

Министерство науки и высшего образования РФ

**КАЗАНСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ
АРХИТЕКТУРНО-СТРОИТЕЛЬНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ**

Институт строительных технологий и инженерно-экологических систем

**Кафедра технологии строительных материалов,
изделий и конструкций**

Методические указания
к выполнению практических работ по дисциплинам
«Современные вяжущие на основе портландцемента» и
«Теория твердения портландцемента»
для студентов по направлению 08.04.01 «Строительство»
и профилю подготовки
«Инновационные технологии высокопрочных и
высокофункциональных бетонов»

Квалификация (степень) выпускника
МАГИСТР

Казань - 2017

Составитель: О.В. Хохряков

УДК 666.982

ББК 38.33

М80

М80 Методические указания к выполнению практических работ по дисциплине «Современные вяжущие на основе портландцемента» для студентов с присвоением квалификации «магистр» / Сост.: О.В. Хохряков – Казань, КГАСУ, 2017. – 18 с.

Табл. 8, библиогр. 17

Печатается по решению Редакционно-издательского совета Казанского государственного архитектурно-строительного университета.

В методических указаниях приводятся общие сведения о современных вяжущих на основе портландцемента и расчет их физико-механических показателей.

Рецензент:

к.т.н., генеральный директор ООО «ИнжЦ «Стройхимкомпозит»

Богданов А.Н.

© Казанский государственный
архитектурно-строительный
университет, 2017

© О.В.Хохряков

Введение

Целью практических работ является формирование у обучающихся компетенций в области современных видов вяжущих, получаемых на основе портландцемента, процессов твердения, свойств, технологии производства и методов испытаний вяжущих на основе портландцемента.

В рамках практических занятий студент должен:

- узнать об основных современных вяжущих на основе портландцемента, законы и теории классической и современной физики и химии, определяющие характер твердения данных вяжущих;
- уметь создавать образцы новых и усовершенствованных вяжущих на основе портландцемента с улучшенными физико-механическими показателями
- овладеть научными и экспериментальными навыками по проектированию состава современных вяжущих на основе портландцемента

Современные вяжущие на основе портландцемента

Портландцемент (англ. Portland cement) – современное гидравлическое вяжущее вещество, которое получают тонким измельчением цементного клинкера, гипса и минеральных добавок. Наименование получил по названию острова Портленд (Portland), географически расположенного в Англии, поскольку по виду портландцемент похож на местный природный камень.

Цементный клинкер является продуктом равномерного обжига до спекания однородной сырьевой смеси, состоящей из известняка и глины определённого состава, обеспечивающего преобладание силикатов кальция ($3\text{CaO}\cdot\text{SiO}_2$ и $2\text{CaO}\cdot\text{SiO}_2$), массовая доля которых составляет 70-80 %.

Современная тенденция связана с уходом от универсальности использования портландцемента и разработкой узкоспециализированных видов вяжущих для различных областей строительства, в которых предъявляются специфические требования к конструкциям из бетона и железобетона. В связи с этим в последние годы существенно обновилась нормативная база данных современных вяжущих на основе портландцемента. Появились новые требования и разработаны новые методики их испытания.

Ниже представлен перечень государственных стандартов, обновленных или вновь введенных за последние пять лет:

1. ГОСТ 30515-2013 «Цементы. Общие технические условия»;
2. ГОСТ 31108-2016 «Цементы общестроительные. Технические условия»;
3. ГОСТ Р 57293-2016/EN 197-1:2011 «Цемент общестроительный. Технические условия»;
4. ГОСТ Р 55224-2012 «Цементы для транспортного строительства. Технические условия»;
5. ГОСТ Р 56727-2015 «Цементы напрягающие. Технические условия»;
6. ГОСТ 22266-2013 «Цементы сульфатостойкие. Технические условия»;
7. ГОСТ Р 56588-2015 «Цементы. Метод определения ложного схватывания»;
8. ПНСТ 19-2014 Портландцемент наномодифицированный. Технические условия (срок действия до 07.2018).

Практическая работа №1-2

Сравнительный анализ требований к портландцементу согласно ГОСТ 10178, ГОСТ 31108 и ГОСТ Р 57293

С 1 марта 2017 года вступил в силу новый ГОСТ 31108-2016 и по сравнению с прежней редакцией этого нормативного документа от 2003 года в нём существенно расширено допустимое содержание минеральных добавок для общестроительного портландцемента. Например, если ранее их количество ограничивалось 20 % (цементы группы ЦЕМ II), то сегодня допускается вводить до 35 % этих добавок. В композиционных цементах (цементы группы ЦЕМ V) содержание наполнителей может достигать 49 % против 30 % в отмененной версии ГОСТ 31108-2003. Интересно, что содержание доменных и электротермофосфорных шлаков увеличено до немыслимых 95 %, т.е. в составе цемента количество клинкерной части не превышает 5 % (цементы группы ЦЕМ III). В этом случае цемент становится лишь малым технологическим модификатором, дозируемым на уровне химических добавок! Даже в ныне действующем ГОСТ 10178-85, который явился итогом многолетних исследований в Советском Союзе по технологии получения и применения шлакопортландцемента, содержание доменных и электротермофосфорных шлаков ограничивается 80 % (табл.1).

Заметим, что нынешний обновленный ГОСТ 31108-2016 фактически дублирует положения европейского стандарта EN 197-1 (ГОСТ Р 57293-2016).

Итак, цементным заводам России дан четкий сигнал к снижению клинкероемкости (расход клинкерной части, приходящийся на единицу прочности, кг/МПа) в портландцементе за счет широкомасштабного использования минеральных добавок природного или техногенного происхождения. К сожалению, пока в нашей стране цементники осознают посыл нового нормативного документа, за рубежом полным ходом осваивается производство композиционных малоклинкерных цементов. Это и понятно, потому как в Европейском союзе стремятся к защите окружающей среды и снижению парникового эффекта на планете.

Таблица. 1. Сравнительное содержание минеральных добавок в нормативных документах РФ

Наименование показателей	Нормативные документы РФ на портландцементы общестроительные		
	ГОСТ 10178-85 (дейст.)	ГОСТ 31108-2003 (недейст.)	ГОСТ 31108-2016 (дейст.)
Численность минеральных добавок, указанных в ГОСТ	3	6	7
Допустимое содержание минеральных добавок в цементе	до 20 % (все кроме шлаков)	до 20 % (все кроме шлаков)	до 35 % (все кроме шлаков)
	-	до 30 % (в составе композиционных цементов)	до 49 % (в составе композиционных цементов)
	до 80 % (шлаки)	до 65 % (шлаки)	до 95 % (шлаки)

Цель работы: узнать отличительные признаки и методы испытания портландцемента в соответствии с требованиями ГОСТ 10178, ГОСТ 31108 и ГОСТ Р 57293;

Задачи практической работы:

1. Ознакомиться с ГОСТ 10178, запомнить классификацию, условное обозначение и методы испытания портландцемента.

2. Ознакомиться с ГОСТ 31108, запомнить классификацию, условное обозначение и методы испытания портландцемента.

3. Ознакомиться с ГОСТ Р 57293, запомнить классификацию, условное обозначение и методы испытания портландцемента.

Выводом практической работы должно быть понимание принципиальных отличий и требований к свойствам портландцемента в соответствии с различными современными нормативными документами.

Практическая работа №3-4

Проектирование состава цементов низкой водопотребности

Самым востребованным строительным материалом XXI века во всем мире является бетон, ежегодное производство которого превосходит 3 млрд. м³. Основой бетона является портландцемент разных видов и это гидравлическое вяжущее часто называемое «хлебом строительства» представляет собой наиболее ценный и дефицитный материал, имеющий строительное значение для развития экономики многих стран.

Вместе с тем производство портландцементного клинкера – синтетического обжигового материала, который при помоле превращается в цемент – энергетически затратный процесс, а большие выбросы углекислого газа (> 400 кг на тонну клинкера) и пыли делают его экологически ущербным. Поэтому стремления ученых-технологов направлены на снижение доли клинкера в вяжущем, в основном путем совместного помола с кремнеземистыми и др. горными породами или промышленными отходами, главным образом, металлургическими шлаками. Широко известным продуктом технологии смешанных цементов является шлакопортландцемент (содержание шлака доходит до 66-80 %, что регламентируется государственными стандартами и национальными нормами многих стран (ЕС и др.)). Одним из эффективных вариантов смешанного малоклинкерного вяжущего являются вяжущие низкой водопотребности (ВНВ) или цементы низкой водопотребности (ЦНВ).

Цементы низкой водопотребности (ЦНВ) – разработка советских ученых 80^х годов прошлого века, которые представляют собой композиционное гидравлическое вяжущие, получаемые путем совместного помола портландцементного клинкера или рядового портландцемента (ПЦ) с минеральным наполнителем (кварцевым песком, шлаком, известняком, промышленными отходами или другим природным минеральным сырьем) в присутствии сухого органического модификатора – пластификаторов различной природы. При этом «разбавление» портландцемента может достигать 70%, и марки вяжущего обозначаются как ЦНВ-100, ЦНВ-70, ЦНВ-50, ЦНВ-30 (цифра показывает процентное содержание в нем портландцементного клинкера). Несмотря на экономию портландцемента (и соответствующее снижение себестоимости ЦНВ) активность (прочность) этих вяжущих значительно выше, чем у исходного портландцемента. Марочная прочность ЦНВ составляет от 500 до 1100, например ЦНВ марки 800 на базе цемента марки 500 получается при содержании в нем всего 40-50% клинкера. Это объясняется влиянием механоактивации минералов (ПЦ и наполнителя), увеличивающей их химическую активность при гидратации, а также эффективной адсорбцией суперпластификатора на их поверхности, сильно снижающей водопотребность.

К основным преимуществам ЦНВ относятся:

- возможность получения из рядовых портландцементов марок 400, 500 новых вяжущих активностью 400-1000;
- возможность получение высокопрочных бетонов, из которых могут быть изготовлены железобетонные конструкции с меньшим физическим сечением и процентом армирования;
- повышенная ранняя активность на 1...3 суток на 40-60 %;
- пониженная на 25-30% водопотребность бетонных смесей при равной подвижности со смесями на портландцементе;
- высокая сохранность активности (до нескольких лет) при нормальном хранении;
- обеспечение высокой морозостойкости и трещиностойкости бетонов;
- повышенная подвижность и нерасслаиваемость бетонных смесей;

- снижение времени на уплотнение бетонной смеси;
- пониженное тепловыделение цемента;
- интенсивный характер твердения бетона на ЦНВ в холодный период года.

Областью реализации ЦНВ является производство бетона для сборного и монолитного строительства, сухие строительные смеси различного назначения, производство ячеистых, высокопрочных, самоуплотняющихся и др. видов бетонов.

Цель работы: изучить современные составы и технологию производства цементов низкой водопотребности с использованием природного минерального сырья и промышленных отходов.

1. Ознакомится с видами минерального сырья, пригодного для производства цементов низкой водопотребности;
2. Ознакомиться с технологией получения цементов низкой водопотребности, получаемых путем совместного измельчения сырьевых компонентов;
3. Ознакомиться с технологией цементов низкой водопотребности, получаемых последовательно-раздельным способом;

Выводом практической работы должно быть понимание необходимости цементов низкой водопотребности для строительной отрасли и знание способов их производства.

Практическая работа №5-6

Проектирование состава безусадочных и напрягающих цементов

Одной из основных проблем цементных и особенно мелкозернистых бетонов является усадка. Проблеме усадки цементных бетонов посвящено много работ. Как правило, она связана с уменьшением их объема при твердении, которое вызвано влажностными, контракционными и карбонизационными причинами. Первая зависит от испарения и миграции влаги из бетона, что ведёт к его стяжению на величину 0,1-1,5 мм/м; вторая (контракция) обусловлена тем, что объем новообразований цементного камня меньше объема, занимаемого веществами, вступающими в реакцию ($V_{\text{цемента}} + V_{\text{воды}} > V_{\text{цемент}} + V_{\text{вода}}$); третья появляется у поверхности бетона в результате карбонизации гидроксида кальция углекислым газом атмосферы. В последнее время стали выделять т.н. аутогенную усадку, которая проявляется в бетонах нового поколения, известных под названием High Performance Concrete (HPC). Считается, что аутогенная усадка вызывается «самовысыханием» бетона, поскольку цемент для гидратации продолжает потреблять воду из пор. Аутогенная усадка начинает проявляться при низких водоцементных отношениях (менее 0,3) и она тем больше, чем ближе расход воды, добавляемой при затворении компонентов бетонной смеси, к степени гидратации цемента (0,15-0,18). Очевидно, что на величину этой усадки могут влиять химический состав цемента, тонкость его помола и наличие суперпластификатора.

Усадочные деформации вызывают в бетоне значительные внутренние напряжения, особенно при неравномерном высыхании конструкций и работе их в стесненных условиях. Они могут быть причиной разрывов в контактной зоне и растворной части бетонов и вызывать, особенно в сочетании с температурными напряжениями, появление трещин. Усадочные напряжения неблагоприятно влияют на морозостойкость, непроницаемость, усталостную прочность, вызывают потери предварительного напряжения при натяжении арматуры.

Величина усадки бетона зависит от его состава и свойств использованных материалов. Усадка увеличивается при повышении содержания цемента и воды, применении высокоалюминатных цементов, мелкозернистых и пористых заполнителей. Быстрое высыхание бетона приводит к значительной и неравномерной усадке, особенно поверхностных слоев и может вызвать появление усадочных трещин.

Описанные негативные явления, возникающие в результате усадки, а также сравнительно низкая прочность на растяжение цементных бетонов предопределили создание безусадочных, расширяющихся и напрягающих вяжущих, которые при твердении увеличивают свой объем. При этом они способны не только скомпенсировать нежелательные усадочные деформации, но и вызвать расширение и даже самоупругивание бетонов.

На сегодняшний день распространены три приема, обеспечивающие эффект расширения цементных бетонов: оксидный, газообразующий и сульфоалюминатный. При этом возможно объединение этих способов для создания эффекта расширения на разных стадиях твердения (например, оксидно-алюминатный и др.).

Особенности проектирования состава безусадочных и напрягающих цементов связаны с подбором состава бетона с нормируемой величиной самоупругивания. Традиционно подобранный расчетом по требуемой прочности номинальный состав бетона корректируется необходимым расходом НЦ с учетом проектной марки напрягающего бетона и самоупругивания напрягающего цемента (НЦ) по результатам стандартных испытаний.

Расход НЦ для бетонных смесей с маркой по удобоукладываемости П-1 согласно ГОСТ 7473 (подвижность 1-4 см) на плотных заполнителях следует определять по формуле:

$$\text{Ц} = 550 \left(\frac{R_{\text{bsn}}}{R_{\text{cp}}} \right)^2 + 450$$

где R_{bsn} - нормативное самоупругивание, МПа, численно равно проектной марке по самоупругиванию S_p ; R_{cp} - средняя прочность бетона, МПа

Для бетонных смесей с маркой по удобоукладываемости П-2 (подвижность 5-9 см), П-3 (подвижность 10-15 см) R_{bsn} вводится с коэффициентом 1,1 и 1,2. При использовании пластифицирующих добавок для обеспечения повышенной подвижности смеси коэффициент не вводится.

Расход воды затворения (л/м³ смеси) для получения бетонной смеси с подвижностью 1-4 см следует определять по формуле

$$В = 0,20 \text{ Ц} + 100$$

а для смесей с подвижностью 10 - 15 см по формуле

$$В = 0,18 \text{ Ц} + 135$$

Для сохранения расчетной средней плотности бетонной смеси одновременно корректируется расход заполнителей.

Цель работы: изучить современные способы создания эффекта расширения цементных бетонов.

1. Изучить оксидный способ создания эффекта расширения в цементных бетонах;
2. Изучить газообразующий способ создания эффекта расширения в цементных бетонах;
3. Изучить сульфоалюминатный способ создания эффекта расширения в цементных бетонах;
4. Рассчитать состав тяжелого бетона традиционным способом (через В/Ц, по нормам, из условия морозостойкости и др.) с учетом заданной марки по самоупругиванию.

Выводом практической работы должно быть сравнение существующих способов создания расширения в цементных бетонах и расчет состава самоупругивающего бетона.

Таблица 2. Индивидуальное задание для расчета

Наименование показателя	Первая цифра зачетки									
	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Проектная марка бе-	0,6	0,8	1,0	1,2	1,5	2,0	3,0	4,0	0,6	0,8

тона по самонапряжению										
---------------------------	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--

Практическая работа №7-8

Проектирование состава шлакопортландцементов и портландцементов с использованием зол и золошлаковых отходов

Шлакопортландцементом называется гидравлическое вяжущее, получаемое путем тонкого измельчения портландцементного клинкера совместно с гранулированным доменным или электротермофосфорным шлаком, а также с двухводным гипсом. Для получения быстротвердеющего шлакопортландцемента порошок портландцемента иногда размалывают с гранулированным шлаком. Шлака в шлакопортландцементе должно быть не менее 21 % и не более 95 % по массе.

По сравнению с портландцементом шлакопортландцемент характеризуется замедленным нарастанием прочности в начальные сроки твердения, но марочная и последующие прочности его примерно одинаковы. С понижением температуры рост прочности шлакопортландцемента сильно снижается. Водостойкость бетонов на шлакопортландцементе выше, чем на портландцементе, из-за отсутствия свободного гидрата окиси кальция. Шлакопортландцементный бетон обладает удовлетворительной морозостойкостью и воздухостойкостью. Однако он все же менее стоек, чем бетон на портландцементе.

Шлакопортландцемент применяют в гидротехнических сооружениях, а так же в конструкциях, находящихся во влажной среде. Не следует использовать его в конструкциях, подвергающихся частому замораживанию и оттаиванию, увлажнению и высыханию. Быстротвердеющий ШПЦ применяют в производства железобетонных изделий, подвергающихся тепловлажной обработке.

Цель работы: определить марку шлакопортландцемента на основе портландцементного клинкера и молотого доменного шлака, содержащего активный кремнезем.

Задачи практической работы:

1. Ознакомиться со свойствами и областью применения шлакопортландцемента;
2. Рассчитать состав шлакопортландцемента и определить его марку.

Выводом практической работы должна быть

Порядок выполнения работы. Определить содержание молотого доменного шлака на 5 т клинкера портландцемента марки «500» (ГОСТ 10178) и марку шлакопортландцемента, если шлак в своем составе имеет 60% активного кремнезема, а клинкер портландцемента имеет в своем составе 50% трехкальциевого силиката ($3\text{CaO} \cdot \text{SiO}_2$).

Принимаем, что при гидратации $3\text{CaO} \cdot \text{SiO}_2$ протекает следующая реакция: $3\text{CaO} \cdot \text{SiO}_2 + 5\text{H}_2\text{O} = 2\text{CaO} \cdot \text{SiO}_2 \cdot 4\text{H}_2\text{O} + \text{Ca}(\text{OH})_2$.

Молекулярная масса продуктов реакции:

$3\text{CaO} \cdot \text{SiO}_2 - 228$ г/моль, $\text{Ca}(\text{OH})_2 - 74$ г/моль

Количество $3\text{CaO} \cdot \text{SiO}_2$ в клинкере:

$5000 \cdot 0,5 = 2500$ кг

Количество выделяемой извести:

$K_{\text{изв}} = 2500 \cdot 74 / 228 = 811$ кг

Реакция связывания извести активным кремнеземом:

$\text{Ca}(\text{OH})_2 + \text{SiO}_2 + 3\text{H}_2\text{O} = \text{CaO} \cdot \text{SiO}_2 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$

Количество активного кремнезема в $\text{CaO} \cdot \text{SiO}_2 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$:

$811 \cdot 60 / 74 = 658$ кг

Количество шлака с учетом 60-% содержания в нем активного кремнезема:

$$658 \cdot 100 / 60 = 1096 \text{ кг}$$

Содержание клинкера в общей массе клинкер+шлак:

$$5000 \cdot 100 / (1096 + 5000) = 82 \%, \text{ соответственно, } 18 \% \text{ шлака}$$

Активность шлакопортландцемента:

$$500 \cdot 0,82 = 410 \text{ кгс/см}^2 \rightarrow \text{M400}$$

Таблица 3. Индивидуальное задание для расчета

Наименование показателя	Первая цифра зачетки									
	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Содержание клинкера, т	16	15	14	13	12	11	10	9	8	7

Наименование показателя	Последняя цифра зачетки									
Содержание активного кремнезема в шлаке, %	30	35	40	45	50	55	60	65	70	75

Наименование показателя	Первая буква фамилии студента									
	А,Б,В	Г,Д,Е	Ж,З,И	К,Л,М	Н,О,П	Р,С,Т	У,Ф,Х	Ч,Ц,Ш	Щ,Э	Ю,Я
Содержание трехкальцевого силиката в клинкере, %	50	52	54	56	58	60	62	64	66	68

Практическая работа №9-10

Проектирование состава сульфатостойких и гипсоцементнопуццолановых вяжущих на основе портландцемента

Сульфатостойкий цемент – это разновидность портландцемента, отличающегося особой устойчивостью к воздействию сульфатов. Сульфатостойкий цемент разработали для бетонов, в порах которого при воздействии агрессивных сульфатных сред происходит образование и кристаллизация труднорастворимых веществ, в частности, гидросульфоалюмината кальция или этtringита ($3\text{CaO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 3\text{CaSO}_4 \cdot 32\text{H}_2\text{O}$). Данная соль по мере своего роста (увеличения кристаллов) образует внутри бетона очень высокие напряжения, которые значительно превышают прочностные характеристики цементного камня. В результате, под воздействием растворов, в состав которых входят сульфаты, коррозионное разрушение бетона протекает очень интенсивно.

Таблица 4. Разновидности сульфатостойких портландцементов

Наименование цемента	Тип цемента	Применяемые классы и подклассы прочности	Разрешенные минеральные добавки - основные компоненты
Сульфатостойкий портландцемент	ЦЕМ I СС	32,5Н; 32,5Б; 42,5Н; 42,5Б	Не допускаются
Сульфатостойкий портландцемент с минеральными добавками	ЦЕМ II/A-III СС ЦЕМ II/B-III СС	32,5Н; 32,5Б; 42,5Н	Доменный гранулированный шлак
	ЦЕМ II/A-П СС		Пуццолана
	ЦЕМ II/A-К(Ш-П) СС ЦЕМ II/A-К(Ш-		Смесь шлака с пуццоланой или микрокремнеземом

	П,МК) СС		
Сульфатостойкий шлако-портландцемент	ЦЕМ III/A СС	32,5Н; 32,5Б; 42,5Н	Доменный гранулированный шлак

Таблица 5. Требования к минералогическому составу сульфатостойких портландцементов

Наименование показателя	Тип цемента		
	ЦЕМ I СС	ЦЕМ II/A-III СС ЦЕМ II/B-III СС ЦЕМ II/A-II СС ЦЕМ II/A-K СС	ЦЕМ III/A СС
Трехкальциевый алюминат, C_3A , не более	3,5	5,0	7,0
C_3A+C_4AF , не более	Не нормируется	Не нормируется	22
Оксид алюминия Al_2O_3 , не более	5,0	5,0	Не нормируется
Оксид магния MgO , не более	5,0	5,0	5,0

Цель работы: изучить современные виды и технологию производства сульфатостойких портландцементов и гипсоцементнопуццолановых вяжущих с использованием природного минерального сырья.

1. Ознакомится с видами минерального сырья, пригодного для производства сульфатостойких портландцементов;

2. Ознакомиться с технологией получения гипсоцементнопуццолановых вяжущих, получаемых с использованием минеральных сырьевых компонентов;

Выводом практической работы должно быть понимание необходимости сульфатостойких портландцементов и гипсоцементнопуццолановых вяжущих для строительной отрасли и знание способов их производства.

Практическая работа №11-12

Определение свободной, адсорбционной и химически-связанной воды в твердеющих вяжущих на основе портландцемента

Способность твердых тел к взаимодействию с водой определяется свойствами этих тел: химическим и минеральным составом, типом кристаллической решетки, состоянием поверхности и многими другими факторами. Сила сцепления твердых частиц во влажном материале зависит от величины энергии взаимодействия пограничных молекул воды и твердой фазы, а также от толщины прослойки жидкости между частицами, которая предопределяет структурно-механические и реологические свойства дисперсных систем.

Наиболее простой и ясной классификацией форм связи воды с твердой фазой в дисперсных системах является классификация, предложенная А.К. Ларионовым, в которой выделяются группы воды по агрегатному состоянию и подгруппы – по соотношению молекулярных (F_m) и гравитационных ($F_{гp}$) сил.

Химически связанная вода удерживается в кристаллической структуре твердого вещества прочными ионными и ковалентными связями и такую воду можно удалить из материала при температурах более 110°C.

Физико-химически или адсорбционно связанную воду подразделяют на прочно- и рыхлосвязанную воду. К прочносвязанной воде относят ближние слои адсорбированной воды, мо-

лекулы которой жестко ориентированы по нормали к поверхности и удерживаются силовым молекулярным полем твердой поверхности. Основная роль в удержании прочносвязанной воды принадлежит водородным связям, энергия связи которых составляет 8-40 кДж/моль. Эта вода может быть удалена с поверхности при давлении порядка 1000 МПа или при температурах 105-110°C. Рыхлосвязанная вода удерживается за счет вторичной ориентации дипольных молекул вследствие диполь-дипольного взаимодействия с молекулами прочносвязанной воды. По мере удаления от твердой поверхности степень ориентации дипольных молекул непрерывно уменьшается и деление физико-химически связанной воды на прочно- и рыхлосвязанную можно считать весьма условным.

Физико-химически связанная вода не передает гидростатического давления и ее можно удалить из материала только в виде пара при тепловой сушке. Капиллярная вода передает гидростатическое давление и может перемещаться во влажном материале в виде жидкости, и при значительном уплотнении влажного материала капиллярная вода из него выжимается.

Цель работы: научиться, исходя из минералогического состава портландцемента, определять содержание химически связанной им воды при образовании цементного камня.

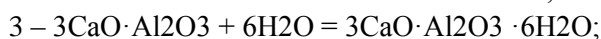
Задачи практической работы:

1. Ознакомиться с видами связи воды с твердой фазой;
2. Ознакомиться и проанализировать документ о качестве портландцемента, выдаваемого при его поставке потребителю. Выписать минералогический состав портландцемента;
3. Рассчитать содержание химически связанной воды.

Выводом практической работы должно быть значение химически связанной воды в зависимости от минералогического состава и оценка ее влияния на свойства портландцемента.

Порядок выполнения работы. Заключается в расчете химически связанной воды в цементном камне при следующем минералогическом составе портландцемента: C_3S - 50%, C_2S - 25%, C_3A - 5%, C_4AF - 18%. Указать конечные продукты клинкерных минералов.

Принимаем, что при гидратации цемента протекают следующие реакции:



Молекулярная масса продуктов первой реакции:

$$2 \cdot 56 + 60 + 72 + 74 = 318;$$

$$\text{Содержание воды: } (90/318) \cdot 100 = 28,3\%;$$

Молекулярная масса продуктов второй реакции:

$$2 \cdot 56 + 60 + 36 = 208;$$

$$\text{Содержание воды: } (36/208) \cdot 100 = 17,3\%;$$

Молекулярная масса продуктов третьей реакции:

$$3 \cdot 56 + 102 + 6 \cdot 18 = 378;$$

$$\text{Содержание воды: } (108/378) \cdot 100 = 28,57\%;$$

Молекулярная масса продуктов четвертой реакции:

$$3 \cdot 56 + 102 + 108 + 56 + 160 + 18 = 612;$$

$$\text{Содержание воды: } (126/612) \cdot 100 = 20,58\%;$$

Количество воды, необходимое для гидратации цемента заданного минералогического состава:

$$28,3 \cdot 0,5 + 17,3 \cdot 0,25 + 28,57 \cdot 0,05 + 20,58 \cdot 0,18 = 23,6\%.$$

Таблица 6. Индивидуальное задание для расчета

Наименование минерала	Первая цифра зачетки									
	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
C ₃ S, %	50	51	52	54	56	58	60	62	64	66
C ₂ S, %	25	24	23	22	21	20	19	18	17	16

Таблица 7. Индивидуальное задание для расчета

Наименование минерала	Последняя цифра зачетки									
	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
C ₄ AF, %	15	14,5	14	13,5	13	12,5	12	11,5	11	10,5
C ₃ A, %	Принять C ₃ A=100-C ₃ S-C ₂ S-C ₄ AF									

Практическая работа №13-14

Расчет пористости цементного камня

Цель работы: определить пористость цементного камня для портландцемента и «карбонатного» цемента низкой водопотребности ЦНВ-50

Задачи практической работы:

1. Ознакомиться с понятием пористости и ее влиянием на свойства цементного камня
2. Рассчитать пористость цементного камня, полученного на основе портландцемента;
3. Рассчитать пористость цементного камня, полученного на основе ЦНВ-50;

Выводом практической работы должно быть значение пористости и ее влияние на свойства цементного камня

Порядок выполнения работы. Сравнить пористость цементного камня, полученного, в первом случае из портландцемента, а во втором, из карбонатного ЦНВ-50, если известно, что нормальная густота (НГ) изопластичного цементного теста (ЦТ) составляет 28 и 19 %, а количество связанной воды (K_{св}) в цементном камне (ЦК) 20 и 14 %, соответственно. Истинную плотность портландцемента принять 3,1 г/см³, известняка – 2,7 г/см³.

Для портландцемента:

Абсолютный объем цементного теста:

$$V_{цт} = 1/3,1 + 0,28 = 0,6 \text{ см}^3/\text{г}$$

Абсолютный объем цементного камня:

$$V_{цк} = 1/3,1 + 0,2 = 0,52 \text{ см}^3/\text{г}$$

Относительная плотность цементного камня:

$$\rho = 0,52/0,6 = 0,86$$

Пористость цементного камня:

$$P_{пц} = 1 - \rho = 1 - 0,86 = 0,14 \text{ или } 0,14 \cdot 100 = 14 \%$$

Для ЦНВ-50:

Средняя истинная плотность:

$$\rho_{и} = (3,1 + 2,7)/2 = 2,9 \text{ г/см}^3$$

Абсолютный объем цементного теста:

$$V_{цт} = 1/2,9 + 0,17 = 0,51 \text{ см}^3/\text{г}$$

Абсолютный объем цементного камня:

$$V_{цк} = 1/2,9 + 0,12 = 0,46 \text{ см}^3/\text{г}$$

Относительная плотность цементного камня:

$$\rho = 0,46/0,51 = 0,9$$

Пористость цементного камня:

$$P_{\text{цнв}} = 1 - \rho = 1 - 0,9 = 0,1 \text{ \% или } 0,1 \cdot 100 = 10 \text{ \%}$$

Сравнение пористости:

$$C = (14 - 10) / 14 = 28,6 \text{ \%}$$

Пористость цементного камня ЦНВ на 26,8 % ниже, чем пористость цементного камня портландцемента.

Таблица 8. Индивидуальное задание для расчета

Наименование материала	Первая цифра зачетки									
	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
ПЦ, г/см ³	2,9	2,92	2,94	2,96	2,98	3,0	3,02	3,04	3,06	3,08
известняк, г/см ³	2,72	2,74	2,76	2,78	2,8	2,82	2,84	2,86	2,88	2,9

Наименование вяжущего		Последняя цифра зачетки									
		0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
ПЦ	НГ ЦТ	35	34	33	32	31	30	29	28	27	26
	K _{хс} ЦК	22	21,5	21	20,5	20	19,5	19	18,5	18	17,5
ЦНВ-50	НГ ЦТ	23	22	21	20	19	18	17	16	15	14
	K _{хс} ЦК	14	13,5	13	12,5	12	11,5	11	10,5	10	9,5

Практическая работа №15-16

Оценка фазового состава цементного камня на основе портландцемента

Для определения фазового состава материала, т.е. объемного содержания твердой, жидкой и газообразной фаз, выраженных в относительных единицах, необходимо знать влажную, кажущуюся (насыпную) и истинную плотность материала. При расчете фазового состава исходят из положения, что сумма объемных долей твердой (КТ), жидкой (КЖ) и газообразной (КГ) фаз равна 1:

$$КТ + КЖ + КГ = 1.$$

Если используется влажный материал, то сначала определяется кажущаяся плотность влажного материала $\rho_{\text{вл}} = m_{\text{вл}}/V$, а затем рассчитывают кажущуюся плотность сухого материала:

$$\rho_{\text{с}} = \rho_{\text{вл}} / (1 + W_{\text{а}}), \text{ г/см}^3,$$

где $W_{\text{а}}$ – абсолютная влажность материала, отн. ед.

Объемная доля твердой фазы определяется из отношения кажущейся плотности образца к истинной плотности материала:

$$КТ = \rho_{\text{с}} / \rho_{\text{и}}, \text{ отн. ед.}$$

Объемная влажность ВОБ или объемная доля жидкой фазы определяется по формуле:

$$W_{\text{Об}} = КЖ = W_{\text{а}} \cdot \rho_{\text{с}}, \text{ отн. ед.}$$

Если жидкой фазой является не вода, а какая-либо другая жидкость, то:

$$КЖ = W_{\text{а}} \rho_{\text{с}} / \rho_{\text{ж}}, \text{ отн. ед.}$$

Объемное содержание газовой фазы или пористость образца определяется по разности:

$$КГ = 1 - (КТ + КЖ), \text{ отн. ед.}$$

Для сухого, сыпучего, т.е. двухфазного материала баланс объемных долей имеет вид: $КТ + КГ = 1$ и из этого выражения определяется объемная доля газовой фазы КГ при известном значении КТ.

Выводы по работе: на основании полученных значений плотности материала дается анализ его фазового состава и необходимые технологические рекомендации.

Цель работы: определить фазовый цементного камня для портландцемента в различные сроки твердения.

Задачи практической работы:

1. Ознакомиться с понятиями твердой, жидкой и газообразной фазами, присутствующими в цементном камне;

2. Рассчитать фазовый состав цементного камня, полученного на основе портландцемента на 1 и 28 сутки;

Выводом практической работы должно быть значение фазового состава цементного камня.

Практическая работа №17-18

Составление технологических схем и подбор оборудования для производства вяжущих на основе портландцемента

Производственный процесс вяжущих материалов на основе портландцемента состоит из определенного набора действий и операций, позволяющих достичь конечного результата. Здесь учитывается используемое оборудование, линии потоков, механизированный и ручной труд, и транспортные средства. Для рационализации производственного процесса и создания оптимальных режимов работы на предприятии составляется технологическая схема, которая позволяет наглядно увидеть всю последовательность создания продукта.

Технологическая схема входит в нормативную документацию предприятия (технологический регламент), в которую также включают методы производства, технические правила и условия процессов, а также их порядок выполнения. При этом для определенной стадии всего процесса может составляться отдельная модель.

Для различных вяжущих схемы могут составляться в виде чертежей с цифровым или буквенным обозначением оборудования, а сами операции выражают в виде геометрических фигур (треугольник, прямоугольник, окружность и другие).

Простая технологическая схема может включать следующие основные операции: организация поступления основного сырья и вспомогательных материалов со склада или от поставщиков, при этом учитывается погрузка и выгрузочные работы; начальная обработка сырья; выполнение основных операций, с получением основных узлов, деталей или продукции промежуточной готовности; сборка деталей и узлов, либо окончательная обработка производимых продуктов; упаковка; отгрузка на склад готовой продукции.

Ниже представлены способы (рис. 1 и рис.2) изображения технологических схем на примере производства «кремнеземистых» и «карбонатных» цементов низкой водопотребности (ЦНВ).

Цель работы: вычертить технологическую схему производства вяжущего на основе портландцемента.

Задачи практической работы:

1. Ознакомиться со свойствами и областью применения наполнителей (кремнеземистых, карбонатных и др.) для вяжущего на основе портландцемента;

2. Определиться с сырьевыми материалами, особенностями их транспортировки и хранения;

3. Вычертить технологическую схему и подобрать требуемое оборудование для производства.

Выводом практической работы должен быть чертеж технологической схемы и спецификация оборудования

Порядок выполнения работы.

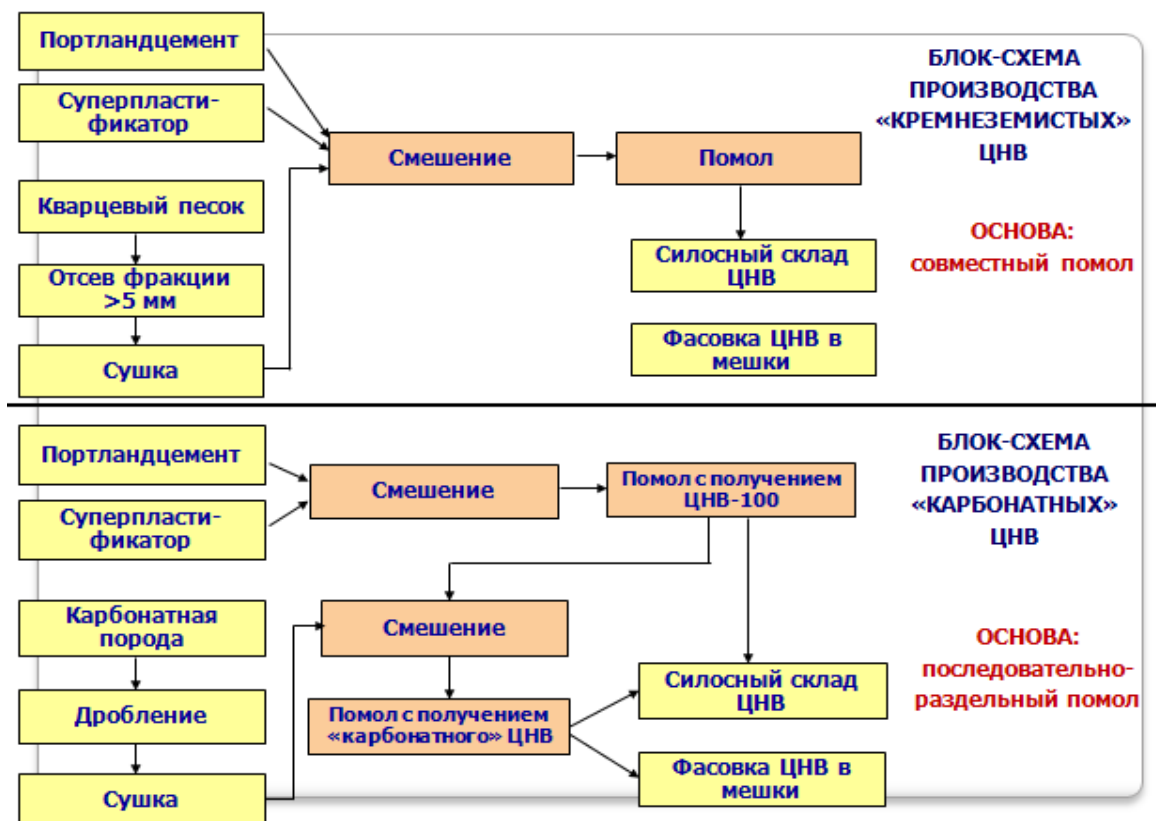
1. Изучить проспекты и каталоги механического оборудования различных производителей. Обратить внимание на следующие виды:

- мельницы шаровые, вибрационно-шаровые, дезинтеграторы;
- дробилки щековые, колосниковые и др.;
- смесители сухих материалов центробежного, планетарного и иного типа;
- шнеки винтовые и пневмотранспорт;
- сушильные агрегаты.

2. Выбрать наиболее подходящее механическое оборудование и ознакомиться с его техническими характеристиками.

3. Вычертить технологическую схему производства с выбранным оборудованием и составить его спецификацию с указанием основным параметров: мощность, габаритные размеры, производительность и др.

Рис. 1. Блок-схема производства «кремнеземистых» и «карбонатных» ЦНВ

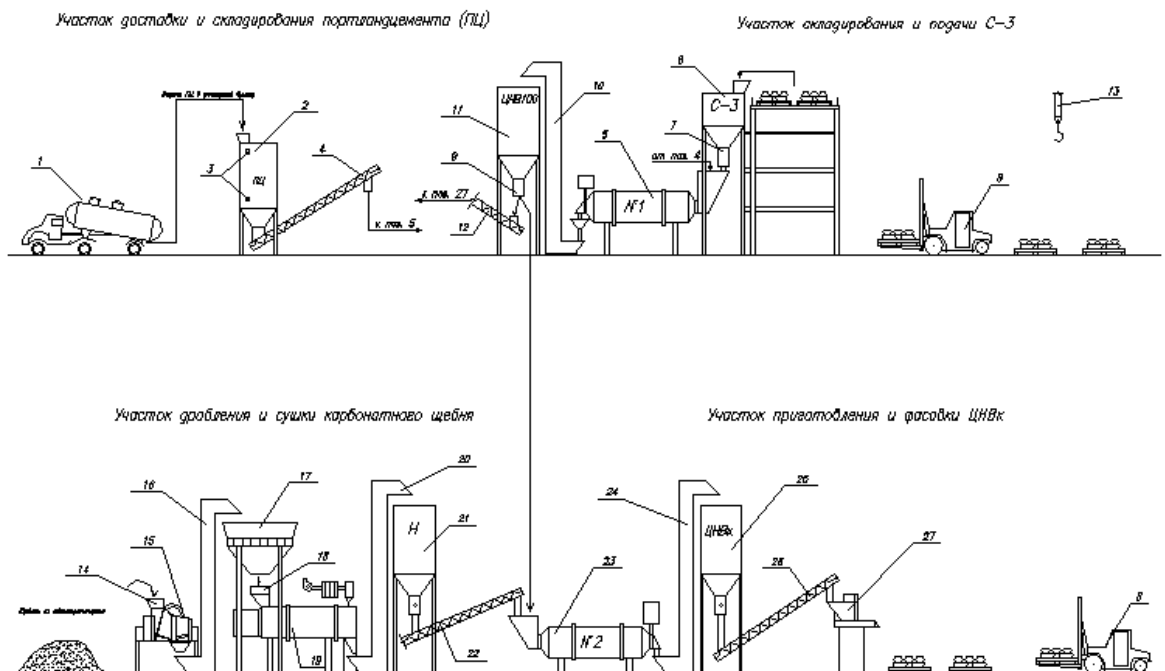


Перечень тем для выполнения индивидуальных заданий

1. Тонкомолотые бездобавочные портландцементы. Технологическая схема получения, сырьевые материалы, свойства и область применения.
2. «Карбонатные» цементы низкой водопотребности. Технологическая схема получения, сырьевые материалы, свойства и область применения.
3. «Кремнеземистые» цементы низкой водопотребности. Технологическая схема получения, сырьевые материалы, свойства и область применения.
4. Шлакопортландцементы. Технологическая схема получения, сырьевые материалы, свойства и область применения.
5. Гипсоцементнопуццолановые вяжущие. Технологическая схема получения, сырьевые материалы, свойства и область применения.

6. Безусадочные портландцементы. Технологическая схема получения, сырьевые материалы, свойства и область применения.
7. Цементно-полимерные вяжущие. Технологическая схема получения, сырьевые материалы, свойства и область применения.
8. Пуццолановые портландцементы. Технологическая схема получения, сырьевые материалы, свойства и область применения.
9. Цемент для транспортного строительства. Технологическая схема получения, сырьевые материалы, свойства и область применения.
10. Сульфатостойкий портландцемент. Технологическая схема получения, сырьевые материалы, свойства и область применения.
11. Схемы входного, операционного и приемочного контроля качества при производстве вяжущих на основе портландцемента.
12. Минеральные кремнеземистые наполнители для вяжущих на основе портландцемента. Технологическая схема получения, виды, свойства и область применения;
13. Карбонатсодержащие наполнители для вяжущих на основе портландцемента. Технологическая схема получения, виды, свойства и область применения;
14. Сульфатоалюминатные добавки для вяжущих на основе портландцемента. Технологическая схема получения, сырьевые материалы, свойства и область применения;
15. Химические добавки для вяжущих на основе портландцемента. Технологические схемы введения в состав вяжущих, свойства и область применения.
16. Полимерцементные вяжущие. Технологическая схема получения, сырьевые материалы, свойства и область применения.
17. Портландцемент. Технологическая схема получения, сырьевые материалы, свойства и область применения.
18. Наноцемент общестроительный. Технологическая схема получения, сырьевые материалы, свойства и область применения.
19. Тонкомолотые цементы с минеральными добавками. Технологическая схема получения, сырьевые материалы, свойства и область применения.
20. Портландцемент с низким уровнем тепловыделения. Технологическая схема получения, сырьевые материалы, свойства и область применения.

Рис. 2. Графическая схема производства «карбонатных» ЦНВ



Список литературы

1. Попов Д.Ю., Лесовик В.С., Мещерин В.С. Влияние суперабсорбирующих полимеров на пластическую усадку цементного камня // Вестник БГТУ им. В.Г. Шухова. 2016. №11. С. 1-7.
2. В. И. Калашников, Е. Ю. Миненко, Ю. В. Грачева, О. И. Шлапакова. Исследование усадки высокопрочного бетона, модифицированного полиамидными волокнами // Вестник ВГАСУ. Строительство и архитектура. 2012. №28(47). С. 208-213.
3. Берлинов М.В., Берлинова М.Н. К вопросу оценки напряжённо-деформированного состояния бетона при стесненной усадке // Международный научный журнал «Символ науки». 2016. № 3. С. 29-33.
4. Несветаев Г.В., Щербинина Т.А. К вопросу нормирования усадки цементных бетонов // Интернет-журнал «Науковедение». 2015. Том 7, №5. С. 1-12.
5. Шмитько Е.И., Верлина Н.А. Поверхностные силы на границе фаз и влажностная усадка бетона // Серия «Физико-химические проблемы и высокие технологии строительного материаловедения». 2015. № 2(11). С. 73-79.
6. Ерышев В.А., Латышева Е.В., Бондаренко А.С. Усадочные деформации в бетонных и железобетонных элементах // Известия казанского государственного архитектурно-строительного университета. 2012. №4. С. 97-101.
7. Уфимцев В.М. Капустин Ф.Х., Пьячев В.А. Техногенное сырье в производстве цемента: вчера, сегодня, завтра // Технологии бетонов. 2012, № 1-2. С. 22-25.
9. Жарко В.И., Гузь В.А., Кабанов А.А. и др. Сырьевая база вторичных ресурсов в производстве строительных материалов // Alitinform Международное аналитическое обозрение. Цемент. Бетон. Сухие смеси. 2011. № 2(19). С. 11-27.
10. Ильичев В.А., Карпенко Н.И., Ярмаковский В.Н. О развитии производства строительных материалов на основе вторичных продуктов промышленности // Строительные материалы. 2011. №4. С. 36-42.
11. Скороход М.А. Состояние и повышение конкурентоспособности цементного рынка Евразийского экономического союза (ЕАЭС) // 9th International cement conference. НО «Союз-цемент». 24-26 апреля 2016 г.
12. Чомаева М.Н. Экологические проблемы воздействия химической промышленности на окружающую среду (на примере цементного производства) // Национальная безопасность и стратегическое планирование. 2016. Выпуск 2-1 (14). С. 141-143.
13. Кунн Конненхолл. CEMBUREAU – цементный и энергетический рынок в Европе и мире // Цемент и его применение. 2013. №3. С. 22-33.
14. Рикерт Й, Мюллер К. Эффективные композитные цементы – вклад в сокращение выбросов CO₂. // Alitinform Международное аналитическое обозрение. Цемент. Бетон. Сухие смеси. 2011. № 2 (19). С.28-49.
15. Карпенко Н.И., Ярмаковский В.Н. Основные направления ресурсосбережения в строительстве и эксплуатации зданий. Часть 1 // Строительные материалы. 2013. №7. С.12-21.
16. Сигитова И.С. Оценка эффективности и классификация минеральных добавок к цементам и бетонам // Фундаментальные исследования. 2015. № 11-6. С. 1109-1113;
17. Батраков В.Г., Башлыков Н.Ф., Бабаев Ш.Г. и др. Бетоны на вяжущих низкой водопотребности // Бетон и железобетон. 1988. №11. С. 4-6.

Методические указания

к выполнению практических занятий по дисциплинам
«Современные вяжущие на основе портландцемента» и
«Теория твердения портландцемента»
для студентов по направлению подготовки 08.04.01 «Строительство»
и профилю подготовки
«Инновационные технологии высокопрочных и
высокофункциональных бетонов»
Квалификация (степень) выпускника
магистр

Составитель: О.В. Хохряков

Редакционно-издательский отдел
Казанского государственного архитектурно-строительного университета

Подписано в печать _____

Формат 60 84/16

Заказ _____ Печать офсетная

Усл. – печ.л. _____

Тираж 50 экз. Бумага тип. № 2

Учетн. – изд.л. _____

Печатно-множительный отдел КГАСУ

420043, Казань, Зеленая, 1.