %). Портландцемент — продукт тонкого измельчения клинкера с добавкой гипса (3...5 %). Клинкер представляет собой материал, полученный обжигом до спекания (при 1450 °С) сырьевой смеси, состоящей в основном из углекислого кальция (известняки различного вида) и алюмосиликатов (глины, мергеля, доменного шлака и др.). Гипс вводится для регулирования сроков схватывания портландцемента.

В соответствии с ГОСТ 30515-97 цементы подразделяют:

- по назначению на общестроительные и специальные (быстро-, особобыстро- и сверхбыстротвердеющий цемент; сульфатостойкий; пластифицированный портландцемент, гидрофобный портландцемент, вяжущие низкой водопотребности; портландцементы с минеральными добавками; цементы для асбестоцементных изделий, цементы для дорожных и аэродромных покрытий, пуццолановый портландцемент, шлакопортландцемент, гипсоцементнопуццолановые вяжущие; белый и цветные портландцементы; тампонажный портландцемент; глиноземистый цемент; расширяющиеся и безусадочные цементы и т. д.);

- по виду клинкера на основе портландцементного клинкера, глиноземистого (высокоглиноземистого) клинкера и сульфоалюминатного (-ферритного) клинкера;

- по вещественному составу на портландцемент (без минеральных добавок) и портландцемент с добавками (с активными минеральными добавками не более 20 %); шлакопортландцемент (с добавками гранулированного шлака более 20 %);

- по скорости твердения общестроительные цементы подразделяют на нормальнотвердеющие — с нормированием прочности в возрасте 2 (7) и 28 суток и быстротвердеющие — с нормированием прочности в возрасте 2 и 28 суток;

- по срокам схватывания на медленносхватывающиеся (начало схватывания более 2 ч); нормальнотвердеющие (начало схватывания от 45 мин до 2 ч); быстротвердеющие (начало схватывания менее 45 мин).

Условное обозначение цемента (в соответствии с ГОСТ 10178-85 «Портландцемент и шлакопортландцемент. Технические условия») должно состоять из:

- наименования типа цемента — портландцемент, шлакопортландцемент. Допускается применять сокращенное обозначение наименования — соответственно ПЦ и ШПЦ; марки цемента; обозначения максимального содержания добавок в портландцементе по п. 1.6: Д0, Д5, Д20; обозначения быстротвердеющего цемента — Б; обозначения пластификации и гидрофобизации цемента — ПЛ, ГФ; обозначения цемента, полученного на основе клинкера нормированного состава, - Н; обозначения настоящего стандарта. Например: портландцемент марки 400, с добавками до 20 %, быстротвердеющей, пластифицированный условно обозначается: Портландцемент 400-Д20-Б - ПЛ ГОСТ 10178-85.

Межгосударственный стандарт ГОСТ 31108-2003 «Цементы общестроительные. Технические условия», гармонизированный с европейским EN 197-1 отличается от действующего стандарта ГОСТ 10178 следующим:

- вместо марок введены классы прочности на сжатие, аналогичные установленным EN 197-1. Значения классов прочности имеют вероятностный характер и установлены с доверительной вероятностью 95 %;

- для цементов всех классов прочности, кроме требований к прочности в возрасте 28 сут, дополнительно установлены нормативы по прочности в возрасте двух суток, за исключением классов 22,5Н и 32,5Н, а для цементов классов 22,5Н и 32,5Н - в возрасте 7 сут;

- для всех классов прочности, кроме класса 22,5, введено разделение цементов по скорости твердения на нормальнотвердеющие и быстротвердеющие, что позволит минимизировать расход цемента в строительстве за счет его оптимального подбора по скорости твердения.

Настоящий стандарт не отменяет ГОСТ 10178, который можно применять во всех случаях, когда это технически и экономически целесообразно. Настоящий стандарт действует параллельно с ГОСТ 10178 и применяется в случаях, когда заключенные контракты или другие согласованные условия предусматривают применение цементов с характеристиками, гармонизированными с требованиями EN 197-1.

По вещественному составу цементы подразделяют на пять типов: ЦЕМ I — портландцемент; ЦЕМ II — портландцемент с минеральными добавками; ЦЕМ III — шлакопортландцемент; ЦЕМ IV — пуццолановый цемент; ЦЕМ V — композиционный цемент.

Условное обозначение цементов должно состоять из: наименования цемента; сокращенного обозначения цемента, включающего обозначение типа и подтипа цемента и вида добавки; класса прочности; обозначения подкласса; обозначения настоящего стандарта. Например: Портландцемент со шлаком (Ш) от 21 % до 35 %, класса прочности 32,5, нормальнотвердеющий: Портландцемент со шлаком ЦЕМ II/В-Ш 32,5Н ГОСТ 31108-2003.

Требования к физико-механическим свойствам цементов по ГОСТ 31108-2003 приведены в табл. 1.

Таблица 1

Требования к физико-механическим свойствам цементов по ГОСТ 31108-2003

Класс прочности цемента	Прочность на сжатие, МПа, в возрасте			Начало схватывания, мин, не ранее	Равномерность изменения объема (расширение), мм, не более
	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		
52,5Б	30	-			

Лабораторная работа №1

Определение истинной плотности цемента

Истинная плотность ρ – это предел отношения массы m к объему V , когда объем стягивается к точке, в которой определяется плотность тела или вещества (т. е. без учета имеющих в них пустот и пор).

$$\rho = \lim_{v \rightarrow 0} \frac{\Delta m}{\Delta V} = \frac{dm}{dV}, \text{ кг/м}^3, \text{ г/см}^3, \text{ т/м}^3.$$

Истинная плотность цемента косвенно характеризует его качество: фазовый состав клинкера, наличие в цементе активных минеральных добавок. Знание истинной плотности цемента необходимо для расчета истинной и средней плотностей проектируемого бетона и железобетона, при расчетах промышленных и гражданских сооружений и плотин.

Истинная плотность цементов в зависимости от вещественного состава колеблется в значительных пределах (табл. 2).

Таблица 2

Истинная плотность цементов в зависимости от вещественного состава

Наименование вяжущего	Истинная плотность, г/см ³
Трехкальцевый силикат	3,138
Двухкальцевый силикат	3,2
Четырехкальцевый алюмоферрит	3,730
Трехкальцевый алюминат	3,030
Пятикальцевый алюминат	3,065
Портландцемент бездобавочный	3,1-3,2
Пуццолановый портландцемент	2,7-2,9
Шлакопортландцемент	2,8-3,0
Известково-пуццолановые вяжущие	2,2-2,7
Известково-шлаковые вяжущие	2,8-3,5
Известь негашеная	3,1-3,3
Известь гидратная	2,08-2,23
Строительный гипс	2,65
Технический гипс	2,75

При изготовлении бетонов и растворов цемента и другие вяжущие обычно дозируются по массе, и цементы с пониженной плотностью оказываются более экономичными, так как при одинаковом расходе дают более пластичные смеси с меньшей пористостью.

Например, при равном расходе 300 кг/м³ бетона портландцемент с истинной плотностью 3,15 г/см³ займет 95 л пустот в бетоне (300/3,15=95), а шлакопортландцемент с истинной плотностью 2,8 г/см³ — 107 л (300/2,8=107), т. е. на 12,7 % больше.

Определение истинной плотности цементов как сыпучих порошкообразных материалов основано на определении массы материала, пошедшего на вытеснение

определенного объема жидкости или на измерение объема жидкости, вытесненной известным количеством исследуемого материала. При этом жидкость, в которой производят определение, должна быть инертной по отношению к исследуемому материалу (не растворять материал или некоторые его компоненты, не вступать с ним в химическое взаимодействие).

В связи с тем, что цемент реагирует с водой с образованием гидратов, что искажает результаты, а также может вывести из строя прибор (цемент может схватываться в приборе), определение истинной плотности цемента производят в инертных по отношению к нему обезвоженных органических жидкостях (керосин, бензин, бензол, толуол, спирт).

Для определения истинной плотности цемента рекомендуются методы, обеспечивающие точность не менее $\pm 0,01$ г/см³, а в качестве инертной жидкости — обезвоженный керосин.

На точность определения истинной плотности большое влияние оказывает изменение плотности самой жидкости, которая зависит от изменения температуры окружающей среды. В целях поддержания постоянной температуры в процессе опыта прибор с керосином помещают в термостат с водой, имеющей комнатную температуру.

Определение истинной плотности цемента производят с помощью прибора Ле-Шателье или пикнометра. Пикнометры вместимостью 50...100 мл (ГОСТ 22524-77) дают наиболее точные результаты.

В связи с тем, что керосин является горючей жидкостью, работать с ним необходимо вдали от нагревательных приборов (электроплиток, муфельных печей, газовых горелок и т. д.).

Обезвоживают керосин следующим образом: обжигают 200...300 г известняка при $t=950...1000$ °С в корундовых тиглях в муфеле в течение 2...3 ч (до полного разложения CaCO_3). Полученный CaO помещают для охлаждения в эксикатор. Охлажденную негашеную известь (CaO) высыпают в круглодонную колбу с керосином (1...1,5 л). После 2...3 суток периодического перемешивания керосин отфильтровывают через один слой фильтровальной бумаги и хранят в конической колбе с корковой пробкой в железном ящике для горючих веществ.

Испытуемый цемент высушивают до постоянной массы. Для этого отбирают среднюю пробу цемента (около 100 г), насыпают в фарфоровую чашку и помещают в сушильный шкаф с температурой 105...110 °С (но не выше) и выдерживают 2...3 ч для удаления всей гигроскопической влаги. Высушенный цемент охлаждают до комнатной температуры в эксикаторе.

От подготовительной пробы берут навеску массой около 10 г, высыпают ее в чистый, предварительно взвешенный с точностью до 0,01 г пикнометр (m_1) и вновь взвешивают (m_2).

В пикнометр с цементом наливают обезвоженный керосин не более чем наполовину его объема. Для удаления воздуха из навески цемента пикнометр с содержимым выдерживают под вакуумом до прекращения выделения пузырьков (3...5 мин).

Удаление воздуха можно производить также путем кипячения пикнометра с содержимым в слегка наклонном состоянии на песчаной или водяной бане в течение 15...20 мин.

Пикнометр дополняют керосином до метки, закрепляют в штативе и помещают в стеклянный сосуд с водой комнатной температуры, чтобы вся градуированная часть была погружена в воду на 15 мин.

Уровень керосина доводят до метки по нижнему мениску и немедленно производят взвешивание пикнометра — m_3 .

Пикнометр освобождают от содержимого, промывают и заполняют керосином. Снова выдерживают в термостате так же, доводят керосином до постоянного уровня и взвешивают m_4 .

Вычисляют истинную плотность цемента с точностью до 0,01 г/см³ по формуле:

$$\rho = \frac{(m_2 - m_1) \cdot \rho_{кер}}{(m_4 - m_1) - (m_3 - m_2)}, \text{ г/см}^3.$$

Истинную плотность керосина $\rho_{кер}$ определяют с помощью ареометра.

Опыт повторяют дважды и окончательный результат вычисляют как среднее арифметическое этих определений, если расхождение между ними не превышает 0,02 г/см³. В случае больших расхождений определение производят повторно. Результаты заносят в табл. 3.

Таблица 3

Наименование цемента	№ опыта	Масса пикнометра m_1 , г	Масса пикнометра с навеской m_2 , г	Масса пикнометра с навеской и керосином m_3 , г	Масса пикнометра с керосином m_4 , г	Истинная плотность цемента ρ , г/см ³	Среднее значение плотности цемента $\rho_{ср}$, г/см ³

Лабораторная работа № 2

Определение насыпной плотности цемента в рыхлом и уплотненном состояниях

Насыпная плотность (ρ_n) — отношение массы m зернистых материалов и материалов в виде порошка ко всему занимаемому ими объему v , включая и пространства между частицами.

$$\rho_n = \frac{m}{v}, \text{ кг/м}^3, \text{ г/см}^3.$$

Насыпная масса порошкообразных материалов и цемента в зависимости от степени их уплотнения колеблется в значительных пределах, и в связи с этим различают насыпную массу в рыхлом и уплотненном состояниях (табл. 4).

Насыпная масса порошкообразных материалов и цемента

Наименование материала	Насыпная плотность, кг/м ³ состояние	
	рыхлое	уплотненное
Портландцемент	900...1100	1400...1700
Пуццолановый портландцемент	800...1000	1200...1500
Шлакопортландцемент	900...1200	1400...1700
Известково-пуццолановые вяжущие	500...800	300...1200
Известково-шлаковые вяжущие	800...900	1200...1400
Глиноземистый цемент	1000...1300	1600...1800
Строительный гипс	800...1200	1200...1500
Воздушная известь:		
- пушонка	400...500	600...700
- молотая негашеная	900...1100	1100...1300

Чем меньше истинная плотность цемента и чем тоньше измельчен цемент, тем меньше его насыпная плотность.

Знание насыпной плотности цемента необходимо как заводу-изготовителю, так и заводу-потребителю для расчета емкостей и складских помещений для его хранения и потребностей в транспорте для его перевозки к месту потребления.

На цементном заводе контроль запаса цемента осуществляется по наполнению силоса при отключенной системе воздушного перемешивания, т.е. по насыпной плотности в рыхлом состоянии.

Насыпную плотность в рыхлом состоянии необходимо также знать при отгрузке цемента навалом железнодорожным или автомобильным транспортом, при загрузке бетономешалок на бетонных и железобетонных заводах. В таких расчетах часто принимают среднюю насыпную плотность цемента — 1200 кг/м³.

При транспортировании цемента уменьшение его объема в результате: сотрясений и толчков определяется по насыпной плотности в уплотненном состоянии. При большой чувствительности цемента к уплотнению обычно предусматривают его виброуплотнение при отгрузке.

Непостоянство насыпной плотности цемента является причиной того, что на заводах бетонных и железобетонных изделия цемент дозируют по массе.

Работа по определению насыпной плотности заключается в определении массы цемента, занимающей известный объем в рыхлом и уплотненном состояниях.

Определение насыпной плотности цемента осуществляется с помощью стандартной воронки, через которую насыпают цемент, и мерного металлического сосуда (1 л) с насадкой. Воронка внутри имеет сито с размером отверстий 2 мм, которое предотвращает попадание крупных предметов в пробу. Воронка снабжена также задвижкой для регулирования равномерности высыпания порошка. Расстояние между верхним обрезом мерного цилиндра и задвижкой воронки должно быть равным 50 мм.

Мерный цилиндр снабжен насадкой, которая надевается на него при определении насыпной массы в уплотненном состоянии.

Определение насыпной плотности цемента в рыхлом состоянии осуществляют в следующей последовательности.

Высушивают 2 кг цемента до постоянной массы при $t=105\dots110$ °С в течение 2 ч и охлаждают в эксикаторе.

В воронку прибора при закрытой задвижке насыпают около 2 кг цемента.

Взвешивают мерный цилиндр (m) и устанавливают его на поддон под воронку.

Открывают задвижку и предоставляют цементу свободно наполнить литровый цилиндр. Когда цилиндр наполнится с избытком, задвижку закрывают, а излишки срезают иском, не нанимая, вровень с краями.

Взвешивают цилиндр с материалом (m_1) с точностью до 5 г. Опыт повторяют еще два раза, и в случае близких результатов (± 15 г) от среднеарифметической величины опыт считают законченным.

Вычисляют насыпную плотность в рыхлом состоянии:

$$\rho_n^{\text{рых}} = \frac{m_1 - m}{v}, \text{ г/см}^3,$$

где v – объем цилиндра 1000 см^3 .

Определение насыпной плотности цемента в уплотненном состоянии осуществляют в следующей последовательности.

Цемент, высушенный до постоянной массы, насыпают непосредственно в мерный сосуд.

Заполненный цементом цилиндр помешают в деревянный ящик с крышкой и подвергают ударным воздействиям на встряхивающем столике ($50\dots60$ ударов). Для предотвращения пыления ящик можно дополнительно накрыть влажной тряпкой.

Цилиндр вынимают из ящика, срезают избыток цемента ножом, взвешивают, досыпают излишек цемента и производят повторное уплотнение цемента. Взвешивание и уплотнение повторяют до постоянной массы в уплотненном состоянии $m_{\text{упл}}$.

Опыт повторяют 3 раза и вычисляют среднеарифметическое значение из этих определений, как для насыпной плотности в рыхлом состоянии.

Вычисляют насыпную плотность в уплотненном состоянии

$$\rho_n^{\text{упл}} = \frac{m_{\text{упл}} - m}{v},$$

где v – объем цилиндра 1000 см^3 .

Результаты испытаний заносят в табл. 5.

Таблица 5

Наименование цемента	№ опыта	Состояние цемента	Масса пустого сосуда m , г	Масса сосуда с цементом m_1 , г	Объем сосуда v , см ³	Насыпная плотность цемента ρ_n , г/см ³
	1 2 3	рыхлое				
	1 2 3	уплотненное				

Лабораторная работа № 3

Определение тонкости помола цемента ситовым методом

Тонкость помола вяжущих веществ характеризуют остатком материала (в % массы) на сите с определенным нормированным размером отверстий или количеством материала (в % массы), прошедшим через данное сито.

Определение тонкости помола путем просеивания через сита является в нашей стране обязательным при стандартных испытаниях вяжущих веществ.

Тонкостью помола вяжущего, его гранулометрическим составом и формой частичек в большой степени определяются основные свойства вяжущего: активность, скорость твердения, стойкость в различных условиях.

Основным показателем тонкости помола цементов является остаток на сите № 008, определяемый по методике ГОСТ 310.2-76. Тонкость помола каждого конкретного цемента регламентируется соответствующим ГОСТом (табл. 6). Цемент, не удовлетворяющий этим требованиям, считается браком.

Таблица 6

Наименование цемента	ГОСТ	Остаток на сите с сеткой № 008, %, не более
Портландцемент и шлакопортландцемент	10178-85	15
Сульфатостойкие цементы	22266-76	15
Портландцемент белый	965-89	12
Портландцемент цветной	15825-80	10
Портландцементы тампонажные	1581-85	15

В настоящее время обычные портландцементы измельчают до остатка на сите № 008 5...8 % , быстротвердеющие — до остатка 2...4 %.

При более грубом помоле цемента ухудшаются его свойства, снижаются прочностные характеристики в связи с тем, что грубые частицы размером более 80...100 мкм практически не участвуют в реакциях гидратации.

Очень тонкий помол цемента вызывает перерасход электроэнергии на его производство, быстрый износ футеровки мельницы, мелющих тел и резко повы-

шает себестоимость получаемого цемента. Цемент высокой тонкости помола дает несколько повышенный по сравнению с оптимальным (на 10...15%) показатель прочности, но обладает большей водопотребностью, что снижает морозостойкость и коррозионную стойкость бетонов и растворов. Дальнейшее увеличение тонкости помола приводит к снижению и прочностных показателей затвердевшего цемента.

Основная задача групп главного технолога и центральной лаборатории цементного завода — определение тонкости помола, которая зависит от минералогического состава клинкера, размеров и структуры кристаллов алита, белита и других компонентов. Степень помола цемента зависит от многих технологических факторов: вида мельницы, применения открытого или замкнутого цикла измельчения, форм и размера мелющих тел, соотношения между длиной и диаметром мельницы, степени заполнения камер мелющими телами, их механических характеристик - прочности, твердости, хрупкости и т. д.

Контроль за тонкостью помола цемента осуществляет цеховая лаборатория 1...2 раза в час, и по результатам ситового анализа производится регулировка питателя мельницы.

Пробу цемента высушивают в сушильном шкафу при t 105...110 °С в течение 2 ч и охлаждают в эксикаторе.

Отвешивают $m_c = 50$ г цемента с точностью до 0,01 г и высыпают на сито № 008, под которое подставлен поддон. Набор накрывают крышкой, закрепляют в прибор для механического просеивания. Производят рассев цемента на фракции больше 80 мкм и меньше 80 мкм в течение 5...7 мин.

Снимают доньшко с набора, высыпают прошедший через сито цемент, прочищают сетку с нижней стороны мягкой кистью, вставляют доньшко и повторяют просеивание.

Опыт считают законченным, если при контрольном просеивании в течение 1 мин через сито не более 0,05 г цемента (0,1 массы пробы). Контрольное просеивание выполняют вручную принятом доньшке на кальку.

Тонкость помола цемента определяют как остаток на сите с сеткой № 008 в процентах к первоначальной массе просеиваемой пробы с точностью до 0,01 %.

$$T_{008} = \frac{m_{008} \cdot 100}{m_0}, \%,$$

где m_{008} — остаток на сите с сеткой №008, г; m_0 — исходная навеска цемента — 50 г; T_{008} — остаток на сите с сеткой №008, %.

Результаты испытаний заносят в табл. 7.

Таблица 7

Наименование цемента	№ опыта	Навеска цемента, m_0 , г	Продолжительность просеивания, мин	Остаток на сите, m_{008} , г	Общая продолжительность просеивания, мин	Остаток на сите, T_{008} , %
----------------------	---------	----------------------------	------------------------------------	--------------------------------	--	--------------------------------

Лабораторная работа №4

Определение удельной поверхности цемента по методу воздухопроницаемости

Удельной поверхностью порошка называется суммарная площадь поверхностей всех частиц, из которых он состоит, отнесенная к единице массы. Удельная поверхность измеряется в $\text{м}^3/\text{кг}$ или $\text{см}^2/\text{г}$.

Удельная поверхность цемента — один из показателей тонкости его помола. Это весьма важная характеристика цемента, так как интенсивность реакций, происходящих при твердении цемента, зависит от величины площади поверхности цементного порошка.

В научно-исследовательской практике принято сравнивать качество помола цементов при одинаковой удельной поверхности.

В настоящее время обычные портландцементы измельчают до удельной поверхности $250 \dots 300 \text{ м}^2/\text{кг}$, быстротвердеющие — до $350 \dots 400 \text{ м}^2/\text{кг}$.

С увеличением удельной поверхности активность и скорость твердения цементов возрастают, но до определенных пределов — $700 \dots 800 \text{ м}^2/\text{кг}$. Дальнейшее увеличение тонкости помола обычно приводит к снижению прочностных показателей затвердевшего цемента, так как значительно возрастает водопотребность. Морозостойкость начинает ухудшаться и при более низких показателях удельной поверхности ($400 \dots 500 \text{ м}^2/\text{кг}$).

Существует несколько методов определения удельной поверхности порошков, которые составляют стандарты различных стран. В нашей стране ГОСТом 310.2-76 для определения удельной поверхности рекомендован метод воздухопроницаемости слоя, уплотненного испытуемого порошка при атмосферном давлении. Метод основан на прямой зависимости между сопротивлением столбика порошка вяжущего прохождению через него воздуха и величиной суммарной поверхности зерен. С увеличением поверхности возрастают силы трения и соответственно сопротивление воздушному потоку. Кроме того, с уменьшением величины зерен уменьшаются размеры пустот между ними, а следовательно, и сечения каналов, по которым проходит воздух.

Для определения удельной поверхности используют приборы различной конструкции. Описание схемы прибора, принцип работы и точно установленные условия определения воздухопроницаемости порошков приводятся в инструкции, прилагаемой к прибору.

Размер навески (m) вычисляют в соответствии с формулой прибора. Истинную плотность цемента принимают по результатам лабораторной работы № 1.

Все последующие операции производят в соответствии с инструкцией к прибору, а затем по показателям проницаемости и пористости порошка вычисляют удельную поверхность:

$$S = \frac{KM\sqrt{T}}{\rho}, \text{ см}^2/\text{г},$$

где: K — постоянная прибора; M — величина, вычисляемая по таблицам в зависимости от высоты слоя цемента и температуры воздуха; T — время снижения уровня жидкости между контрольными отметками прибора; ρ — истинная плотность цемента, г/см³ (из работы № 1).

Опыт производят дважды и вычисляют среднеарифметическое значение двух результатов, отличающихся друг от друга не более чем на 200 см²/г.

Результатов испытаний заносят в табл. 8.

Таблица 8

Наименование цемента	№ опыта	Навеска m , г	Высота цемента, см	Температура воздуха, °С	Продолжительность опускания жидкости между отметками, с	Удельная поверхность цемента, см ² /г	Среднее значение удельной поверхности цемента
----------------------	---------	-----------------	--------------------	-------------------------	---	--	---

Лабораторная работа № 5

Изучение реологических свойств цементного теста

5.1. Определение нормальной густоты

Нормальная густота цементного теста — это такая его консистенция, при которой пестик прибора Вика, погруженный в кольцо, заполненное тестом, не доходит на 5...7 мм до пластинки, на которой установлено кольцо (рис. 1).

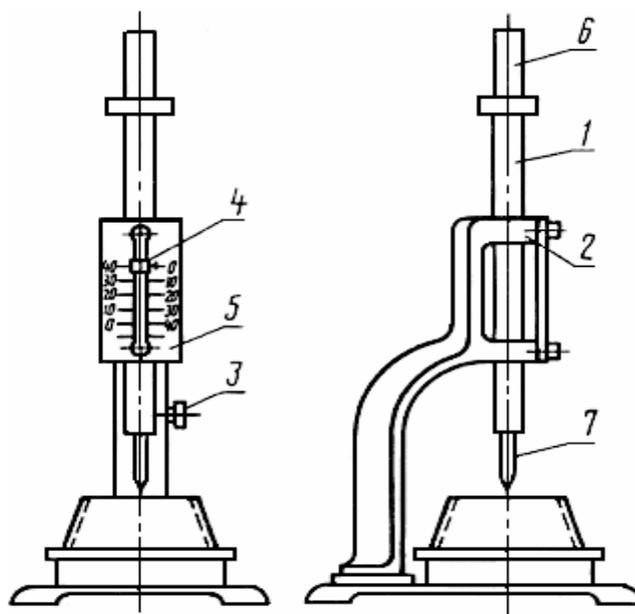


Рис. 1. Прибор Вика: 1 — стержень; 2 — станина; 3 — стопорное устройство; 4 — указатель; 5 — шкала; 7 — пестик (игла)

Нормальная густота цементного теста характеризуется количеством воды затворения, выраженным в процентах от массы цемента.

Перед началом испытания проверяют свободное падение подвижного стержня прибора, чистоту пестика, положение стрелки, которая должна стоять на нуле при соприкосновении со стеклянной пластинкой; смазывают кольцо и пластинку слоем машинного масла.

Для приготовления цементного теста отвешивают 400 г цемента, высыпают в чашу, предварительно протертую влажной тканью. Затем в цементе делают углубление, в которое вливают в один прием воду в количестве, необходимом (ориентировочно) для получения цементного теста нормальной густоты. Количество воды для первого пробного затворения цемента может быть принято в пределах 23...28 % от массы цемента. Углубление засыпают цементом и через 30 с после приливания воды сначала осторожно перемешивают, а затем энергично растирают тесто лопаткой. Продолжительность перемешивания и растирания составляет 5 мин с момента приливания воды.

После перемешивания цементное тесто в один прием укладывают в кольцо и 5...6 раз встряхивают его, постукивая пластинку с кольцом о твердое основание. Поверхность теста выравнивают с краями кольца, срезая избыток теста ножом. После этого приводят пестик прибора в прикосновение с поверхностью теста в центре кольца и закрепляют стержень стопорным устройством. Затем быстро освобождают винт для свободного погружения пестика в тесто. Через 30 с по шкале фиксируют глубину погружения пестика.

Густота цементного теста считается нормальной, если пестик не доходит до пластинки на 5...7 мм. Если пестик, погружаясь в тесто, остановится выше, то опыт повторяют с большим количеством воды, а если ниже — с меньшим, добиваясь погружения пестика на необходимую глубину.

Результаты опытов заносят в табл. 9.

Таблица 9

Результаты определения нормальной густоты цементного теста

№ опытов	Навеска цемента, г	Количество воды, мл	Отчет по шкале прибора, мм	Водопотребность цемента, %
----------	--------------------	---------------------	----------------------------	----------------------------

5.2. Определение сроков схватывания

Сроки схватывания цементного теста определяют при помощи прибора Вика, но вместо пестика на нижней части подвижного стержня закрепляют стальную иглу (см. рис. 1).

Перед началом испытания проверяют, свободно ли опускается стержень прибора Вика, а также нулевое показание прибора. Кроме того, проверяют чистоту поверхности и отсутствие искривления иглы.

Цементное тесто нормальной густоты готовят по методике, изложенной выше, и сразу после приготовления помещают его за один прием в кольцо прибора Вика, встряхивают 5...6 раз для удаления воздуха и выравнивают поверхность.

Иглу прибора доводят до соприкосновения с поверхностью теста и, регулируя зажимной винт, дают возможность ей свободно погружаться. Иглу погружают в тесто через каждые 10 мин, передвигая кольцо после очередного погружения для того, чтобы игла не попадала в прежнее место. После каждого погружения иглу вытирают. Во время испытания прибор должен находиться в затемненном месте, где нет сквозняков, и не должен подвергаться сотрясениям.

Началом схватывания цементного теста является время, прошедшее от начала затворения (момент приливания воды) до того момента, когда игла не доходит до пластинки на 2...4 мм. Концом схватывания цементного теста является время от начала затворения до момента, когда игла опускается в тесто не более чем на 1...2 мм.

Результаты опытов заносят в табл. 10.

Таблица 10

Результаты определения сроков схватывания цементного теста

№ опытов	Навеска цемента, г	Количество воды, мл	Время от начала затворения водой, мин	Отсчет по шкале прибора, мм	Начало схватывания цемента, мин	Конец схватывания цемента, мин

5.3. Определение равномерности изменения объема цемента

Для испытания на равномерность изменения объема цемента готовят тесто нормальной густоты. Две навески теста массой 75 г каждая, приготовленные в виде шариков, помещают на стеклянную пластинку, предварительно протертую машинным маслом. Постукивают ею о твердое основание до образования из шариков лепешек диаметром 7...8 см толщиной около 1 см.

Лепешки заглаживают смоченным водой ножом от наружных краев к центру до образования острых краев в гладкой закругленной поверхности. Приготовленные лепешки хранят в течение 24 ч с момента изготовления в ванне с гидравлическим затвором (рис. 2). В ванне образцы размещают на решетке, под которой всегда должна быть вода. Затем лепешки снимают с пластинок и переносят на этажерку специального бачка (рис. 3). Уровень воды в бачке должен перекрывать лепешки на 4...6 см. Воду в бачке кипятят в течение 3 ч, после чего лепешки в бачке охлаждают и производят их внешний осмотр.

Цемент соответствует требованиям стандарта, если на лицевой поверхности лепешек не обнаружено радиальных, доходящих до краев трещин или сетки мелких трещин, видимых невооруженным глазом, а также каких-либо искривлений и увеличений объемов лепешек (рис. 4).

Искривления обнаруживают при помощи линейки, прикладываемой к плоской поверхности лепешки, при этом искривления не должны превышать 2 мм на краю или в середине лепешки.

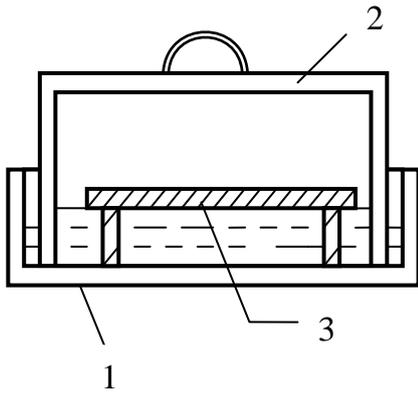


Рис. 2. Ванна с гидравлическим затвором: 1 – ванна; 2 – гидравлический затвор; 3 – решетка для образцов

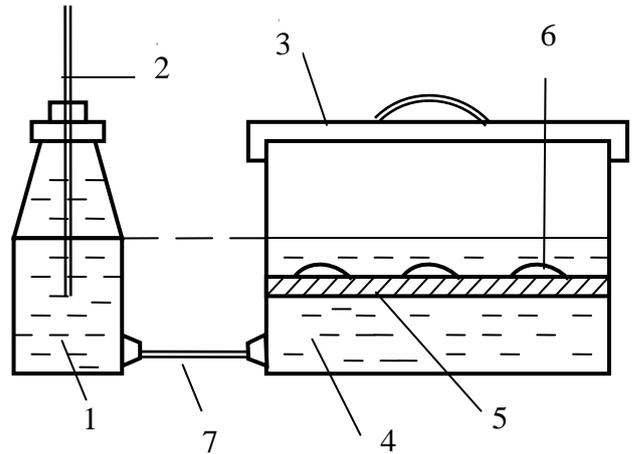
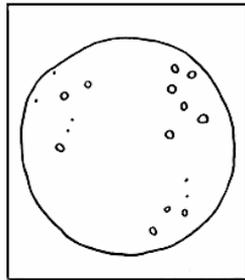
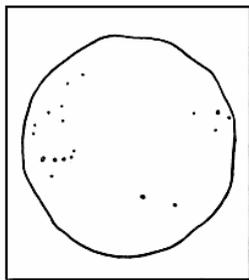
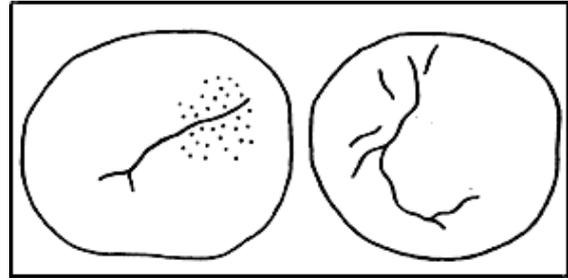


Рис. 3. Бачок для кипячения образцов: 1 – регулятор уровня воды; 2 – подвижная трубка; 3 – крышка; 4 – бачок; 5 – решетка; 6 – образец-лепешка; 7 – резиновый шланг



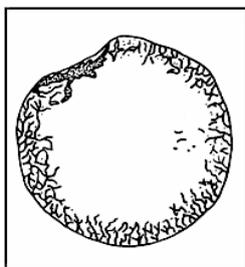
a



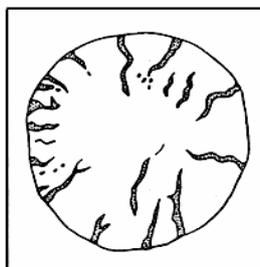
б

Рис. 4. Образцы, выдержавшие испытания на равномерность изменения объема: *a* — нормальное изменение объема; *б* — трещины усыхания

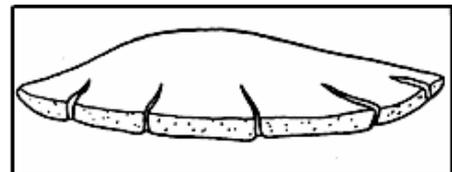
В том случае, когда образцы-лепешки не выдержали испытания на равномерность объема, цемент признается недоброкачественным (рис. 5). В нем имеется наличие свободных CaO и MgO, которые будут гаситься с увеличением объема в уже затвердевшем цементном камне, а это приведет к неравномерным деформациям и образованию трещин в твердеющих бетонах и растворах.



a



б



в

Рис. 5. Образцы, не выдержавшие испытания на равномерность изменения объема: *a* — разрушение; *б* — радиальные трещины; *в* — искривление

Результаты опытов заносят в табл. 11.

Таблица 11

Результаты определения равномерности изменения объема цемента при твердении

Результаты визуального осмотра лепешек после кипячения	Вывод о соответствии цемента требованиям равномерности изменения объема цемента при твердении

5.4. Определение прочности (марки) цемента

Марку цемента устанавливают по показателям предела прочности при изгибе и сжатии образцов-балочек размером 40×40×160 мм, изготовленных из цементно-песчаного раствора состава 1:3 нормальной консистенции и твердевших во влажных условиях 28 сут при температуре (20±2) °С.

Предел прочности цемента при изгибе и сжатии должен быть не менее значений, указанных в табл. 12.

Таблица 12

Обозначение цемента	Гарантированная марка	Предел прочности, МПа (кгс/см ²)			
		при изгибе в возрасте, сут		при сжатии в возрасте, сут	
		3	28	3	28
ПЦ-Д0, ПЦ-Д5	300	—	4,4 (45)	—	29,4 (300)
	400	—	5,4 (55)	—	39,2 (400)
ПЦ-Д20, ШПЦ	500	—	5,9 (60)	—	49,0 (500)
	550	—	6,1 (62)	—	53,9 (550)
	600	—	6,4 (65)	—	58,8 (600)
ПЦ-Д20-Б	400	3,9 (40)	5,4 (55)	24,5 (250)	39,2 (400)
	500	4,4 (45)	5,9 (60)	27,5 (280)	49,0 (500)
ШПЦ-Б	400	3,4 (35)	5,4 (55)	19,6 (200)	39,2 (400)

5.4.1. Определение консистенции цементного раствора

Консистенция цементного раствора характеризуется расплывом конуса на встряхивающем столике.

Для определения консистенции цементного раствора отвешивают 1500 г нормального песка и 500 г цемента, высыпают их в предварительно протертую мокрой тканью сферическую чашу, перемешивают цемент с песком в течение 1 мин. Затем в центре сухой смеси делают лунку, вливают в нее воду в количестве 200 г (В/Ц=0,40), дают воде впитаться в течение 0,5 мин и перемешивают смесь в течение 1 мин.

Форму-конус с центрирующим устройством устанавливают на диск встряхивающего столика (рис. 6). Внутреннюю поверхность конуса и диск столика перед испытанием протирают влажной тканью.

По окончании перемешивания заполняют раствором форму-конус на половину высоты и уплотняют 15 штыкованиями металлической штыковкой. Затем заполняют конус раствором с небольшим избытком и штыкуют 10 раз. После уплотнения верхнего слоя избыток раствора удаляют ножом вровень с краями конуса, затем конус снимают в вертикальном направлении.

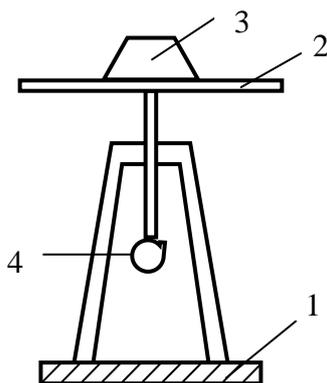


Рис. 6. Схема встряхивающего столика: 1 – станина; 2 – стол; 3 – конус-форма; 4 – эксцентрик

Раствор встряхивают на столике 30 раз (за 30 ± 5 с), после чего штангенциркулем измеряют диаметр конуса по нижнему основанию в двух взаимно-перпендикулярных направлениях и берут среднее значение. Распływ конуса с $V/D=0,40$ должен быть в пределах 106...115 мм. При меньшем распльве конуса раствор готовят заново, несколько увеличивая количество воды затворения, при большем распльве конуса количество воды уменьшают.

Водопотребность раствора выражают в виде водоцементного отношения и пользуются им при приготовлении раствора для изготовления образцов-балочек.

5.4.2. Изготовление и хранение образцов-балочек

Приготовленный раствор нормальной консистенции используют для изготовления образцов. Для этого применяют разъемные металлические формы.

Перед изготовлением образцов внутреннюю поверхность стенок форм и поддона слегка смазывают машинным маслом. Для уплотнения раствора формы балочек жестко закрепляют на виброплощадке, форму по высоте наполняют приблизительно на 1 см раствором и включают виброплощадку. В первые 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, срезают ножом, смоченным водой, излишек раствора, заглаживают поверхность образца вровень с краями формы и маркируют их.

После приготовления образцы в формах хранят 24 ± 1 ч в ванне с гидравлическим затвором или в шкафу, обеспечивающим относительную влажность воздуха не менее 90 %. Затем образцы осторожно расформовывают и укладывают в ванну с водой в горизонтальном положении так, чтобы они не соприкасались друг с другом. Вода должна покрывать образцы не менее чем на 2 см. Воду меняют через каждые 14 сут. Температура воды должна быть 20 ± 2 °С.

По истечении срока хранения образцы вынимают из воды и не позднее чем через 30 мин подвергают испытанию. Непосредственно перед испытанием образцы должны быть вытерты.

5.4.3. Определение предела прочности при изгибе

Величину предела прочности при изгибе определяют при помощи машины МИИ-100 (рис. 7). На счетчике остается показание предела прочности при изгибе. Сняв половинки балочек, рукоятку управления опускают в крайнее нижнее положение. При этом машина возвращает груз в начальное положение, а счетчик сбрасывает показания до нуля.

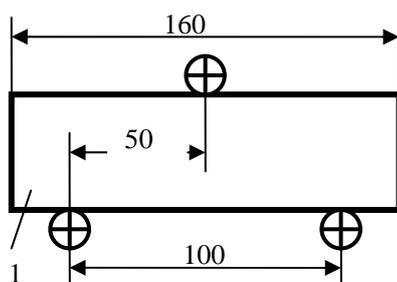


Рис. 7. Схемы испытаний образцов на изгиб: 1 – образец

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

5.4.4. Определение предела прочности при сжатии

Полученные после испытания на изгиб шесть половинок балочек сразу же подвергают испытанию на сжатие. При этом используют нажимные пластинки для передачи нагрузки на половинки образцов-балочек. Половинку

балочки помещают между двумя пластинками таким образом, чтобы боковые грани, которые при изготовлении прилегали к стенкам формы, находились на плоскостях пластинок, а упоры пластинок плотно прилегали к торцевой гладкой поверхности образца (см. рис. 8). Образец вместе с пластинами центрируют на опорной плите пресса. Средняя скорость нарастания нагрузки при испытании должна быть $(2 \pm 0,5)$ МПа/с. Рекомендуется использовать приспособление, автоматически поддерживающее стандартную скорость нагружения образца.

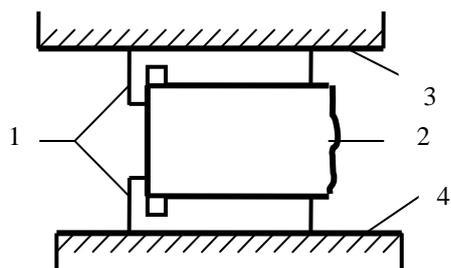


Рис. 8. Схемы испытаний образцов на сжатие: 1 – пластинки; 3 – половина образца; 4 – верхняя плита пресса; 5 – нижняя плита пресса

Предел прочности при сжатии образца вычисляют как частное от деления величины разрушающей нагрузки F (кгс) на рабочую площадь пластинки S (см²), т. е. на 25 см²:

$$R_{сж} = F/S, \text{ МПа.}$$

Предел прочности при сжатии образца вычисляют как среднее арифметическое значение четырех наибольших результатов испытания шести образцов.

Результаты опытов заносят в табл. 13.

Таблица 13

Результаты определения предела прочности цемента при изгибе и сжатии

Наименование определяемых показателей	Значения для отдельных образцов						Среднее значение определяемого показателя
Предел прочности при изгибе, МПа (кгс/см ²)							
Разрушающая нагрузка при испытании на сжатие, кН (кгс)							
Предел прочности при сжатии, МПа (кгс/см ²)							

Библиографический список

1. *Рыбьев И.А.* Материаловедение в строительстве / *И.А. Рыбьев, Е.П. Казеннова, Л. Г. Кузнецова, Т.Е. Тихомирова.* – М.: Издательский центр «Академия», 2008. – 528 с.
2. *Попов К.Н.* Оценка качества строительных материалов: учебное пособие / *К.Н. Попов, М.Б. Кадров, О.В. Кульков.* – М.: АСВ, 2001. – 240с.
3. ГОСТ 10178-85. Портландцемент и шлакопортландцемент. Технические условия.
4. ГОСТ 310.1-76. Цементы. Методы испытаний. Общие положения.
5. ГОСТ 310.2-76. Цементы. Методы определения тонкости помола.
6. ГОСТ 310.3-76. Цементы. Методы определения нормальной густоты, сроков схватывания и равномерности изменения объема.
7. ГОСТ 310.4-81. Цементы. Методы определения предела прочности при изгибе и сжатии.
8. ГОСТ 31108-2003. Цементы общестроительные. Технические условия.

Министерство образования и науки Российской Федерации
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение выс-
шего профессионального образования
«Волгоградский государственный архитектурно-строительный
университет»
Кафедра «Строительные материалы и специальные технологии»

ОТЧЕТ

о лабораторных работах по курсу «Вяжущие вещества»

Выполнил:

Студент _____
Ф.И.О.

шифр зачетной книжки

факультет, группа

(подпись студента)

Принял преподаватель: _____

Волгоград 20_____

Контрольные вопросы к работе № 1

1. Что такое истинная плотность материала, какие единицы измерения ее?
2. На чем основаны методы определения истинной плотности порошкообразных материалов?
3. Каковы методы определения истинной плотности порошкообразных материалов?
4. Зачем необходимо знание истинной плотности цемента?
5. Как взаимосвязана истинная плотность цемента с другими его свойствами?
6. Какова формула для вычисления истинной плотности порошкообразного материала при определении пикнометрическим способом?
7. Почему при определении истинной плотности цемента пользуются обезвоженными и интернами жидкостями?
8. Какова методика обезвоживания керосина?

Контрольные вопросы к работе № 2

1. Что такое насыпная плотность, насыпная плотность в рыхлом и уплотненном состояниях?
2. Каковы методы определения и вычисления насыпной плотности порошкообразных материалов, единицы измерения?
3. Объясните взаимосвязь насыпной плотности цемента с другими его физическими свойствами.
4. Как учитывается насыпная плотность цемента в рыхлом и уплотненном состояниях в технологии его производства и применения?

Контрольные вопросы к работе № 3

1. Чем характеризуют тонкость помола вяжущих?
2. Какова методика ситового анализа цементов?
3. Каковы требования ГОСТов к тонкости помола цементов?
4. Как влияет тонкость помола цемента на основные его свойства?
5. Что значит оптимальная тонкость помола и от чего она зависит?
6. Каковы основные технологические факторы, влияющие на тонкость помола?

Контрольные вопросы к работе № 4

1. Что понимают под удельной поверхностью вяжущих?
2. Каковы единицы измерения удельной поверхности цементов?

3. Как влияет удельная поверхность цемента на основные его свойства?
4. Какова сущность метода определения удельной поверхности порошков по воздухопроницаемости?
5. Перечислите необходимые данные для определения и вычисления удельной поверхности.
6. Каковы показатели удельной поверхности для цементов?

Контрольные вопросы к работе № 5

1. Как влияет на равномерность изменения объема портландцемента его длительное хранение?
2. Влияет ли на равномерность изменения объема цементов ввод инертных минеральных добавок? Обоснуйте ответ.
3. Какие требования по содержанию оксида магния в клинкере установлены в национальных стандартах разных стран?
4. Как влияет на равномерность изменения объема тонина помола цемента?
5. Есть ли взаимосвязь между усадкой и равномерностью изменения объема вяжущих?
6. Как влияет на неравномерность изменения объема камня добавка хлористого кальция?
7. На завод ЖБИ поступил цемент, показавший неравномерность изменения объема. Ваши действия.
8. Как влияет на результаты определения равномерности изменения объема в длительные сроки влажность среды, где твердеют образцы?
9. Какие, кроме описанных в данном издании, методы определения неравномерности изменения объема Вы могли бы предложить?
10. Насколько обоснован термин «неравномерность изменения объема»? Каков механизм этого явления? Какой альтернативный термин Вы могли бы предложить?
11. Общая характеристика и вещественный состав портландцемента.
12. Химический и минеральный состав клинкера.
13. Сырье для получения портландцемента.
14. Основные способы производства портландцементного клинкера, их характеристика.
15. Технология получения цемента из клинкера и добавок.
16. Какие процессы происходят при твердении портландцемента, и какие вещества, образующиеся при этом, обуславливают прочностные и деформативные свойства цементного камня.
17. Основные свойства и требования стандарта к качеству портландцемента.

План выпуска учеб.-метод. документ. 2016 г., поз. 21

Подписано в свет 29.08.2016.

Гарнитура «Таймс». Уч.-изд. л. 1,1. Объем данных 0,3 Мбайт

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего профессионального образования
«Волгоградский государственный архитектурно-строительный университет»
400074, Волгоград, ул. Академическая, 1
<http://www.vgasu.ru>, info@vgasu.ru