

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РФ

СИБИРСКИЙ ФЕДЕРАЛЬНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ

ХАКАССКИЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ ИНСТИТУТ –
ФИЛИАЛ ФГАОУ ВО «СИБИРСКИЙ ФЕДЕРАЛЬНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ»

Е. Е. Ибе, Д. Г. Портнягин, Г. Н. Шibaева

ХИМИЯ В СТРОИТЕЛЬСТВЕ

Лабораторные работы

Учебно-методическое пособие

Абакан
ХТИ – филиал СФУ
2022

УДК 69:54(07)
ББК 38.3+24.1я73
И14

Рецензенты:

Л. П. Нагрузова, д-р техн. наук, доцент, профессор кафедры ПГС Хакасского государственного университета им. Н. Ф. Катанова, член Международной инженерной академии, Российской инженерной академии;

В. П. Степкина, руководитель проектов АО «Гипростроймост – Санкт-Петербург»

Ибе, Екатерина Евгеньевна

И14 Химия в строительстве. Лабораторные работы : учебно-методическое пособие / Е. Е. Ибе, Д. Г. Портнягин, Г. Н. Шibaева ; Сибирский федеральный университет, Хакасский технический институт – филиал СФУ. – Абакан : ХТИ – филиал СФУ, 2022. – 100 с. – Текст : непосредственный.

ISBN 978-5-4288-0098-2

Содержит 8 разделов по основным физико-химическим процессам при изготовлении и эксплуатации строительных материалов. Приведены основные лабораторные работы, необходимые для полного формирования компетенций по физико-химическому анализу строительных материалов.

Предназначено для студентов специальности 08.05.01 «Строительство уникальных зданий и сооружений» и направления подготовки бакалавриата 08.03.01 «Строительство» в части изучения физико-химических основ строительных материалов.

УДК 69:54(07)

ББК 38.3+24.1я73

Редактор Н. Я. Бодягина

Подп. в печать 14.04.2022. Формат 60×84/16. Бумага «Снегурочка»

Усл. печ. л 5,8. Уч.-изд. л. 4,0. Тираж 30 экз.

Хакасский технический институт –
филиал ФГАОУ ВО «Сибирский федеральный университет»
655017, Абакан, ул. Щетинкина, 27, тел. (3902)22-53-55

Отпечатано в Хакасском техническом институте –
филиале ФГАОУ ВО «Сибирский федеральный университет»
655017, Абакан, ул. Щетинкина, 27, тел. (3902)22-53-55

© Ибе Е. Е, Портнягин Д., Г.,
Шibaева Г. Н., 2022

© ХТИ – филиал СФУ, 2022

ISBN 978-5-4288-0098-2

ОГЛАВЛЕНИЕ

ВВЕДЕНИЕ	5
РАЗДЕЛ 1. ФИЗИКО-ХИМИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ	
СТРОИТЕЛЬНЫХ МАТЕРИАЛОВ	6
Теоретические сведения	6
Лабораторная работа № 1.1. Определение содержания гигроскопической влаги в материале	8
Лабораторная работа № 1.2. Определение химически связанной воды.....	9
Лабораторная работа № 1.3. Определение водостойкости материала	10
Контрольные вопросы	12
РАЗДЕЛ 2. ФИЗИКО-ХИМИЧЕСКИЕ ПРОЦЕССЫ ПРИ ИЗГОТОВЛЕНИИ	
И ЭКСПЛУАТАЦИИ ГИПСОВЫХ ВЯЖУЩИХ	
13	
Теоретические сведения	13
Лабораторная работа № 2.1. Определение влияния условий твердения гипса на свойства гипсового камня	19
Лабораторная работа № 2.2. Оценка влияния регуляторов схватывания на свойства строительного гипса.....	21
Лабораторная работа № 2.3. Изучение свойства гидрофобности на примере активации минерального порошка МП-1	23
Лабораторная работа № 2.4. Оценка ухудшения свойств строительного гипса при длительном хранении.....	25
Лабораторная работа № 2.5. Оценка свойств строительного гипса после повторного обжига (восстановления)	28
Контрольные вопросы	30
РАЗДЕЛ 3. ФИЗИКО-ХИМИЧЕСКИЕ ПРОЦЕССЫ	
ПРИ ИЗГОТОВЛЕНИИ И ЭКСПЛУАТАЦИИ ЦЕМЕНТНЫХ ВЯЖУЩИХ ...	
31	
Теоретические сведения	31
Лабораторная работа № 3.1. Исследование влияния пластифицирующих добавок и ускорителей твердения на технологические свойства цементного теста и интенсивность твердения цементного камня	43
Лабораторная работа № 3.2. Определение химического состава цементов .	45
Лабораторная работа № 3.3. Изучение фазового состава цементного камня рентгенофазовым и термогравиметрическим способами.....	47
Контрольные вопросы	48
РАЗДЕЛ 4. ФИЗИКО-ХИМИЧЕСКИЕ ПРОЦЕССЫ ПРИ ИЗГОТОВЛЕНИИ	
И ЭКСПЛУАТАЦИИ МАТЕРИАЛОВ НА ОСНОВЕ ИЗВЕСТИ	
49	

Теоретические сведения	49
Лабораторная работа № 4.1. Получение негашеной извести СаО и ее гашение.....	52
Лабораторная работа № 4.2. Приготовление строительного известкового раствора	53
Контрольные вопросы	55
РАЗДЕЛ 5. ФИЗИКО-ХИМИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА ЖИДКОГО СТЕКЛА	56
Теоретические сведения	56
Лабораторная работа № 5.1. Определение силикатного модуля жидкого стекла	59
Лабораторная работа № 5.2. Вяжущие свойства жидкого стекла.....	62
Лабораторная работа № 5.3. Огнестойкость тканей, пропитанных жидким стеклом.....	63
Контрольные вопросы	63
РАЗДЕЛ 6. КОРРОЗИЯ СТРОИТЕЛЬНЫХ МАТЕРИАЛОВ	65
Теоретические сведения	65
Лабораторная работа № 6.1. Действие растворов кислот на цементный камень	69
Лабораторная работа № 6.2. Исследование кинетики выщелачивания и карбонизации бетона	70
Контрольные вопросы	71
РАЗДЕЛ 7. ФИЗИКО-ХИМИЧЕСКИЕ ПРОЦЕССЫ ПРИ ПОЛУЧЕНИИ ЯЧЕИСТЫХ БЕТОНОВ	72
Теоретические сведения	72
Лабораторная работа № 7.1. Получение газобетона	76
Лабораторная работа № 7.2. Определение свойств газобетона	82
Контрольные вопросы	84
РАЗДЕЛ 8. ОСНОВЫ ПОЛУЧЕНИЯ СИЛИКАТНЫХ ДИСПЕРСНЫХ СИСТЕМ.....	85
Теоретические сведения	85
Лабораторная работа. Влияние влажности и давления прессования на фазовый состав материала.....	89
Контрольные вопросы	93
БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК	94
ПРИЛОЖЕНИЯ.....	98

ВВЕДЕНИЕ

Химия относится к числу фундаментальных наук, овладение которыми составляет основу для изучения специальных дисциплин. Зависимость свойств вещества от состава и строения, неизбежные их изменения при получении и эксплуатации строительных материалов, закономерности этих изменений, определяющие эксплуатационные свойства – это вопросы, с которыми сталкивается практически любой специалист строительного профиля и которые рассматривает химия в строительстве. Перед химией в современных условиях стоят большие задачи. Это, прежде всего, получение новых строительных материалов, решение экологических проблем, повышение эффективности технологических процессов.

Цель данного пособия – рассмотреть основные физические свойства материалов и явления, изучаемые в материаловедении, описать их физические основы.

Задачами освоения дисциплины является формирование у студента знаний по физико-химическим основам химических процессов, на базе которых возможна разработка и создание новых материалов, исследование их физико-химических свойств и анализ поведения в различных условиях эксплуатации. Основной задачей также является использование физико-химических законов для получения новых веществ с комплексом заданных свойств и осуществление процесса с требуемой скоростью.

Пособие состоит из 8 разделов, каждый из которых включает теоретические сведения и лабораторные работы. Дополнительно для проведения текущей аттестации студенты готовятся к контрольным работам по вопросам, представленным в пособии. График выполнения и защиты лабораторных работ выдается преподавателем.

РАЗДЕЛ 1. ФИЗИКО-ХИМИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ СТРОИТЕЛЬНЫХ МАТЕРИАЛОВ

Теоретические сведения

Свойство – это качественная, отличительная характеристика вещества, материала или изделия. Совокупность различных свойств предопределяет назначение строительного материала и рациональные области его применения. Только при правильной оценке качества материалов возможно их грамотное использование, могут быть созданы экономичные, прочные и долговечные конструкции зданий и сооружений. Все свойства строительных материалов можно объединить в группы:

- физические;
- механические;
- химические;
- технологические.

Физические свойства подразделяют на структурные характеристики (средняя, насыпная и истинная плотности, пористость), гидрофизические, проявляющиеся при взаимодействии с водой (влажность, водопоглощение, водо- и паропроницаемость), и теплофизические свойства, выявляемые при воздействии различных видов передачи тепловой энергии (теплопроводность и огнеупорность). К химическим свойствам относят способность материалов сопротивляться воздействию химически агрессивной среды, вызывающему в них реакции, способствующие разрушению материала или изменению его строительно-технических характеристик. К химическим свойствам обычно относят коррозионную, биологическую, радиационную стойкости.

Механические свойства дополнительно разделяют на деформативные, определяемые по изменению формы и размеров под воздействием приложенной внешней нагрузки (например, упругость, пластичность), и прочностные – представляющие способность сопротивляться нагрузке без разрушения структуры (пределы прочности при сжатии, растяжении, изгибе, скалывании и истираемость). Технологические свойства характеризуют удобство и возможности применения материала в строительстве: удобоукладываемость бетонной смеси, коэффициент конструктивного качества (ККК), температуры плавления, размягчения, скорость схватывания и твердения. Эксплуатационные свойства определяют возможность и затраты на восстановление элементов конструкций, сооружений из применяемого материала в процессе ремонтов.

Количественно свойства определяются при испытании и, как правило, выражаются в физических величинах в соответствии с действующими стандартами.

Свойства современных материалов определяются не столько химическим составом, сколько распределением составляющих компонентов.

Под структурой материалов подразумевают взаимное расположение, форму и размеры частиц материала, пор, их размер и характер. Различают микроструктуру – строение материала, видимое только под микроскопом, и макроструктуру – строение, видимое невооруженным глазом или при небольшом увеличении. Распределение составных частей материала, т. е. пространственное распределение элементов, фаз, их ориентация, а также дефектов, – все это относится к описанию микроструктуры.

Физико-механические свойства зависят от состава, структуры материала и являются показателями качества. Они характеризуют его поведение под действием физических факторов (нагрузки, воды, высоких и низких температур и т. п.).

Все строительные материалы, эксплуатирующиеся в естественных условиях, находятся во влажном состоянии. Как известно, от влажности материала зависят многие физико-механические свойства, ухудшение которых не допускается. Отношение материала к действию воды и водяного пара характеризуется гидрофизическими свойствами.

Гигроскопичность – способность материалов поглощать влагу из воздуха или паровоздушной среды. Поглощение влаги из воздуха обусловлено адсорбцией водяного пара на внутренней поверхности пор и капиллярной конденсацией. Этот процесс является обратимым. Гигроскопичность зависит от химического состава материала и характера его пористости. Одни материалы энергично притягивают своей поверхностью молекулы воды (их называют гидрофильными), другие отталкивают воду (их относят к гидрофобным). Последние стойко сопротивляются действию водной среды. Материалы с одинаковой пористостью, но имеющие более мелкие поры и капилляры, оказываются более гигроскопичными, чем крупнопористые. Гигроскопичность материала повышается при увеличении относительной влажности и снижении температуры воздуха.

Древесина, теплоизоляционные, стеновые и другие пористые материалы обладают развитой внутренней поверхностью пор и поэтому высокой сорбционной способностью.

Сорбционная влага в материале влияет на его прочностные показатели напрямую. Однако при анализе свойств материалов необходимо, в том числе, исследовать микроструктуру.

Микроструктура материала характеризуется идентификацией различных фаз, содержащих или не содержащих химически связанную воду. Химически связанная вода находится в стехиометрических соотношениях в различных соединениях и кристаллогидратах, что в первую очередь обуславливает физические и химические свойства материалов в целом.

За характеристику гигроскопичности принято отношение максимальной массы поглощенной влаги (при относительной влажности воздуха, равной 100 % и температуре +20 °С) к массе сухого материала. Гигроскопичность отрицательно сказывается на свойствах строительных материалов. Так, цемент и гипс при хранении под влиянием влаги воздуха гидратируется и комкуется, при этом снижается марка по прочности. Древесина от влаги разбухает, коробится.

Влажность – процентное содержание влаги (по массе) в материале при данных условиях. Влажность зависит как от свойств самого материала (пористости, гигроскопичности), так и от окружающей его среды (влажность воздуха, наличие контакта с водой). Влажность учитывают при подборе состава бетонов, транспортировке, хранении и приемке материалов по массе. Она влияет на прочность, теплопроводность, устойчивость к гниению и некоторые другие свойства материалов.

Лабораторная работа № 1.1.

ОПРЕДЕЛЕНИЕ СОДЕРЖАНИЯ ГИГРОСКОПИЧЕСКОЙ ВЛАГИ В МАТЕРИАЛЕ

Цель работы: оценить сорбционные свойства вяжущих материалов.

Задачи:

1. Освоить методику определения гигроскопической влаги.
2. Определить динамику процесса адсорбции воздушными вяжущими.

Приборы и материалы

1. Фарфоровые тигли, крышка, эксикатор, весы, сушильный шкаф.
2. Портландцемент.

Методика выполнения работы

1. Отобрать и взвесить пробу портландцемента (ориентировочно 5–10 г).

2. Взвесить тигель.
3. Поместить пробу в тигель, высушить в сушильном шкафу в течение 2 ч при температуре 100–105 °С.
4. Вынуть тигель, накрыть крышкой, поставить в эксикатор и охладить до комнатной температуры в течение 30 мин.
5. Взвесить пробу с тиглем.
6. Рассчитать содержание гигроскопической влаги (%) по формуле:

$$H_2O = \frac{M_1 - (M_2 - M_3)}{M_1} 100,$$

где M_1 – масса исходного портландцемента, г; M_2 – масса портландцемента с тиглем после высушивания, г; M_3 – масса тигля, г.

Результаты испытаний занести в табл. 1.1.

Таблица 1.1

Результаты испытаний

№ пробы	M_1 , г	M_2 , г	M_3 , г	H_2O , %
1				
2				
3				

7. Эксперимент провести для материалов, хранившихся в различных условиях.

Лабораторная работа № 1.2.

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ХИМИЧЕСКИ СВЯЗАННОЙ ВОДЫ

Цель работы: оценить способность различных вяжущих образовывать гидратные соединения.

Задачи:

1. Освоить методику определения химически связанной воды путем анализа потерь при прокаливании.
2. Определить количество гидратных фаз в различных материалах.

Приборы и материалы

1. Фарфоровые ступки, крышка, эксикатор, весы, муфельная печь.
2. Портландцемент.
3. Строительный гипс.

Методика выполнения работы

1. Цементный и гипсовый камень измельчить до полного прохождения через сито № 008.

2. Отобрать и взвесить пробу портландцемента и пробу строительного гипса (ориентировочно 5–10 г).

3. Взвесить тигель.

4. Поместить пробу в тигель, прокалить в муфельной печи при температуре 900–1000 °С.

Внимание! Нагрев вести постепенно – начиная со 100 °С с шагом 150–200 °С с выдержкой 30 мин на каждой температуре. Далее **муфельная печь должна остыть**. Ни в коем случае **нельзя** открывать печь сразу после окончания времени прокаливания!

5. Вынуть тигель после охлаждения печи в течение 5–6 часов.

6. Взвесить пробу с тиглем.

7. Рассчитать потери при прокаливании (П.П.П., %) по формуле:

$$\text{П.П.П.} = \frac{M_1 - (M_2 - M_3)}{M_1} 100,$$

где M_1 – масса исходного материала, г; M_2 – масса материала с тиглем после прокаливания, г; M_3 – масса тигля, г.

Результаты испытаний оформить в табл. 1.2.

Таблица 1.2

Результаты испытаний

№ пробы	M_1 , г	M_2 , г	M_3 , г	П.П.П., %
1				
2				
3				

Лабораторная работа № 1.3.

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ВОДОСТОЙКОСТИ МАТЕРИАЛА

Цель работы: определить химический механизм снижения прочности материалов при повышении влажности.

Задачи:

1. Определить коэффициент размягчения материала.
2. Выявить причину снижения прочности путем анализа химической реакции.

Приборы и материалы

1. 4 образца гипсового камня.
2. Чаша с водой.
3. Пресс.
4. Весы.

Методика выполнения работы

1. Образцы-кубы пронумеровать (порядковый номер ставят на грани, перпендикулярной плоскости укладки вяжущего при формовании).
2. Измерить площадь пронумерованной поверхности и занести полученные значения в табл. 1.3.

Таблица 1.3

Определение водостойкости материалов

Измеряемый / вычисляемый показатель	Параметры образцов			
	Сухой		Водонасыщенный	
	1	2	3	4
Размеры, см: длина ширина высота				
Площадь приложения нагрузки A , см ²				
Разрушающая нагрузка F , кН				
Предел прочности при сжатии R , кН/см ²				
Коэффициент размягчения $K_{\text{разм}}$				

3. Два образца поместить в воду на 15 мин.
4. Сухие и влажные образцы поместить в пресс пронумерованной (боковой) гранью вверх. Провести испытание на прочность при сжатии.
5. Предел прочности при сжатии рассчитать по формуле:

$$R_{\text{сж}} = \frac{F}{A},$$

где F – разрушающая нагрузка, кН; A – площадь сечения образца, см².

6. Водостойкость испытуемого материала оценить по коэффициенту размягчения, определяемому по формуле:

$$K_{\text{разм}} = \frac{R_{\text{сж(нас)}}}{R_{\text{сж}}},$$

где $R_{сж(нас)}$ – прочность при сжатии образца, испытанного в насыщенном водой состоянии, кН/см²; $R_{сж}$ – прочность при сжатии образца, испытанного в сухом состоянии, кН/см².

7. Данные занести в табл. 1.3.

8. Написать уравнение химической реакции, протекающей при замачивании гипсового камня.

Контрольные вопросы

1. Что такое водопоглощение материала?
2. Как влажность материала влияет на коэффициент теплопроводности?
3. Как связаны между собой пористость и водопоглощение материала?
4. Какова причина снижения прочности материала при насыщении влагой?
5. Как сорбционные свойства вяжущих материалов влияют на стабильность их свойств при хранении?

РАЗДЕЛ 2. ФИЗИКО-ХИМИЧЕСКИЕ ПРОЦЕССЫ ПРИ ИЗГОТОВЛЕНИИ И ЭКСПЛУАТАЦИИ ГИПСОВЫХ ВЯЖУЩИХ

Теоретические сведения

Основы производства гипсовых вяжущих. Гипсовые вяжущие материалы – это в большинстве своем воздушные вяжущие с преобладанием в составе сульфата кальция, для производства которых используют природный двуводный гипс и ангидрит. В зависимости от вида сырья и условий тепловой обработки получают различные виды гипсовых вяжущих веществ. Отходы промышленности минеральных удобрений, называемые фосфогипсом и борогипсом, также могут выступать сырьем для изготовления гипсовых вяжущих веществ.

Сырьем для производства гипсовых вяжущих являются природные разновидности гипсового камня: двуводный $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ и ангидрит CaSO_4 , которые относятся к осадочным породам.

Крупные месторождения *двуводного гипсового камня* распространены в России повсеместно: Зворское (Архангельская обл.), Ергачинское (Урал), Камско-Устьинское и Новомосковское (Европейская часть России), Заларинское (Сибирь) и др. Важным резервом сырьевой базы гипсовой промышленности являются гипсосодержащие отходы химических производств (фосфогипс, фторогипс, борогипс и др.).

Природное гипсовое сырье имеет цвет от белого до темно-серого и бурого, камень обычно содержит примеси глины, кремнезема, известняка, доломита, органических веществ и др. Чистые разновидности месторождений гипсового камня содержат не более 1–3 % примесей, качество сырья для технологии гипсовых вяжущих оценивается по ГОСТ 4013–2019, в соответствии с требованиями которого гипсовое сырье разделяется на 4 сорта в зависимости от содержания примесей, количество которых должно быть не более 5 % для 1 сорта, 10 % – для 2 сорта, 20 % – для 3 сорта и 30 % – для 4 сорта. Природный гипсовый камень, основным минералом которого является двуводный гипс, более распространен на территории России. Плотность природного гипсового камня изменяется в пределах от 2300 до 2400 кг/м³, прочность при раздавливании составляет 13–35 МПа. Двуводный гипсовый камень встречается в природе в виде трех разновидностей: гипсовый шпат (крупнозернистый), селенит (волокнуистая разновидность), алебастр (мелкозернистый). Двуводный гипс ($\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$) – основной минерал, входящий в состав природного гипсового камня, имеет белый цвет, плотность химически чистого двуводного гипса

2320 кг/м³. Это мягкий, вязкий минерал – твердость по шкале Мооса 1,5–2. В воде двуводный гипс растворяется незначительно – при 20 °С в одном литре воды может раствориться 2,6 г гипса, или 2,05 г в пересчете на безводный сернокислый кальций. Наибольшей растворимостью гипс обладает при температуре 32–40 °С. Природный ангидрит (CaSO₄) имеет плотность 2900–3100 кг/м³, твердость 3,0–3,5. Ангидрит встречается в природе в виде сплошных зернистых масс или реже в виде хорошо образованных призматических кристаллов.

В процессе изготовления продукт, получаемый при низкотемпературной обработке, измельчают до порошкообразного состояния. Природный двуводный гипс – минерал из крупных или мелких кристаллов двуводного сульфата кальция (CaSO₄ · 2H₂O), слагающий горные породы осадочного происхождения. Плотные образования называют гипсовым камнем, встречается прозрачный кристаллический гипс, гипсовый шпат, тонковолокнистый и зернистый гипс. Наиболее чистую разновидность зернистого гипса называют алебастром.

Природный ангидрит – горная порода осадочного происхождения, состоящая из безводного сульфата кальция CaSO₄, который под действием грунтовых вод медленно гидратируется и частично переходит в двуводный гипс, поэтому в природе ангидрит обычно примесно содержит 5–10 % двуводного гипса.

Основой производства гипсовых вяжущих является *тепловая обработка гипсового камня*, при которой происходят постепенные процессы его обезвоживания (дегидратация). В связи с тем, что вода в кристаллической решетке гипсового камня связана слабо, она может начать выделяться уже при температуре 60 °С. Строительный (полуводный гипс) изготавливают в промышленных условиях в печах или варочных котлах при низкотемпературной обработке природного двуводного гипса (или других сырьевых материалов природного или техногенного происхождения) при 120–180 °С. При этой температуре часть химически связанной воды выделяется в незамкнутое пространство и удаляется в виде пара, т. е. происходит частичная дегидратация природного двуводного гипса. В зависимости от технологии изготовления получают две модификации строительного полуводного гипса: α-полугидрат с гладким рельефом поверхности кристаллов, обеспечивающей плотную упаковку, и β-полугидрат с очень рыхлой упаковкой и шероховатым рельефом поверхности, обуславливающими большое количество капилляров. Если вода из двуводного гипса удаляется в капельно-жидком состоянии, т. е. процесс протекает в замкнутом пространстве (автоклаве) или при варке в жидких средах, образуется α-CaSO₄·0,5H₂O. В этом случае происходит замещение кристаллов двуводного гипса плотно упакованными призматическими кристаллами α-полугидрата CaSO₄. В дальнейшем

наблюдается перекристаллизация α -полугидрата CaSO_4 , сопровождающаяся увеличением толщины кристаллов и уменьшением их длины. Кристаллы α -полугидрата CaSO_4 крупные, плотные, имеют четкий призматический габитус, поэтому гипсовое вяжущее на основе α -полугидрата CaSO_4 имеет меньшую водопотребность, медленнее гидратируется и характеризуется меньшей пористостью и повышенными значениями прочностных свойств.

Гипсовое вяжущее представляет собой тонкоизмельченный полидисперсный порошок, состоящий из зерен с размерами от нескольких микрометров до 200 мкм и более.

Гипсовые вяжущие материалы в области строительства применяют в качестве основы при изготовлении отделочных и декоративных интерьерных растворов, при производстве перегородочных блоков, гипсокартонных и гипсоволокнистых листов, строительных деталей и декоративных элементов.

Для строительных материалов, которые получают после смешивания твердых компонентов с водой (штукатурные и кладочные растворы, цементное тесто, бетоны и др.), важное значение имеют адгезия, тиксотропия. Эти физико-химические явления происходят в пластично-вязких смесях после смачивания твердых частиц водой. Без таких явлений твердение, например, гипсовых, цементных, известковых систем невозможно.

Адгезия (МПа) – прочность прилипания жидкой фазы или пластично-вязких смесей (раствора, мастики, краски и др.) к поверхности твердого основания (или подложки). Адгезия наносимого на поверхность основания (или подложки) материала зависит от их природы, формы и состояния поверхности, условий контакта и др. Адгезия характеризуется силой, необходимой для разделения поверхностей.

Прочность сцепления (МПа) – прочность контакта затвердевшего нанесенного слоя раствора или другого твердого тела с поверхностью твердого основания (подложки).

Тиксотропия – способность пластично-вязких смесей (бетона, раствора) обратимо разжижаться от механического воздействия и восстанавливать прежнее состояние в состоянии покоя. Физическая основа тиксотропии – восстановление структурных связей внутри пластично-вязкой смеси после прекращения механического воздействия. Это свойство имеет большое значение для проведения штукатурных, кладочных, бетонных работ на строительной площадке, а также на заводах по производству гипсовых изделий и сборных железобетонных изделий.

Основы твердения строительного гипса. Гидратация полуводного гипса и кристаллизация двуводного гипса практически заканчиваются

одновременно через 20–40 минут после затворения. К этому времени достигается максимальная прочность во влажном состоянии. При изготовлении гипсовых изделий для получения пластичной массы приходится брать воду в значительно большем количестве, чем это требуется по уравнению гидратации полуводного гипса. Так, для получения подвижного теста β -полугидрата требуется 50–70 % воды от массы гипса, тогда как для α -полугидрата достаточно 30–45 % воды. Свежеизготовленные гипсовые изделия необходимо сушить. Сушку изделий надо проводить при температуре не выше 60–70 °С, иначе двуводный сульфат кальция может частично перейти в полуводный, что уменьшает прочность изделий. Прочность затвердевшего гипса по мере высыхания значительно возрастает. Это объясняется испарением воды. При полном высыхании гипса рост прочности прекращается. Благодаря низкой температуре обжига, строительный гипс является сравнительно дешевым вяжущим. Основным недостатком его является низкая водостойкость продуктов его твердения, связанная с заметной растворимостью гипса в воде, и плохая морозостойкость влажных гипсовых изделий. Быстрое схватывание полуводного гипса является в большинстве случаев положительным его свойством. Однако в ряде случаев быстрое схватывание нежелательно.

Строительный гипс быстро схватывается. На практике чаще требуется замедлить и реже ускорить его схватывание. Для этого применяют *добавки* – ускорители или замедлители схватывания и твердения. Влияние добавок не только изменяет *сроки схватывания*, но и часто оказывает влияние на *прочность*.

По механизму действия добавки для регулирования сроков схватывания разделяют на классы.

Первый класс – это добавки, *изменяющие растворимость вяжущих веществ и не вступающие с ними в химические реакции*. Схватывание гипса ускоряется, если эти добавки (например, NaCl, KCl, Na₂SO₄ и др.) усиливают растворимость полугидрата в воде; наоборот, оно замедляется, если добавки (аммиак, этиловый спирт и др.) снижают его растворимость. Некоторые добавки при одних концентрациях в растворе увеличивают растворимость полугидрата и, следовательно, являются ускорителями, а при других, уменьшая растворимость, являются замедлителями.

Второй класс – вещества, *реагирующие с вяжущими веществами с образованием труднорастворимых или малодиссоциирующих соединений*. Добавки этого класса (для гипса – фосфат натрия, бура, борная кислота и др.) образуют на поверхности полугидрата защитные пленки из труднорастворимых соединений, в результате чего схватывание гипса замедляется.

Третий класс – вещества, являющиеся центрами кристаллизации. Для гипсовых вяжущих таковыми являются $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$, $\text{CaHPO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ и др. Они ускоряют схватывание.

У добавок первого и третьего классов имеется порог эффективности, под которым подразумевают концентрацию добавки, дающую максимальный замедляющий или ускоряющий эффект.

Четвертый класс – *поверхностно-активные добавки*. Они адсорбируются частичками полуводного и двуводного гипса и уменьшают скорость образования зародышей кристаллов. Например, СДБ, известково-клеевой и кератиновый замедлители и др. известны как пластификаторы и замедлители схватывания гипса. Адсорбируясь частичками полугидрата, они придают тесту повышенную подвижность и снижают количество воды затворения, необходимой для получения смеси требуемой подвижности.

Пятый класс – *комплексные добавки*, состоящие из веществ, принадлежащих к разным классам. Они открывают более широкие возможности в регулировании процесса схватывания и создании оптимальных условий для формирования изделий. Например, при совместном введении добавок – электролитов (первого класса) и ПАВ (четвертого класса) – на первом этапе твердения проявляется влияние замедлителя, в течение этого так называемого индукционного периода гипсовое тесто обладает пластичностью, но не набирает прочности. На втором этапе наступает быстрое твердение гипса с такой же скоростью, как и в присутствии одного ускорителя первого класса. Введение ПАВ в количестве до 0,1–0,3 % способствует увеличению прочности изделий, так как снижение ими активности гипса компенсируется в этом случае приростом прочности вследствие значительного уменьшения водогипсового отношения при получении смесей одинаковой подвижности.

Модифицирование гипса минеральными порошками. Активированный минеральный порошок получают путем физико-химической активации. Суть процесса заключается в измельчении сырья и дальнейшей обработке специальными веществами: катионными или анионными ПАВ, битумом. Между активатором и минеральной поверхностью устанавливаются прочные связи. В результате состав приобретает новые характеристики (увеличивается гидрофобность, адгезия). Активирующая смесь представляет собой дезодорированный и осушенный продукт переработки лесохимических производств, состоящий на 50 % из эффективных анионных поверхностно-активных веществ и 50 % битуминозных продуктов.

В настоящее время улучшение свойств ряда природных и искусственных материалов химическим модифицированием является одним из важных

направлений в развитии физической химии и технологии производства ряда материалов.

Модифицированием минеральных поверхностей предусматривается: улучшение условий взаимодействия минеральных материалов с битумом (это позволяет улучшить важнейшие структурно-механические свойства асфальтобетона); улучшение свойств битума в адсорбционных слоях и предотвращение избирательной фильтрации компонентов битума в минеральных материалах; расширение ассортимента и улучшение свойств используемых минеральных материалов.

Сказанное выше об основных принципах физико-химической активации минеральных материалов выявляет основу рассматриваемой технологии, заключающейся в том, чтобы путем активного воздействия на молекулярные процессы регулировать макроскопические свойства асфальтобетона.

При этом можно выделить две разновидности существующих механо-химических методов активации минерального порошка: помол сырья в присутствии различных ПАВ и активация частиц уже полученного минерального порошка путем их газифицирования в газовом потоке от сжигания различных органических веществ.

Первая разновидность технологически более проста, и прогресс в этом направлении возможен за счет расширения номенклатуры сырья путем использования нетрадиционных местных материалов и отходов производства в сочетании с эффективными и доступными активаторами. Вторая разновидность активационных технологий требует более сложного оборудования и нуждается в дальнейших исследованиях.

Изменение свойств гипса при длительном хранении. При хранении гипсовых вяжущих на воздухе их водопотребность несколько снижается (происходит «искусственное старение» гипса), что приводит к искажению результатов определения прочности при стандартных испытаниях. Длительное хранение гипсовых вяжущих (более 3 месяцев) в присутствии паров воды недопустимо, так как из-за преждевременной гидратации гипса значительно снижается его активность.

Длительное хранение гипса даже в хорошо укупленной таре и, на первый взгляд, без видимого доступа влаги делает его непригодным, он слеживается в комки, а иногда вовсе схватывается в таре. Объясняется это тем, что полугидрат является нестойким соединением и между его частицами происходит перераспределение воды, в результате чего образуется более устойчивое соединение – двугидрат и ангидрид.

Для того чтобы восстановить свойства строительного гипса до значений, требуемых ГОСТ 4013–2019, можно провести повторный обжиг, описываемый известной формулой:



Эффект повторного обжига заключается в том, что при обжиге происходит дегидратация гипсового камня $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$. При этом известно, что гипсовый камень является катализатором твердения строительного гипса. Другими словами, гипсовый камень ускоряет процесс твердения строительного гипса. Этим объясняется быстрое схватывание строительного гипса и строительных смесей на основе гипса после длительного хранения.

Лабораторная работа № 2.1.

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ВЛИЯНИЯ УСЛОВИЙ ТВЕРДЕНИЯ ГИПСА НА СВОЙСТВА ГИПСОВОГО КАМНЯ

Цель работы: определить влияние влагосодержания гипсового камня на прочностные и деформативные свойства.

Задачи:

1. Определить нормальную плотность и сроки схватывания гипсового теста.
2. Изготовить образцы-балочки.
3. Определить линейные деформации гипсового камня в зависимости от условий твердения.
4. Определить прочность гипсового камня.
5. Сделать вывод о влиянии влагосодержания на свойства строительного гипса.

Приборы и материалы

1. Гипс строительный.
2. Вискозиметр – прибор Суттарда.
3. Чашка затворения.
4. Лопатка перемешивания.
5. Прибор Вика.
6. Секундомер.
7. Штангенциркуль.
8. Формы-призмы 4×4×16 см.

9. Баки твердения.
10. Сушильный шкаф.
11. Пресс.
12. Прибор МИИ-100.
13. Весы с разновесами.
14. Мерные цилиндры.
15. Пластинки металлические для испытания прочности образцов при сжатии.
16. Машинное масло.

Методика выполнения работы

1. Определить нормальную густоту (НГ) строительного гипса по прибору Суттарда (ГОСТ 23789–2018, п. 6.1).
2. Определить сроки схватывания теста нормальной густоты на приборе Вика (ГОСТ 23789–2018, п. 6).
3. Заформовать тесто строительного гипса с НГ в формы-призмы (по 6 шт.).
4. После 1 часа выдержки расформировать, оставить на воздухе.
5. В возрасте 2,0 часа первые 3 балочки испытать на изгиб и сжатие. Данные внести в табл. 2.1.
6. Остальные 3 балочки каждая бригада маркирует и обеспечивает их хранение в заданных условиях твердения до 14 суток (до следующего занятия):
 - а) при влажности воздуха комнаты;
 - б) при $W = 98–100 \%$ (в замкнутых баках над водой);
 - в) при переменном увлажнении и высушивании на воздухе – 1 сутки на воздухе и 1 сутки в воде;
 - г) твердение в воде.
7. В каждой бригаде назначается дежурный для замеров линейных деформаций штангенциркулем в определенные сроки твердения. Линейные деформации определяем по формуле:

$$\lambda = \frac{h_n - h_0}{l},$$

где λ – деформация образцов, мм/м; h_n – отсчет, осуществленный при последующих измерениях образцов, мм; h_0 – первоначальный отсчет, сделанный в начале испытания образца, мм; l – первоначальная длина образца, м.

Результат заносим в табл. 2.1.

8. Через 14 дней остальные 3 балочки испытать на изгиб (получится 6 половинок).

9. 3 половинки балочек испытать на сжатие.

10. Другие 3 половинки призм взвесить, затем поместить в сушильный шкаф на 3 часа при температуре не выше 65 °С. Сушить до постоянной массы.

Вычислить влажность образцов (%) по формуле:

$$W = \frac{M_1 - M_2}{M_1} 100,$$

где M_1 – масса образца исходного, г; M_2 – масса высушенного образца, г.

Данные занести в табл. 2.1.

Затем эти 3 половинки балочек испытать на сжатие.

Таблица 2.1

Результаты испытаний

Условия твердения	Деформация образцов λ , мм/м, в возрасте (сут.):					Влажность образца W , %	Прочность при изгибе, МПа, в возрасте (сут.)		Прочность при сжатии, МПа, в возрасте	
	1	3	5	7	14		2	14	2	14
При влажности воздуха комнаты										
При $W = 98-100$ % (в замкнутых баках над водой)										
При переменном увлажнении и высушивании на воздухе – 1 сутки на воздухе и 1 сутки в воде										
Твердение в воде										

11. Сделать выводы о влиянии условий твердения гипсового камня на его деформации и прочность.

Лабораторная работа № 2.2.

ОЦЕНКА ВЛИЯНИЯ РЕГУЛЯТОРОВ СХВАТЫВАНИЯ НА СВОЙСТВА СТРОИТЕЛЬНОГО ГИПСА

Цель работы: исследовать влияние регуляторов схватывания на свойства строительного гипса.

Задачи:

1. Определить нормальную плотность и сроки схватывания гипсового теста.
2. Изготовить образцы-балочки.

3. Определить прочность гипсового камня.
4. Сделать вывод о влиянии регуляторов схватывания на свойства строительного гипса.

Приборы и материалы

1. Гипс строительный.
2. Вискозиметр – прибор Суттарда.
3. Чашка затворения.
4. Лопатка перемешивания.
5. Прибор Вика.
6. Секундомер.
7. Формы-призмы 4×4×16 см.
8. Баки твердения.
9. Сушильный шкаф.
10. Пресс.
11. Прибор МИИ-100.
12. Весы с разновесами.
13. Мерные цилиндры.
14. Пластинки металлические для испытания прочности образцов при сжатии.
15. Машинное масло.

Методика выполнения работы

1. Для определения нормальной густоты (НГ) на 300 г гипса рассчитать необходимое количество добавки. Добавку растворить в воде затворения.
2. Определить НГ с соответствующими добавками.
3. Определить сроки схватывания гипса с добавками при НГ.
4. Заформовать гипс с добавками НГ в формы-кубы по 9 образцов каждой разновидности.
5. Через 1 час расформировать, промаркировать, оставить на воздухе.
6. По 3 образца в возрасте 2,0 ч испытать на прочность при сжатии, остальные оставить на 14 дней воздушного твердения.
7. Через 14 дней твердения высушить до постоянного веса, испытать на сжатие 3 образца.
8. Оставшиеся 3 образца испытать на прочность при сжатии в возрасте 14 суток нормального твердения.

9. Результаты испытаний записать в табл. 2.2.

10. В выводах установить влияние добавок на следующие свойства гипса: НГ, сроки схватывания, прочность при сжатии через 2,0 ч, через 14 суток твердения на воздухе, после высушивания образцов до постоянного веса. Построить диаграммы зависимостей НГ, сроков схватывания и прочностей от вида добавки и ее процентного содержания.

Таблица 2.2

Влияние добавок – регуляторов схватывания на свойства строительного гипса

Добавка	Дозировка	НГ (В/Г)	Сроки схватывания, мин		Предел прочности при сжатии, МПа		
			Начало	Конец	2,0 ч	14 суток, нормальное твердение	Высушивание до постоянного веса

Лабораторная работа № 2.3.

ИЗУЧЕНИЕ СВОЙСТВА ГИДРОФОБНОСТИ НА ПРИМЕРЕ АКТИВАЦИИ МИНЕРАЛЬНОГО ПОРОШКА МП-1

Цель работы: определить степень гидрофобности минерального порошка МП-1 путем его активации в лабораторной барабанной мельнице.

Задачи:

1. Испытать метод активации минерального порошка МП-1.
2. Определить степень гидрофобности минерального порошка МП-1.

Приборы и материалы:

1. Весы лабораторные 4 класса точности по ГОСТ 24104–2001.
2. Шкаф сушильный.
3. Чашки фарфоровые диаметром 10–15 см по ГОСТ 9147–80.
4. Эксикатор с безводным хлористым кальцием по ГОСТ 450–77.
5. Шпатель.
6. Лабораторная шаровая мельница.

Методика выполнения работы:

1. Подготовить 2 пробы минерального порошка по 50 г (промаркировать как пробы МП-1, МП-2).

2. Пробы перед проведением испытаний высушивают в сушильном шкафу при температуре $(105 \pm 5) ^\circ\text{C}$ до постоянной массы.

3. К одной из проб порошка (МП-1) добавить 1 % активатора (битумная эмульсия). Произвести помол этой пробы порошка в лабораторной шаровой мельнице в течение 20 минут. При этом в процессе помола битумная эмульсия тонкой пленкой покрывает все зерна минерального порошка. Таким образом произойдет активация минерального порошка МП-1.

4. Провести параллельно испытания проб активированного (МП-1) и неактивированного (МП-2) минерального порошка.

Стеклянный стакан заполняют дистиллированной водой на 50 мм ниже края и ставят на уровне глаз (для удобства наблюдения) на ровную поверхность (стол или подставку), предварительно покрытую листом бумаги, на которую нанесены две параллельные линии на расстоянии 50 мм друг от друга.

Стакан устанавливают таким образом, чтобы одна из линий на бумаге являлась касательной к основанию стакана.

5. От подготовленной пробы порошка отвешивают около 0,5 г и ссыпают его со шпателя на поверхность воды легким постукиванием шпателя по краю стакана. Стакан двигают от одной линии к другой и обратно. Цикл, включающий два движения (путь в 100 мм), должен выполняться за 1 с плавно, без рывков (рис. 2.1).

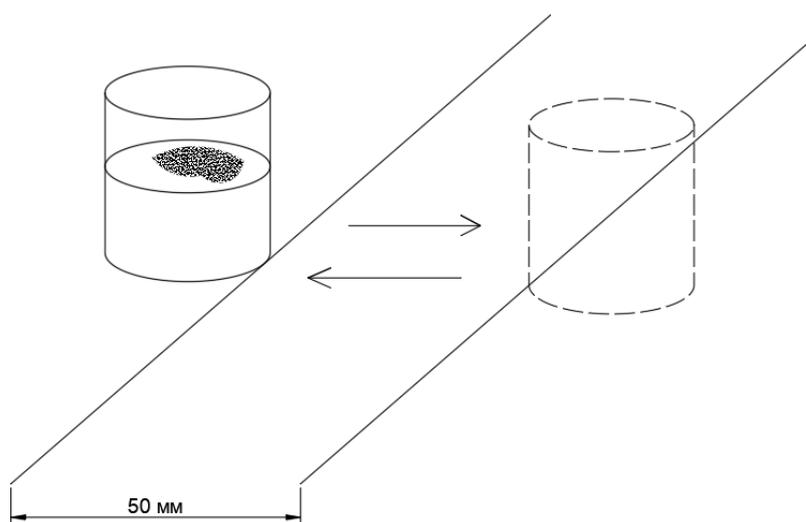


Рис. 2.1. Цикл движения стакана для определения гидрофобности МП-1

6. Порошок считают гидрофобным, если после 10 циклов перемещений стакана не наблюдается даже легких («туманных») потоков порошка с поверхности воды ко дну стакана.

7. На основе проведенных испытаний сделать вывод о влиянии активации на степень гидрофобности минерального порошка.

Пояснение: в процессе совместного помола минерального порошка и битумной эмульсии на поверхности зерен образовалась тонкая гидрофобная пленка. Согласно термодинамике, материя стремится к состоянию с минимальной энергией, а связывание понижает химическую энергию. Молекулы воды поляризованы и способны образовывать между собой водородные связи, чем объясняются многие уникальные свойства воды. В то же время гидрофобные молекулы битумной эмульсии не поляризованы и не способны образовывать водородные связи, поэтому вода отталкивает такие молекулы. Именно этот эффект определяет гидрофобное взаимодействие.

Лабораторная работа № 2.4. ОЦЕНКА УХУДШЕНИЯ СВОЙСТВ СТРОИТЕЛЬНОГО ГИПСА ПРИ ДЛИТЕЛЬНОМ ХРАНЕНИИ

Цель работы: определить степень ухудшения свойств строительного гипса при длительном хранении.

Задачи:

1. Определить водопотребность строительного гипса после длительного хранения.
2. Определить сроки схватывания строительного гипса после длительного хранения.
3. Определить марку строительного гипса после длительного хранения.
4. Оценить основные характеристики гипса после длительного хранения на соответствие требованиям ГОСТ 125–2018.

Приборы и материалы

1. Гипс строительный.
2. Вискозиметр – прибор Суттарда.
3. Чашка затворения.
4. Лопатка перемешивания.
5. Прибор Вика.
6. Секундомер.
7. Формы-призмы 4×4×16 см.
8. Баки твердения.
9. Сушильный шкаф.

10. Пресс.
11. Прибор МИИ-100.
12. Весы с разновесами.
13. Мерные цилиндры.
14. Пластинки металлические для испытания прочности образцов при сжатии.
15. Машинное масло.

Методика выполнения работы

1. Определить нормальную густоту (НГ) строительного гипса по прибору Сутгарда (ГОСТ 23789–2018, п. 6.1). Записать результаты испытаний в табл. 2.3. Водопотребность гипсового теста указать отдельной строкой как вывод после выполнения всех опытов.

Таблица 2.3

Результаты испытаний

Показатель	Опыт		
	1	2	3
Определение нормальной густоты (НГ)			
Масса гипса, г			
Масса пробного количества воды, г			
Процент содержания воды от массы гипса			
Диаметр расплыва лепешки, мм			
Водопотребность гипсового теста, %			
Определение сроков схватывания			
Начало схватывания, мин			
Конец схватывания, мин			
Определение прочностных свойств гипсового камня			
Прочность при изгибе, МПа			
Прочность при сжатии, МПа			

2. Определить сроки схватывания теста нормальной густоты на приборе Вика (ГОСТ 23789–2018, п. 6). Записать результаты определения сроков схватывания с указанием начала и конца схватывания гипсового теста отдельными строками в табл. 2.3 как выводы после проведения эксперимента.

3. Определение марки строительного гипса после длительного хранения

3.1. Для изготовления образцов берут пробу гипсового вяжущего массой от 1,0 до 1,6 кг. Гипсовое вяжущее в течение 5–20 с засыпают в предварительно протертую влажной тканью чашку смесителя с водой, взятой в количестве, необходимом для получения теста стандартной консистенции. После засыпания

гипсового вяжущего смесь интенсивно перемешивают ручной мешалкой в течение 60 с до получения однородного теста, которым заливают форму.

3.2. Внутреннюю поверхность стенок формы и поддон предварительно смазывают тонким слоем машинного масла. Приготовленное тесто укладывают в форму.

3.3. Уложенное тесто уплотняют и выравнивают пятью ударами формы о поверхность стола, поднимая ее за торцевую сторону на высоту 10 мм. После наступления начала схватывания излишки гипсового теста снимают линейкой, передвигая ее по верхним граням формы перпендикулярно к поверхности образцов. Через (15 ± 5) мин после конца схватывания образцы извлекают из формы, маркируют и хранят в помещении для испытаний при температуре (23 ± 2) °С и относительной влажности воздуха (50 ± 5) %.

3.4. Определение прочности образцов, изготовленных из гипсового теста стандартной консистенции, проводят через 2 ч после контакта гипсового вяжущего с водой.

3.5. Для определения предела прочности на растяжение при изгибе на приборе МИИ-100 (рис. 2.2) образец устанавливают на опоры прибора для испытания на изгиб так, чтобы его грани, горизонтальные при изготовлении, находились в вертикальном положении.



Рис. 2.2. Испытательная машина МИИ-100

3.6. Предел прочности при сжатии определяют испытанием шести половинок образцов-призм, полученных при испытании по п. 3.5 (рис. 2.3).

Половинку образца-призмы помещают между двумя пластинками для передачи нагрузки на образец так, чтобы боковые грани, находившиеся при

формовании образцов в вертикальном положении, располагались бы в плоскостях пластинок, а упоры пластинок плотно прилегали бы к торцевой гладкой грани образца. Скорость нарастания нагрузки при испытании (50 ± 10) Н/с.

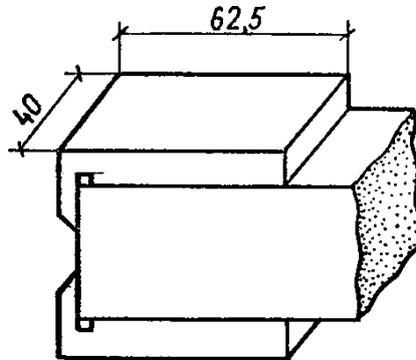


Рис. 2.3. Подготовка половинки образцов-призм к испытанию на предел прочности при сжатии

3.7. Предел прочности при сжатии одного образца, МПа, вычисляют по формуле:

$$R_{сж} = \frac{F}{A},$$

где F – разрушающая нагрузка, кН; A – площадь рабочей поверхности пластинки, равная 25 см^2 .

Предел прочности на сжатие вычисляют как среднее арифметическое результатов шести испытаний без наибольшего и наименьшего результатов, вычисленное с точностью $\pm 0,1$ МПа.

4. Оценить основные характеристики гипса после длительного хранения на соответствие требованиям ГОСТ 125–2018. Сделать вывод, по каким параметрам строительный гипс соответствует (не соответствует) требованиям.

Лабораторная работа № 2.5.

ОЦЕНКА СВОЙСТВ СТРОИТЕЛЬНОГО ГИПСА ПОСЛЕ ПОВТОРНОГО ОБЖИГА (ВОССТАНОВЛЕНИЯ)

Цель работы: оценить свойства строительного гипса после проведения восстановления.

Задачи:

1. Провести повторный обжиг строительного гипса (восстановление его свойств).

2. Повторно определить основные свойства гипса после его восстановления.
3. Оценить основные свойства гипса после его восстановления на соответствия требованиям ГОСТ 125–2018.
4. Сформулировать вывод о целесообразности проведения повторного обжига строительного гипса после длительного хранения.

Приборы и материалы

1. Гипс строительный.
2. Вискозиметр – прибор Суттарда.
3. Чашка затворения.
4. Лопатка перемешивания.
5. Прибор Вика.
6. Секундомер.
7. Формы-призмы 4×4×16 см.
8. Баки твердения.
9. Сушильный шкаф.
10. Пресс.
11. Прибор МИИ-100.
12. Весы с разновесами.
13. Мерные цилиндры.
14. Пластинки металлические для испытания прочности образцов при сжатии.
15. Машинное масло.
16. Муфельная печь.

Методика выполнения работы

1. Провести повторный обжиг по следующему режиму: температура обжига 120 °С, время нагрева 15 мин, время выдержки при максимальной температуре 30 мин. **После окончания режима обжига муфельную печь сразу не открывать!** Дождаться ее остывания в течение 1 часа.
2. Повторно определить основные свойства гипса после его реанимирования по методике, описанной в лабораторной работе № 2.4. Оценить их соответствии требованиям ГОСТ 125–2018. Оценить степень изменения определенных свойств.
3. Сформулировать вывод о целесообразности проведения повторного обжига строительного гипса после длительного хранения.

Контрольные вопросы

1. Что называется водопотребностью гипса?
2. Каким должен быть диаметр расплыва лепешки при определении водопотребности гипса на приборе Сутгарда?
3. Какими уравнениями химической реакции описываются получение и твердение гипса?
4. Как с применением прибора Вика установить начало и конец схватывания гипсового теста?
5. Чем объясняется сокращение срока схватывания гипса длительного хранения?

РАЗДЕЛ 3. ФИЗИКО-ХИМИЧЕСКИЕ ПРОЦЕССЫ ПРИ ИЗГОТОВЛЕНИИ И ЭКСПЛУАТАЦИИ ЦЕМЕНТНЫХ ВЯЖУЩИХ

Теоретические сведения

Основы структурообразования в цементных системах. Получение большинства строительных материалов и изделий из вяжущих веществ основано на том, что вяжущее вещество взаимодействует с водой с образованием продуктов реакции, обуславливающих процесс твердения. В практике обычно требуется, чтобы на определенной стадии технологического процесса реакции вяжущих веществ с водой протекали быстро и по возможности полно. Одним из важных условий, обеспечивающих гидравлическую активность вяжущего вещества, т. е. активность по отношению к воде, служит достаточно высокая степень его дисперсности. С повышением степени дисперсности вещества возрастает его химическая активность.

Вяжущие вещества при смешивании с водой образуют практически однородную пастообразную смесь, называемую вяжущим тестом. Вяжущее тесто обладает способностью под влиянием внешних механических воздействий деформироваться без нарушения сплошности и сохранять полученную форму, когда действие внешней силы прекращено. Такое свойство называют *пластичностью* теста.

Причины, обуславливающие пластичность вяжущего теста, связаны с особыми свойствами тонких слоёв воды, прилегающих к поверхности твердых частиц.

Молекулы воды, находящиеся в тонких слоях, могут притягиваться поверхностью твердого тела в той или другой степени (в зависимости от химического состава поверхности) и закономерно ориентироваться в результате взаимодействия с ней. Свойства воды в такой пленке отличаются от свойств жидкой воды в обычном состоянии и приближаются к ее свойствам в кристаллическом состоянии. Связанная вода может обладать достаточной механической прочностью и противостоять давлению или срезающему усилию в несколько граммов на 1 см^2 .

Толщина слоя связанной воды выражается долями микрона. Практически же слои связанной воды в вяжущем тесте могут иметь большую толщину, так как мельчайшие пылинки и загрязняющие примеси, имеющиеся в воде, создают свои новые очаги воздействия на прилегающую жидкость.

Полутвердые водные оболочки выполняют в вяжущем тесте двойную функцию: они служат как бы связующим веществом и вместе с тем связкой. Эти оболочки придают тесту известную устойчивость, связность и вместе с тем облегчают скольжение твердых частиц друг относительно друга. Поэтому вяжущее тесто способно деформироваться при действии внешних сил, не нарушая своей сплошности, т. е. обладает пластичностью.

На практике стремятся к повышению пластичности бетонных и растворных смесей, чтобы их можно было легче перемешивать, укладывать и уплотнять. Для этого обычно увеличивают объем вяжущего теста в бетонной смеси. Но это часто связано с необходимостью расходовать лишней цемент. Если повысить пластичность бетонной смеси добавлением одной только воды, то прочность бетона при этом уменьшится. Вообще при изготовлении бетона и изделий из него строители и технологи вынуждены для получения достаточно пластичных и удобоформуемых смесей вводить значительно больше воды, чем это требуется для реакций взаимодействия вяжущего вещества с водой. Поэтому та часть воды, которая химически не была усвоена вяжущим веществом, испаряется из бетона; образующиеся при этом воздушные поры понижают его прочность и долговечность.

В последнее время для снижения количества воды затворения при сохранении достаточной пластичности бетонных смесей и для уменьшения расхода вяжущих веществ стали применять добавки поверхностно-активных соединений: *воздухововлекающие добавки* (натриевые мыла смоляных кислот), *добавки гидрофилизующего типа* (сульфитно-спиртовая барда) и *добавки гидрофобизирующего типа* (нафтеновые кислоты, высшие синтетические жирные кислоты).

Модифицирующие добавки для цементных вяжущих веществ. Добавки:

- замедляют схватывание смеси;
- увеличивают водоудерживающую способность;
- увеличивают подвижность и пластичность;
- улучшают прочность сцепления с основанием;
- создают особую поровую структуру.

В качестве замедлителя схватывания применяются винная, лимонная кислоты, цитрат натрия. Побочный эффект от введения органических кислот – снижение конечной прочности. Кроме того, возникает эффект «жесткости» при шлифовании. Эти недостатки исключены при использовании замедлителей на основе солей N-полиоксиметиленаминовых кислот.

Самый первый показатель качества сухих строительных смесей (ССС), с которым сталкивается потребитель, – это удобонаносимость. Специалистам известно, как много рецептов СССР было забраковано только потому, что они (при отсутствии других замечаний!) обеспечивали меньшее удобство нанесения, чем другие. Поэтому водоудерживающие добавки необходимо рассматривать совместно с реологическими добавками (пластификаторами), поскольку, во-первых, водоудерживающие добавки несомненно изменяют реологию системы, а во-вторых, введение пластификатора потребует изменить количество воды затворения и водоудерживающей добавки.

Традиционной водоудерживающей добавкой является метилцеллюлоза. Введение в рецептуру эфира крахмала в количестве 1:10 от эфира целлюлозы предотвращает налипание раствора на рабочий инструмент, что очень важно для штукатурок как ручного, так и машинного нанесения.

Выбор реологической добавки происходит между сульфонат-меламиновым суперпластификатором и поликарбоксилатным гиперпластификатором.

Реологические добавки – это комплекс разнообразных веществ органического и неорганического происхождения, которые добавляются в смеси с целью улучшения показателей вязкости и тиксотропности, т. е. способности материала разжижаться от механического воздействия и загустевать в состоянии покоя.

Одними из самых широко используемых реологических добавок сегодня являются *добавки на основе бентонита* (бентонитовой глины). Бентонит – это сорт глины, в состав которой входит около 70 % минералов группы монтмориллонита.

Суперпластификатор служит для снижения количества воды в процессе приготовления смеси. За счет уменьшения водопотребления резко улучшаются все потребительские характеристики бетона и некоторые технологические параметры (ускоряется набор первоначальной прочности, упрощается процесс формования).

Суперпластификаторы оптимально классифицировать по механизму воздействия на цементные системы. Собственно, классические суперпластификаторы – это вещества, которые воздействуют на цементные системы за счет эффекта электростатического отталкивания частиц цемента. Это суперпластификаторы на основе нафталин-формальдегидных поликонденсатов (НФ), на основе меламино-формальдегидных конденсатов (МФ) и на основе лигносульфонатов (ЛСТ). Самые старые и дешевые – с минимальным пластифицирующим эффектом (С-3).

Пластификаторы нового поколения работают совсем по другому принципу, и по эффективности их можно уже отнести к категории гиперпластификаторов.

Гиперпластификаторы производятся на основе поликарбоксилатов (ПК) и полиакрилатов (ПА). По некоторым оценкам, силы взаимного отталкивания частиц цемента при введении гиперпластификаторов почти вдвое больше, чем у суперпластификаторов МФ и НФ, и почти втрое больше, чем у ЛСТ.

Воздухововлечение и пеногашение – две противоположные и в равной мере важные задачи. Для самовыравнивающихся систем эффективное пеногашение обеспечит прочную и гладкую поверхность наливного пола. Воздухововлечение – важный метод, позволяющий улучшить тепло- и звукоизоляцию, сократить расход сырья (воздух как наполнитель ничего не стоит), дополнительным эффектом от применения воздухововлечателя будет пластификация раствора.

Химический и фазовый состав цементного камня. Структура цементного камня представляет собой совокупность не до конца прогидратированных исходных частиц цемента и образующихся продуктов гидратации клинкерных минералов, а также пор различного размера. Состав новообразований при гидратации портландцемента зависит от химического и минералогического составов цемента, а также от ряда других факторов, в том числе от температуры, при которой взаимодействуют компоненты, и от степени влияния окружающей среды.

Алюминаты, силикаты и алюмоферриты кальция в нормальных условиях твердения гидратируются с различной скоростью. При взаимодействии C_3S с водой в нормальных условиях выделяется гидроксид кальция и образуются гидросиликаты кальция различного состава, которые характеризуются слабой степенью закристаллизованности и обозначаются общей формулой $C-S-H$ (I). Основность гидросиликатов зависит от концентрации $Ca(OH)_2$ в цементном тесте. При малом содержании $Ca(OH)_2$ образуются низкоосновные гидросиликаты типа $C-S-H$ (I). Гидратация двухкальциевого силиката происходит намного медленнее, чем гидратация C_3S , при этом образуются в основном гидросиликаты кальция типа $C-S-H$ (I), количество выделяющегося $Ca(OH)_2$ значительно меньше.

Влияние трехкальциевого алюмината, несмотря на его меньшее содержание в составе портландцементного клинкера по сравнению с минералами-силикатами, весьма заметно на начальной стадии гидратации. C_3A обычно ответственен за образование различных гидроалюминатов, гидрокарбо- и гидросульфоалюминатов кальция.

Трехкальциевый алюминат реагирует с водой, образуя гидроалюминаты C_4AH_x , а при взаимодействии с гипсом в течение нескольких минут образуется высокосульфатная форма гидросульфалюмината кальция – этtringит $3CaO \cdot Al_2O_3 \cdot 3CaSO_4 \cdot 31H_2O$. При пониженных концентрациях $Ca(OH)_2$ и сульфата кальция возможно образование низкосульфатной формы гидросульфалюмината кальция $3CaO \cdot Al_2O_3 \cdot CaSO_4 \cdot 12H_2O$.

Перечисленные выше фазы в составе продуктов гидратации обыкновенных портландцементов не являются абсолютно стабильными, склонны к перекристаллизации, а также к взаимодействию между собой и с компонентами окружающей среды.

Фазовый состав портландцементов определяется различными методами: рентгенофазовый и термогравиметрический анализы, инфракрасная спектроскопия, мессбауэровская спектроскопия, электронно-растровая микроскопия.

Рентгенофазовый анализ. Под рентгенографическим анализом понимается совокупность разнообразных методов исследования, в которых используется рентгеновское излучение – поперечные электромагнитные колебания с длиной волны 10^{-2} – 10^2 Å.

Рентгеноструктурный анализ является более универсальным и совершенным методом исследования материалов по сравнению с другими методами анализа. Этот метод позволяет производить не только качественный и количественный фазовый анализы сложных по составу материалов, но и определять строение кристаллической решетки индивидуальных соединений. Как метод фазового анализа он особенно полезен при исследовании твердых растворов, явлений полиморфизма, процессов распада и синтеза новых соединений.

Исследование вяжущих материалов методом рентгеноструктурного анализа направлено в основном на определение состава и количества соединений, образующихся в изучаемом продукте, а также дисперсности твердой фазы.

К рентгеновским лучам относят излучение, занимающее участок электромагнитного спектра от нескольких сотен до десятых долей ангстрема (10^{-10} м) или от нескольких десятков до сотых долей нанометра (10^{-9} м). Это жесткое коротковолновое излучение. Расстояние между атомами в кристаллической решетке твердых тел колеблется от единиц до полутора десятков ангстрем. Прохождение рентгеновских лучей через вещество сопровождается разными видами взаимодействия, одним из которых является рассеяние рентгеновских лучей: вещество, которое подвергается действию рентгеновского излучения, испускает вторичное излучение, длина волны которого равна длине волны падающих лучей (когерентное рассеяние). Каждый изолированный атом рассеивает

излучение равномерно во все стороны в виде концентрических сфер. Если падающая волна рентгеновского излучения перпендикулярна атомному ряду, то все атомы ряда одновременно излучают электромагнитные колебания. Поскольку расстояние между атомами соизмеримо с длиной волны вторичного когерентного излучения, то кристалл может служить для него дифракционной решеткой. Энергия этого излучения рассеивается в разных направлениях с различной интенсивностью: по одним направлениям усиливается, по другим ослабляется и даже полностью гасится. Усиление колебаний происходит по тем направлениям, где разность хода рентгеновских лучей равна целому числу волн или четному числу полуволн. Это правило (условие интерференции) справедливо для любого излучения. В результате образуется серия плоских волн, которые распространяются в особых направлениях.

Дифрагированный луч можно рассматривать как результат отражения от одной из плоскостей атомной решетки. Любая трехмерная решетка рассматривается как совокупность бесконечного числа параллельных атомных плоскостей, расположенных на равном расстоянии друг от друга.

Рассмотрим одну из таких систем плоскостей, характеризующихся межплоскостным расстоянием d (рис. 3.1). Каждая плоскость отражает луч под одним и тем же углом θ , так как рентгеновские лучи распространяются в веществе практически без преломления.

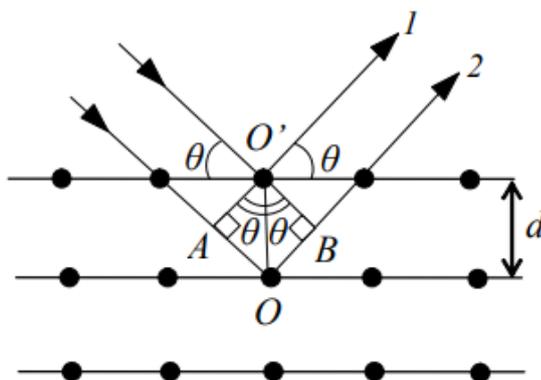


Рис. 3.1. Отражение рентгеновских лучей в кристалле по Брэггу

Следовательно, условие дифракции рентгеновских лучей (Вульфа – Брэгга) будет иметь вид согласно формуле:

$$2d \cdot \sin \theta = n \cdot \lambda,$$

где d – межплоскостное расстояние, м⁻¹⁰; n – порядок отражения ($n = 1, 2, 3$); θ – угол отражения; λ – длина волны, м⁻¹⁰.

Это уравнение лежит в основе всех рентгеновских методов исследования кристаллических тел. Его используют для расчета межплоскостных расстояний d , которые, собственно, являются характеристикой конкретной кристаллической решетки. θ и λ – данные эксперимента.

Качественный фазовый анализ производится сравнением межплоскостных расстояний d и их интенсивности J , полученных при расшифровке данной рентгенограммы, с табличными данными. Знание химического состава вещества облегчает проведение расшифровки рентгенограммы, так как позволяет предположить возможный минералогический состав продукта.

Кристаллы каждого индивидуального химического соединения дают специфическую, только им присущую рентгенограмму с характерными величинами межплоскостных расстояний и определенной интенсивностью соответствующих отражений. Идентификация фазы считается достаточно надежной, если на рентгенограмме наблюдается не менее трех наиболее интенсивных ее линий. Полученная в результате определения рентгенограмма представляет из себя ломаную линию с резко выделяющимися на ней пиками (рис. 3.3), высота которых зависит от количества минерала в клинкере и от коэффициента усиления пересчетного устройства установки, настраиваемого обычно по наиболее интенсивному пику, причем колебания записи 1–3 мм на рентгенограмме от нулевого положения считаются фоном самого прибора и при расшифровке во внимание не принимаются. Одновременно с записью рентгенограммы установка (рис. 3.2) автоматически наносит на неё сетку контрольных линий (через $0,5^\circ$ или 1°), соответствующих углам отражения рентгеновских лучей от образца, которая позволяет при расшифровке рентгенограммы перейти к межплоскостным расстояниям кристаллической решетки исследуемого образца.

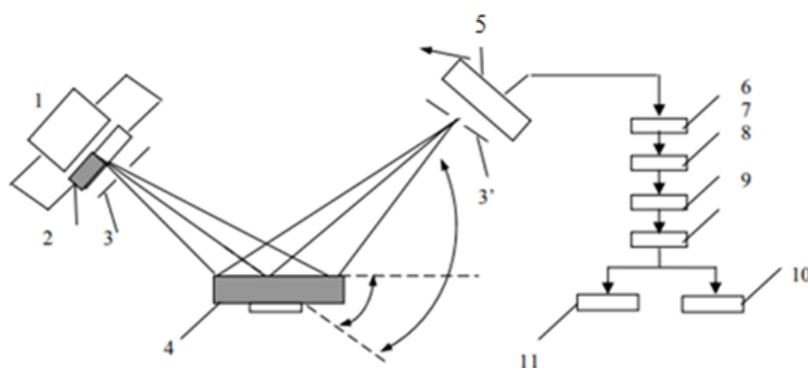


Рис. 3.2. Принципиальная схема дифрактометра:

1 – источник высокого напряжения; 2 – рентгеновская трубка; 3, 3' – диафрагмы; 4 – образец; 5 – счетчик квантов; 6 – фотоэлектронный умножитель; 7 – усилитель; 8 – дискриминатор; 9 – пересчетная схема; 10 – самопишущее устройство; 11 – интенсиметр

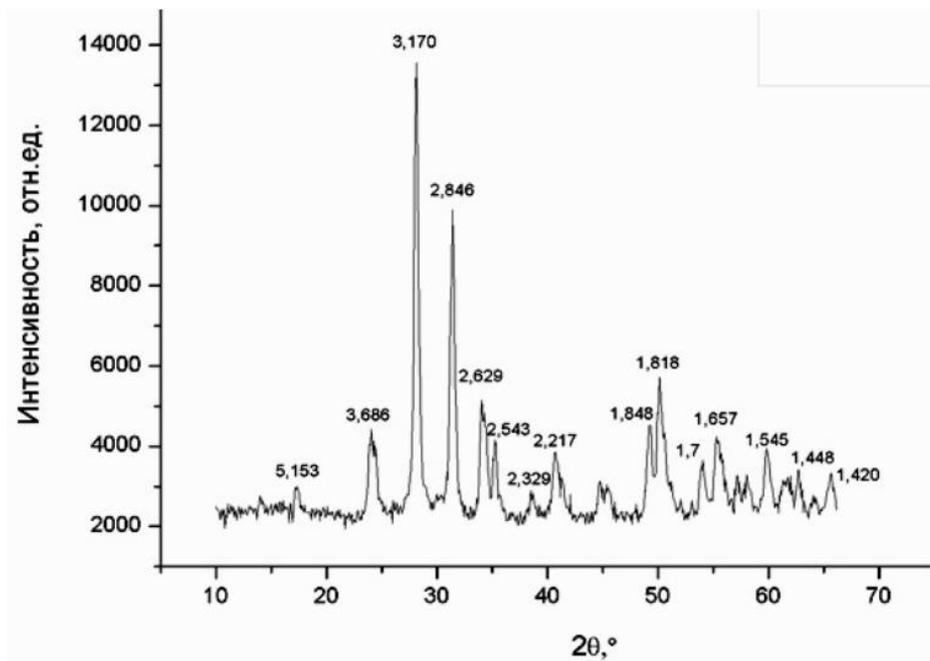


Рис. 3.3. Рентгенограмма кристаллической фазы керамики

Методы съемки рентгенограмм делят на фотографические (с регистрацией рентгеновского излучения на фотопленку) и дифрактометрические. В первом случае дифракционная картина одновременно регистрируется на фотопленке и представляет собой ряд концентрических пар дужек (черных полос).

Наиболее полными сборниками рентгенограмм являются «Рентгенометрический определитель минералов» В. И. Михеева и «Рентгенометрическая картотека», издаваемая до 1970 г. Американским обществом по испытанию материалов (ASTM). Последующие выпуски издаются Объединенным комитетом порошковых дифракционных стандартов (JCPDS). В настоящее время картотека содержит 40 выпусков (секций), в которых насчитывается более 40 000 карточек с дифракционными данными для неорганических и органических соединений и минералов. «Рентгенометрический определитель минералов», составленный В. П. Михеевым и Э. П. Сальдау, содержит обширные сведения, ключ для определения минералов по пяти наиболее интенсивным линиям, детальное описание рентгенограмм минералов, список литературы, указатель минералов и подробное оглавление, в котором дана классификация минералов, используемая в определителе. При анализе минеральных препаратов предпочтительнее пользоваться этим определителем. Кроме общих, существуют специальные определители для отдельных групп минералов. При анализе минералов или соединений определенного класса пользоваться ими удобнее, чем крупными определителями общего характера.

Термический анализ основан на определении изменения различных свойств вещества в процессе его нагревания:

- энергии (дифференциально-термический анализ);
- массы (термовесовой, или термогравиметрический метод);
- газовых выделений (газоволюметрический метод);
- линейного и объемного расширения (дилатометрия);
- электропроводности и др.

Наиболее широкое распространение получили дифференциально-термический и термогравиметрический методы анализа. Их принято считать классическими.

Дифференциально-термический анализ (ДТА) позволяет обнаружить выделение тепла (экзотермические процессы) или его поглощение (эндотермические превращения) в результате химических реакций или фазовых переходов, происходящих при нагревании вещества. История применения этого метода связана с именем Ле Шателье, который впервые использовал его в 1887 г. для исследования глинистых материалов. В нашей стране ДТА предложен Н. С. Курнаковым, сконструировавшим в 1904 г. самописец для автоматической фоторегистрации кривых нагревания веществ, названный им пирометром.

Если наполнить исследуемым материалом тигель, поместить его в нагревающуюся электропечь и измерять температуру с помощью термопары, подключенной к гальванометру, то представляется возможность достроить график изменения температуры материала во времени. Эта кривая носит название простой температурной кривой.

Если в веществе в процессе нагревания не происходит никаких реакций, связанных с изменением энергии системы, то простая температурная кривая имеет вид прямой, наклонной к оси абсцисс. Плавный ход этой прямой нарушается в случае протекания реакций, сопровождающихся выделением или поглощением тепла. Отклонения носят временный характер и прекращаются по окончании реакции. В качестве примера приведена простая температурная кривая нагревания каолинита, на которой отмечено два процесса: первый в интервале температур 490–600 °С и второй при 985–1060 °С (рис. 3.4).

Регистрация тепловых эффектов на простой кривой отличается малой чувствительностью, так как часто отклонения, связанные с протеканием каких-либо процессов, являются нечеткими, слабыми. Поэтому метод ДТА предполагает одновременную фиксацию простой и так называемой дифференциальной кривой нагревания.

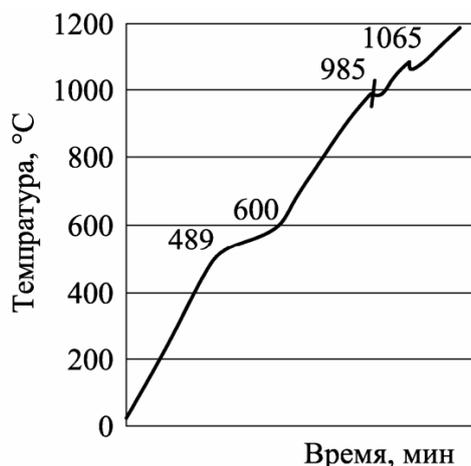


Рис. 3.4. Простая температурная кривая нагрева каолинита

Термовесовой метод анализа, или термогравиметрический (ТГ) основан на измерении веса исследуемого вещества при нагревании как показателя химических превращений в исследуемом материале. Этот метод является важным дополнением к дифференциально-термическому анализу, так как кривые потери веса дают новую информацию и помогают более точно охарактеризовать количественную сторону протекающих процессов.

При нагревании может происходить как уменьшение, так и увеличение веса материала. Уменьшение веса, как правило, обусловливается выделением из вещества газообразных продуктов (CO_2 , SO_2 , паров H_2O и т. п.), а увеличение веса – поглощением веществом кислорода в процессе окисления, CO_2 в процессе рекарбонизации и т. п. Однако для большинства минералов увеличение веса при нагревании чрезвычайно мало и им пренебрегают. Потери же веса, наоборот, значительны, и именно на их определении основан данный метод анализа.

Дериватограф – это термоустановка, позволяющая на одном и том же листе фотобумаги одновременно автоматически получать температурную и дифференциальную кривые нагрева и простую (интегральную) и дифференциальную кривые потери веса. Схема дериватографа показана на рис. 3.5.

Отклонение кривой ДТА вверх или вниз от базисной линии называется термическим эффектом. Термические эффекты, соответствующие процессам, связанным с поглощением тепла, и отображающиеся отклонением кривой ДТА ниже базисной линии, называются эндотермическими, выше базисной линии – экзотермическими. Первые обычно обозначаются знаком «минус», вторые – «плюс».

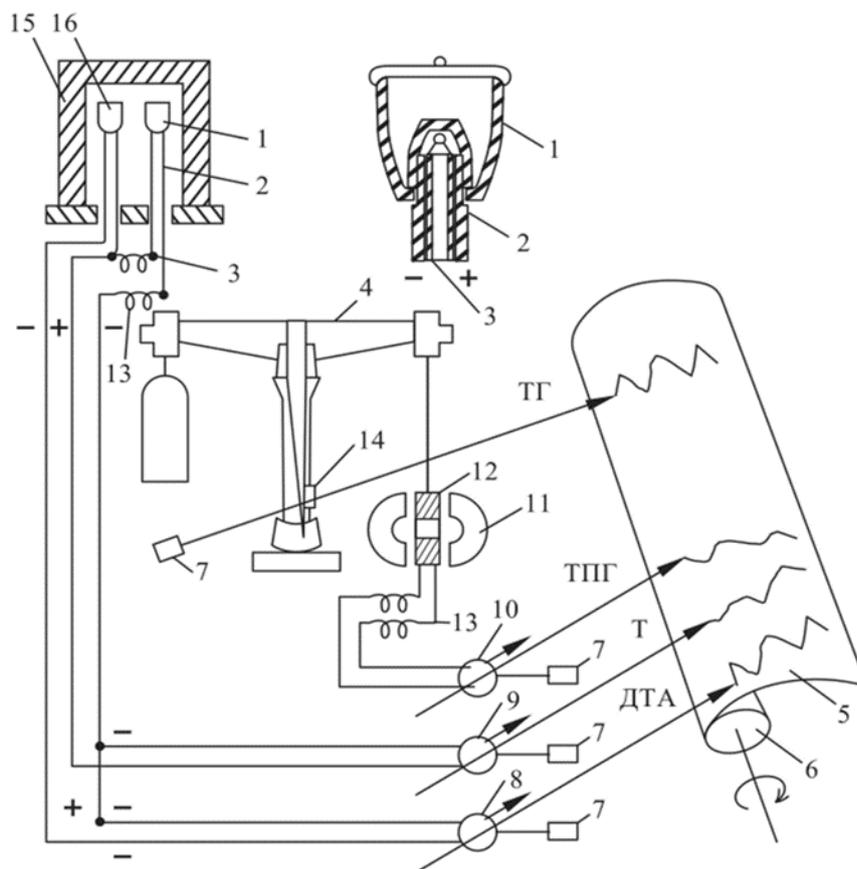


Рис. 3.5. Схема дериватографа:

1 – электропечь; 2 – тигель для эталона; 3 – тигель для пробы; 4 – горячий спай термопары; 5 – фарфоровая трубка-держатель термопары и тигеля; 6 – фокусирующая линза; 7 – стрелка весов; 8 – осветители; 9 – постоянный магнит; 10 – электрокатушка; 11 – зеркальные гальванометры; 12 – барабан самописца; 13 – шаблоны для оптического впечатывания шкал; 14 – аналитические весы

При расшифровке результатов анализа часто указывают не начало и конец реакции, а интервал температур, в котором она протекает, т. е. $T_0 - T_k$, или температуру максимума термического эффекта T_{max} .

На рис. 3.6 изображена дериватограмма боксита.

Деления на шкале потери веса 3 являются равномерными, цена их выбирается с учетом чувствительности весов. Шкала времени 1 вращения барабана самописца также равномерная, а деления шкалы температур 2 – неравномерные и выбираются в зависимости от предельных температур нагрева печи (150, 300, 600, 900 и 1200 °C). Все кривые на дериватограмме имеют одну координату – время.

Кривая ДТА на дериватограмме служит целям качественного фазового анализа, а кривые ДТГ и ТГ позволят подсчитывать количество того или иного соединения в сложном по составу материале. Совместный анализ нескольких кривых значительно увеличивает разрешающую способность метода.

Качественный фазовый анализ веществ основан на том, что температурные границы превращения веществ остаются практически неизменными, независимо от того, находится ли исследуемое соединение в чистом виде или в смеси с другими солями или минералами. Это при условии, что вещества, находящиеся в смеси, при нагревании не реагируют друг с другом. Следовательно, при нагревании смеси минералов, температурные эффекты превращения которых не совпадают, эти соединения можно идентифицировать. Если минерал имеет несколько термических эффектов, то совпадение некоторых из них с эффектами других соединений не мешает правильному качественному анализу.

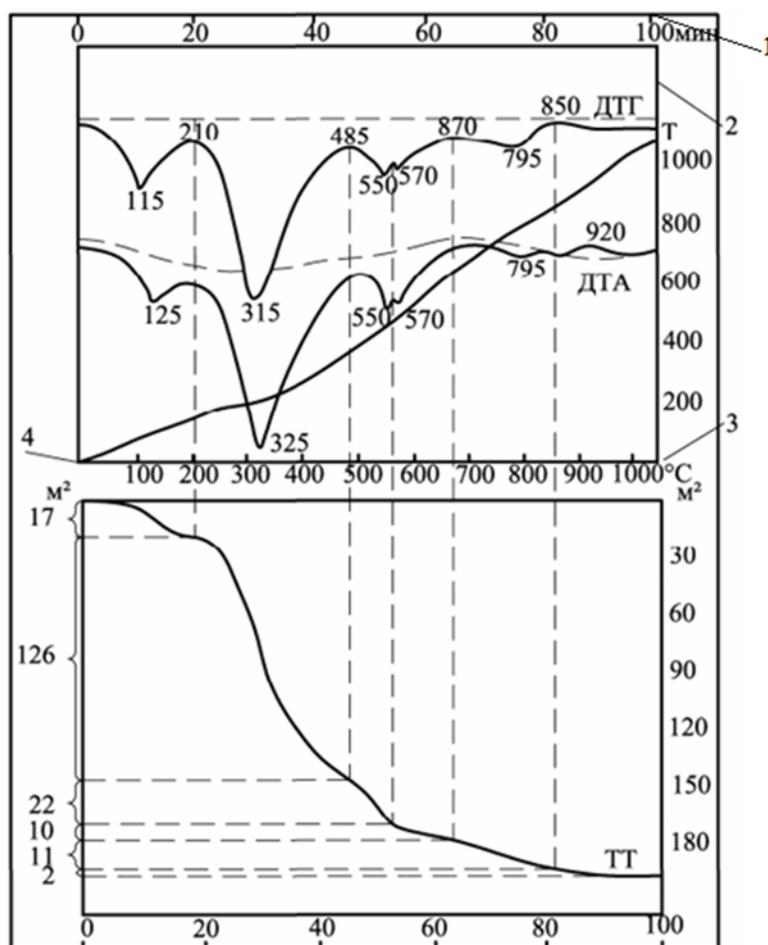


Рис. 3.6. Дериватограмма боксита:

1 – шкала времени; 2 – вертикальная шкала температур; 3 – шкала потери веса; 4 – горизонтальная шкала температур; ДТГ – дифференциальная кривая потери веса; ДТА – дифференциальная кривая нагревания; Т – температурная кривая нагревания; ТТ – простая кривая потери веса

Термограмму неизвестного вещества расшифровывают с помощью известных данных по температурам превращений других материалов, которые приведены в справочной литературе.

Необходимо также помнить, что эндотермические эффекты на дифференциальной кривой нагревания вещества могут быть обусловлены:

- разложением химических соединений за счет выделения газовой фазы (дегидратация, декарбонизация и т. д.);
- химическим распадом веществ, происходящих при их нагревании на более простые твердые продукты без выделения газообразной фазы;
- процессами полиморфных превращений энантиотропного характера;
- плавлением вещества.

Эти реакции протекают с поглощением тепла.

Экзотермические эффекты, сопровождающиеся выделением тепла, происходят в результате:

- химических реакций, протекающих с поглощением исследуемым веществом газовой фазы, например реакций окисления;
- процессов полиморфных превращений монотропного характера, когда неустойчивая при данной температуре модификация переходит в устойчивую;
- перехода вещества из неустойчивого аморфного состояния в кристаллическое (кристаллизация гелей, стекла, расплава).

Следовательно, ДТА позволяет:

- устанавливать наличие или отсутствие фазовых превращений в процессе нагревания исследуемого вещества;
- фиксировать температурные границы химических реакций или фазовых превращений;
- контролировать скорость химических и физических превращений;
- определять количество вещества, вступающего в реакцию.

Термические эффекты ряда материалов, применяемых специалистами по вяжущим веществам, приведены на электронном ресурсе **Mineralogy Database** (<http://www.webmineral.com/>).

Лабораторная работа № 3.1.

ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ ПЛАСТИФИЦИРУЮЩИХ ДОБАВОК И УСКОРИТЕЛЕЙ ТВЕРДЕНИЯ НА ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА ЦЕМЕНТНОГО ТЕСТА И ИНТЕНСИВНОСТЬ ТВЕРДЕНИЯ ЦЕМЕНТНОГО КАМНЯ

Цель работы: изучить и выявить влияние видов добавок пластифицирующего и ускоряющего действия на сроки схватывания цемента и интенсивность твердения бездобавочного цементного камня.

Задачи:

1. Определить водопотребность, начало и конец схватывания портландцемента, применяя 2–3 вида современных пластифицирующих и ускоряющих добавок.
2. Изготовить образцы-балочки и определить интенсивность твердения цементного камня.

Приборы и материалы

1. Портландцемент.
2. Хим. добавки (на выбор преподавателя).
3. Чашка затворения.
4. Лопатка перемешивания.
5. Прибор Вика.
6. Секундомер.
7. Формы-призмы 4×4×16 см.
8. Баки твердения.
9. Пресс.
10. Прибор МИИ-100.
11. Весы с разновесами.
12. Мерные цилиндры.
13. Пластинки металлические для испытания прочности образцов при сжатии.
14. Машинное масло.
15. Нож.

Методика выполнения работы

По заданию преподавателя каждая бригада получает задание на испытание эффективности применения различных видов химических добавок при твердении смесей на основе портландцемента. Каждая бригада выполняет экспериментальную часть по методике, представленной ниже.

1. Определить нормальную плотность портландцемента с добавками по ГОСТ 310.3–76, п. 1. Результаты испытаний записать в табл. 3.1.
2. Определить сроки схватывания портландцемента с добавками по ГОСТ 310.3–76, п. 2. Результаты испытаний записать в табл. 3.1.
3. Определить прочности при сжатии и изгибе портландцемента с добавками.

Влияние добавок регуляторов схватывания на свойства портландцемента

Хим. добавка	Дозировка, %	НГ	Сроки схватывания, мин		Предел прочности при сжатии*, МПа	Предел прочности при изгибе*, МПа
			Начало	Конец		

* По заданию преподавателя возможно определение прочности образцов в различном возрасте

3.1. Для изготовления образцов берут смесь портландцемента и песка в соотношении 1:3. Общая масса смеси от 1,0 до 1,6 кг. Для ручного приготовления цементного теста подготовленную смесь высыпают в сферическую чашу или специальную форму для перемешивания, предварительно протертую влажной тканью. Затем делают в смеси углубление, в которое вливают в один прием воду в количестве, необходимом (ориентировочно) для получения цементного теста нормальной густоты. Углубление засыпают смесью и через 30 с после затворения водой сначала осторожно перемешивают, а затем энергично растирают тестом лопаткой. Продолжительность перемешивания и растирания составляет 5 мин с момента затворения водой.

3.2. Приготовленное тесто укладывают в форму, смазанную маслом.

3.3. Уложенное тесто уплотняют и выравнивают пятью ударами формы о поверхность стола, поднимая ее за торцевую сторону на высоту 10 мм. Излишки теста снимают линейкой, передвигая ее по верхним граням формы перпендикулярно к поверхности образцов. Формы хранят с таким условием, чтобы образцы не подвергались высыханию. После достижения расплубочной прочности образцы извлекают из форм, маркируют и хранят в помещении для испытаний при температуре $(20 \pm 2) ^\circ\text{C}$ и относительной влажности воздуха не менее 90 %.

Лабораторная работа № 3.2.

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ХИМИЧЕСКОГО СОСТАВА ЦЕМЕНТОВ

Цель работы: определить химический состав портландцемента.

Задачи:

1. Определение реакции среды цементного раствора.
2. Определение реакции образования кремниевой кислоты.
3. Определение качественных реакций на содержание ионов кальция и железа.

Приборы и материалы

1. Портландцемент.
2. Глиноземистый цемент.
3. Дистиллированная вода.
4. Индикатор фенолфталеин.
5. Соляная кислота.
6. Шпатель.
7. Стеклянная палочка.
8. Стеклянная колба.
9. Фильтр-бумага.

Методика выполнения работы

I. Получение водной вытяжки портландцемента и определение реакции раствора.

1. В пробирку насыпать один шпатель портландцемента и налить до половины дистиллированной воды. В течение 2–3 мин энергично встряхивать содержимое.

2. Предварительно отфильтровать выпавший осадок через воронку с фильтром в пробирку.

3. В первую пробирку добавить 2–3 капли фенолфталеина. Дать оценку изменения окраски.

4. Во второй и третьей пробирках выполнить качественные реакции на катион кальция. Записать уравнение реакции затворения цемента водой.

II. Частичное растворение и разрушение портландцемента кислотами.

1. В фарфоровую чашечку насыпать примерно 1,5 шпателя цементного порошка и добавить 5–6 мл концентрированной соляной кислоты. Осторожно перемешать содержимое пробирки стеклянной палочкой. **(Работа должна производиться только в вытяжном шкафу!).**

2. Наблюдать образование геля кремниевой кислоты.

3. Записать уравнение реакции взаимодействия всех составляющих клинкера портландцемента с соляной кислотой.

4. Долить немного дистиллированной воды и отфильтровать содержимое в пробирку.

III. Качественное определение ионов кальция и железа в портландцементе.

1. Полученный в опыте II фильтрат разделить на четыре пробирки.

2. В двух пробирках провести качественные реакции на катион кальция.

3. В третьей и четвертой пробирках провести качественные реакции на содержание иона трехвалентного железа.

4. Сделать выводы и дополнить их уравнениями прошедших реакций.

IV. Получение водной вытяжки глиноземистого цемента и определение реакции раствора.

1. В пробирку насыпать примерно один шпатель глиноземистого цемента и налить до половины дистиллированной воды. В течение 2–3 мин. энергично встряхивать содержимое пробирки.

2. Предварительно отфильтровать выпавший осадок через воронку с фильтром в пробирку. Если жидкость получается мутной, отфильтровать повторно. Фильтрат разделить на четыре пробирки.

3. В первой пробирке, добавив 2–3 капли фенолфталеина, определить реакцию раствора.

4. Во второй и третьей пробирках проделать качественные реакции на катион кальция.

5. Раствор четвертой пробирки испытать на присутствие катиона Al^{+3} . Объяснить отсутствие в фильтрате катиона алюминия.

6. Составить уравнение реакции взаимодействия двухкальциевого алюмината с водой.

Лабораторная работа № 3.3.

ИЗУЧЕНИЕ ФАЗОВОГО СОСТАВА ЦЕМЕНТНОГО КАМНЯ РЕНТГЕНОФАЗОВЫМ И ТЕРМОГРАВИМЕТРИЧЕСКИМ СПОСОБАМИ

Цель работы: освоение методики по определению качественного состава затвердевших каменных образцов на основе вяжущих веществ с помощью методов РФА и ДТА.

Приборы и материалы

1. Набор рентгенограмм различных образцов.
2. Набор термограмм различных образцов.

Методика выполнения работы

I. Получить набор рентгенограмм различных образцов и провести оценку содержания фаз. Результаты внести в табл. 3.2.

При идентификации фаз в ходе качественного рентгенографического анализа следует учитывать ряд обстоятельств, влияющих на правильность и точность определения состава многофазовых смесей:

Термогравиметрический анализ

Образцы	Дифференциально-термический анализ			Рентгенофазовый анализ		
	$t, ^\circ\text{C}$	Фаза	Потери массы в эффекте, %	Межплоскостное расстояние	Интенсивность линий	Фаза
1						
2						
...						

1. При сравнении величин d на полученной и эталонной рентгенограммах следует иметь в виду, что их значения в определенных пределах могут отличаться друг от друга. Допустимое отклонение $d = \pm 1 \%$.

2. Идентификация надежна, если на рентгенограмме исследуемого материала наблюдается, по крайней мере, 3–5 наиболее интенсивных линий данного соединения.

3. Каждую фазу можно идентифицировать только при ее определенном минимальном содержании в исследуемой смеси. Это минимальное количество называется чувствительностью метода. Например, при анализе клинкерных минералов на фотопленке наблюдаются отчетливые линии, когда их содержание в исследуемом материале составляет не менее 2–3 %.

4. При сравнении интенсивности дифракционных максимумов исследуемой и эталонной рентгенограмм следует учитывать, что абсолютные величины, соотношение интенсивности и характер пиков могут существенно изменяться в зависимости от состава смеси, размера кристаллов, условий съемки и т. д. Например, при совпадении линий двух фаз их интенсивности будут суммироваться.

II. Получить набор термограмм различных образцов и провести оценку содержания фаз. Результаты занести в табл. 3.2.

Контрольные вопросы

1. Какие зёрна в извести называются активными?
2. Для чего вводится однопроцентный раствор фенолфталеина в раствор извести при определении содержания $\text{CaO} + \text{MgO}$ (при титровании)?
3. Почему при титровании соляной кислотой раствора извести с фенолфталеином происходит обесцвечивание раствора?
4. Запишите реакции производства и гашения извести.
5. В чем заключается опасность наличия непогасившихся зерен в извести?

РАЗДЕЛ 4. ФИЗИКО-ХИМИЧЕСКИЕ ПРОЦЕССЫ ПРИ ИЗГОТОВЛЕНИИ И ЭКСПЛУАТАЦИИ МАТЕРИАЛОВ НА ОСНОВЕ ИЗВЕСТИ

Теоретические сведения

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

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 °С до возможно более полного удаления CO₂ по реакциям:



К сырью для изготовления воздушной извести предъявляют требования по химическому составу. Преобладающим компонентом горных пород должен быть карбонат кальция, что характерно для осадочных пород, образовавшихся в результате биогенеза доисторических животных. Характерными примесями в карбонатных породах являются механические примеси глины, песка, а также карбонаты магния. По содержанию оксида магния воздушную известь подразделяют на несколько видов: кальциевая содержит оксид магния не более 5 %, в магнезиальной содержание MgO не превышает 20 %, а в доломитовой – 40 %. На производстве в процессе обжига карбонатных пород преимущественно происходит процесс декарбонизации, т. е. разложение молекул карбонатов на оксид кальция (или магния) и диоксид углерода CO₂, который в газообразном виде выделяется в окружающую среду. Температура реакции диссоциации карбонатов кальция и магния различается. При более низких температурах 650–750 °С начинается термическое разложение карбоната магния с поглощением тепла $\Delta H = 101,74$ кДж/моль.

Реакция разложения карбонатов кальция начинается при более высокой температуре около 1000 °С и полностью завершается при 1300 °С с поглощением большего количества тепла $\Delta H = 177,90$ кДж/моль и образованием оксидов.

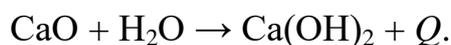
Выделяющийся при термической диссоциации CaCO₃ углекислый газ CO₂ составляет 44 % массы CaCO₃, поэтому образующаяся комовая негашеная

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. Макроструктурное строение комовой извести предопределяет высокую реакционную способность при взаимодействии с водой. Существует два способа переработки крупнозернистого продукта в порошкообразное вяжущее: при механическом способе производят тонкий размол в шаровых мельницах с получением молотой негашеной извести, а в случае воздействия на продукт воды в процессе гидратации образуется несколько видов гидратной (гашеной) извести.

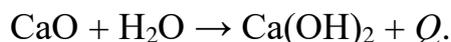
Негашеная комовая известь является смесью кусков различной величины, получаемой грубым дроблением продукта обжига. В химическом составе преобладает CaO , а также оксид магния. В примесном количестве возможно присутствие карбоната кальция, не прошедшего декарбонизацию, различные соединения кальция и магния (силикаты, алюминаты и ферриты), получаемые при взаимодействии компонентов глины, кварцевого песка с оксидами кальция и магния.

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

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



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



При гидратации извести выделяется большое количество тепла $\Delta H = -66,90$ кДж/моль. Данную реакцию необходимо контролировать, так как количества выделяющегося тепла достаточно для кипения воды или возгорания древесины и материалов из нее. Случайное начало реакции, например при образовании протечек атмосферных осадков в местах хранения негашеной извести, может привести к образованию цепной реакции, приводящей к химическому пожару в сооружениях хранилища. В зависимости от объема воды, участвующей в гашении, получают порошкообразную известь-пушонку, известковое тесто или молоко. По соотношению для химической реакции гидратации количество воды, необходимое для полного протекания процесса, составляет 30 % от количества оксида кальция. На практике воды требуется в 2–

3 раза больше (до 80 %), потому что параллельно протекает процесс испарения воды с поверхности комка извести за счет большого выделения тепла во время химической реакции.

Гидратная известь (пушонка) – это высокодисперсный сухой порошок, состоящий преимущественно из $\text{Ca}(\text{OH})_2$, который изготавливают при гашении негашеной комовой или молотой извести путем добавления небольшого количества воды, обеспечивающего только переход оксидов кальция и магния в их гидраты с увеличением объема от первоначального в 2–3 раза.

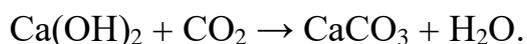
Известковое тесто – это продукт контролируемой гидратации комовой извести, состоящий преимущественно из $\text{Ca}(\text{OH})_2$ и представляющий собой дисперсию данного гидроксида в воде. Выдержанное известковое тесто получают в виде пастообразной концентрированной смеси с плотностью примерно 1400 кг/м^3 , содержащей суммарно около 50–55 % гидроксидов кальция и магния, а также 45–50 % воды. Важным показателем качества воздушной строительной извести является выход теста, который определяют объемом (в литрах) известкового теста, получаемого при гашении одного килограмма комовой извести. Высококачественные сорта извести (их называют жирными) быстро гасятся с большим выделением тепла с получением более пластичного теста и имеют выход теста 2,5–3,5 л. У низких сортов извести (тощая известь) процесс гидратации происходит медленно с образованием менее пластичного теста с наличием зерен оксида кальция, не распавшихся при гашении.

Известковое молоко имеет вид жидкости белого цвета и представляет собой суспензию плотностью менее 1300 кг/м^3 , в которой гидроксид кальция находится в основном во взвешенном и частично в растворенном состоянии. Получают в результате разбавления известкового теста водой.

При правильно подобранном водоизвестковом отношении $\text{В/И} = 0,9–1,5$ 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:

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



Образующиеся кристаллы 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 SiO_2 (в виде молотого песка) с образованием малорастворимых в воде низкоосновных гидросиликатов кальция различного состава, обуславливающих прочность и водостойкость силикатных изделий.

Строительную известь применяют в строительстве уже несколько тысячелетий: изготавливают вяжущие материалы, строительные растворы и бетоны на их основе, а также другие искусственные каменные материалы.

Лабораторная работа № 4.1. **ПОЛУЧЕНИЕ НЕГАШЕНОЙ ИЗВЕСТИ CaO И ЕЕ ГАШЕНИЕ**

Цель работы: сравнить эффективность применения молотой негашеной и гидратной извести для изготовления строительных растворов.

Задачи:

1. Получить негашеную известь.
2. Оценить реакцию гашения извести.
3. Оценить реакцию среды.

Приборы и материалы

1. Мел.
2. Фарфоровая чашка.
3. Муфельная печь.
4. Пробирка стеклянная.
5. Бумажные фильтры.
6. Индикатор фенолфталеин.

Методика выполнения работы

1. Кусочек мела поместить в тигель. Тигель поместить в муфельную печь. Прокалить мел при температуре 900 °С в течение 1 ч. Образуется негашеная известь.

2. Прокаленный кусочек извести положить в фарфоровую чашечку и смочить несколькими каплями воды. Наблюдать за изменениями, происходящими при этом. Записать уравнение гашения извести.

3. Добавить в фарфоровую чашечку воды, перемешать содержимое и отфильтровать через воронку с фильтром в пробирку. Фильтрат разделить на три пробирки. В первой пробирке определить с помощью фенолфталеина реакцию среды. Во второй и третьей провести качественные реакции на катион кальция.

Лабораторная работа № 4.2.

ПРИГОТОВЛЕНИЕ СТРОИТЕЛЬНОГО ИЗВЕСТКОВОГО РАСТВОРА

Цель работы: сравнить эффективность применения молотой негашеной и гидратной извести для изготовления строительных растворов.

Задачи:

1. Изготовить строительный раствор на основе извести.
2. Определить свойства раствора.
3. Оценить свойства растворов на каждом виде извести.

Приборы и материалы

1. Известь гидратная молотая негашеная.
2. Заполнитель (кварцевый песок, керамзитовый гравий, мраморная крошка).
3. Вода.
4. Прибор для определения подвижности с конусом.
5. Весы с разновесом.
6. Мерные сосуды.
7. Пресс.
8. Штык (стальной стержень).
9. Мерные цилиндры.
10. Формы-кубы 70×70×70 мм.
11. Линейка.

Методика выполнения работы

1. Замешать растворную смесь (5 кг) заданного состава по табл. 4.1. Для всех растворов в качестве вяжущего применяется известь гидратная молотая негашеная.

Составы известковых растворов

Назначение раствора	Вид заполнителя	Состав смеси по массе (известь: заполнитель)	Заданная подвижность смеси, см
Для каменной кладки	Кварцевый песок	1:4	6–7
		1:5	7–8
	Керамзитовый гравий	1:3	6–7
Для декоративной отделки	Мраморная крошка	1:4	8–9

2. Определить подвижность по ГОСТ 5802–86, п. 2.

3. Определить плотность растворной смеси с заданной подвижностью по формуле:

$$\rho = \frac{m - m_1}{1000},$$

где m – масса мерного сосуда (1 л) с растворной смесью, г; m_1 – масса мерного сосуда (1 л) без смеси, г.

Плотность растворной смеси определяют как среднее арифметическое значение результатов двух определений плотности смеси из одной пробы, погрешность – 5 % от меньшего значения.

4. Определить прочность раствора на сжатие (МПа) по формуле на образцах-кубах $70,7 \times 70,7 \times 70,7$ мм в возрасте, установленном в ГОСТ 5802–86 на данный вид раствора:

$$R_{сж} = \frac{F}{A},$$

где F – разрушающая нагрузка, кН; A – рабочая площадь сечения образца, см².

На каждый срок испытания изготовить по 3 образца.

5. Результаты всех испытаний занести в табл. 4.1.

Таблица 4.1

Результаты испытаний

Состав раствора	Подвижность растворной смеси, см	Плотность растворной смеси, г/см ³	Прочность раствора на сжатие, МПа
1			
2			

6. Выводы: сопоставить свойства растворов на каждом виде извести и рекомендовать вид извести для изготовления строительных растворов различного назначения.

Контрольные вопросы

1. Что называется воздушной строительной известью?
2. Какое минеральное сырьё используют для производства извести?
3. Что происходит при обжиге извести?
4. Какова реакция гашения извести, какими эффектами она сопровождается? Что такое время гашения извести?
5. Влияют ли недожжённые зёрна на качество изделий на основе извести?

РАЗДЕЛ 5. ФИЗИКО-ХИМИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА ЖИДКОГО СТЕКЛА

Теоретические сведения

Жидкое стекло – это водный щелочной раствор силикатов натрия $\text{Na}_2\text{O}(\text{SiO}_2)_n$ и (или) калия $\text{K}_2\text{O}(\text{SiO}_2)_n$.

n – силикатный модуль, его значение характеризует качество стекла и равно числу молей SiO_2 , приходящихся на один моль оксида натрия. Чем выше силикатный модуль, тем выше качество стекла. В практически важных случаях он обычно составляет 2,5–3,5 (в среднем 3,0). Растворимое стекло изготавливают либо в виде прозрачных стеклообразных кусков (силикат-глыба) в безводном состоянии, либо в гидратированном состоянии в виде водного раствора (жидкое стекло). Состояние зависит от способа производства.

Изготавливается путем обработки в автоклаве кремнезёмсодержащего сырья концентрированными растворами гидроксида натрия или сплавлением кварцевого песка с кальцинированной содой. Тщательно перемешанную сырьевую смесь расплавляют в стекловаренных печах при температуре 1300–1400 °С, а затем стекломассу выгружают в вагонетки. Варка продолжается 7–10 часов. Примеси, особенно Al_2O_3 , Fe_2O_3 , резко снижают растворимость натриевого стекла в воде, поэтому содержание их в кварцевом песке строго ограничивается. При быстром охлаждении она твердеет и раскалывается на куски, именуемые силикат-глыбой. Лучше всего растворять силикат-глыбу в автоклавах при давлении 0,6–0,7 МПа и температуре 150 °С, превращая ее в сиропообразную жидкость. Жидкое (растворимое) стекло применяют для производства кислотоупорных цементов, жароупорных бетонов, силикатных красок и обмазок, для пропитки (силикатизации) грунтовых оснований.

Жидкое стекло относят к воздушным вяжущим веществам.

Натриевое жидкое стекло – водный щелочной раствор силикатов $\text{Na}_2\text{O}(\text{SiO}_2)_n$, в которых анионная часть представлена в виде поликремниевых кислот различной полимерности. Жидкие стекла с $n > 2$ в растворе не существуют и являются типично коллоидными системами, содержащими, кроме силиката натрия, коллоидный кремнезём. Для жидких стекол с $n \approx 3$ пороговое значение концентрации составляет порядка 40–45 мас. % (10 мас. % Na_2O). При дальнейшем повышении концентрации силикатные растворы последовательно проходят состояния малоподвижных жидкостей, желеобразных масс и хрупкого стекловидного тела, при любом содержании воды сохраняя однородность (соответственно, с увеличением в системе воды эти состояния будут

чередоваться в обратном порядке). Главная роль в силикатах принадлежит химической связи Si–O. Валентные углы O–Si–O, то есть углы внутри тетраэдра, определяются тетраэдрической пространственной конфигурацией центрального атома и равны 109° . Валентный угол O–Si–O, то есть угол между двумя тетраэдрами изменяется в широких пределах от 120 до 180° , что обусловлено действием сил отталкивания несвязывающих пар электронов и различными типами гибридизации орбиталей кислорода. Во всех изученных силикатах каждый ион кремния всегда находится в окружении четырех ионов кислорода, располагающихся в углах по тетраэдру вокруг него (рис. 5.1).

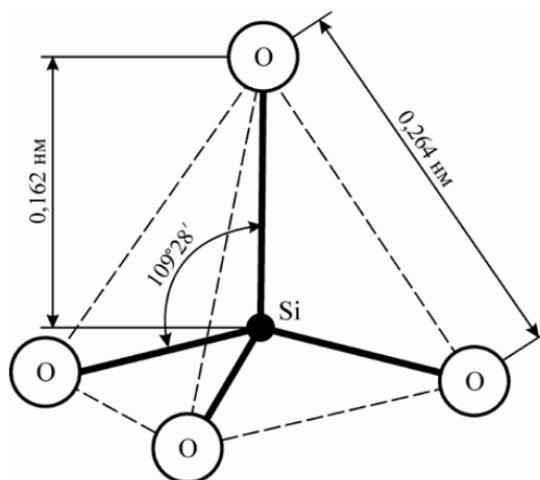


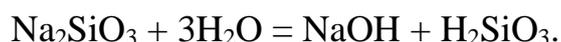
Рис. 5.1. Кремнекислородный тетраэдр

Связь ионов кислорода с кремнием гораздо сильнее, нежели с натрием, играющих роль катиона в кристаллических структурах силиката. Таким образом, кремнекислородный тетраэдр, т. е. группа $[\text{SiO}_4]^{4-}$, является минимальной структурной единицей всех силикатов. Кремнекислородные тетраэдры в кристаллических структурах силикатов могут либо находиться в виде изолированных друг от друга структурных единиц $[\text{SiO}_4]$, либо сочленяться друг с другом разными способами, образуя сложные комплексные анионные радикалы. При этом сочленение совершается только через вершины тетраэдров с образованием общих анионов, но не через ребра или грани. Наиболее полный случай таких сочленений, когда все четыре вершины каждого тетраэдра одновременно являются общими и для окружающих четырех тетраэдров $[\text{SiO}_4]$, имеет место для кристаллических структур минералов группы кварца с общей формулой SiO_2 . Следовательно, отношение O : Si в комплексных анионных радикалах силикатов может колебаться в пределах от 4:1 до 2:1. Характерной особенностью растворимого стекла является способность растворяться в воде, откуда

и происходит название. Растворимость увеличивается с уменьшением модуля стекла (уменьшением содержания SiO_2), а также с увеличением температуры. Растворимость в воде обусловлена наличием связей Si-O-Na , которые способны диссоциировать и гидролизироваться.

Свойства силикатных растворов – их высокая вязкость, возрастающая экспоненциально с увеличением концентрации, устойчивость в отношении кристаллизации, образование стекловидных пленок, проявление вяжущих свойств – так или иначе, указывают на их полимерное строение. Проявление растворами силикатов щелочных металлов вяжущих свойств обусловлено их полимерной природой, способностью при высыхании (обезвоживании) образовывать жесткий полимерный каркас, скрепляющий частицы веществ, наполняющих систему (наполнителей и заполнителей). В результате этих процессов формируется прочный силикатный камень.

Жидкое стекло представляет собой коллоидный водный раствор силиката натрия или калия. Силикаты натрия и калия в воде подвергаются гидролизу по реакции:



Выделяющийся гель кремниевой кислоты H_2SiO_3 обладает вяжущими свойствами.

Жидкое стекло классифицируется:

- по виду щелочного катиона (натриевые, калиевые, литиевые, четвертичного аммония);
- по содержанию примесных оксидов Al_2O_3 , Fe_2O_3 , CaO , MgO , SO_3 и др.;
- по плотности растворов жидкого стекла (г/см^3);
- по силикатному модулю.

Силикатный модуль – характеристика силикатов натрия и калия, выражается отношением грамм-молекул SiO_2 к числу грамм-молекул Na_2O (K_2O) с учетом поправочных коэффициентов – отношение молекулярной массы Na_2O (K_2O) к молекулярной массе SiO_2 . Силикатный модуль также характеризует выход кремнезема в раствор.

У натриевого стекла силикатный модуль колеблется от 2,61–3,50, для калиевого этот диапазон 2,8–4,0. Чем выше модуль, тем выше качество жидкого стекла.

Метод определения модуля жидкого стекла основан на последовательном титровании раствором соляной кислоты жидкого натриевого стекла и раствором гидроксида натрия до получения бесцветного раствора. В процессе

титрования используется кислотно-основной индикатор. Данный индикатор получают смешиванием равных объемов 0,2%-ного спиртового раствора метилового красного и 0,1%-ного спиртового раствора метиленового голубого, приготовленного при слабом нагревании. Также в промежуточной стадии используется раствор фтористого натрия (6 г) и хлористого калия (10 г) в 100 см³ дистиллированной воды. После суточного отстаивания раствор фильтруют. Натриевое жидкое стекло Na₂SiO₃ применяют для изготовления жароупорных и кислотоупорных бетонов, для уплотнения грунтов.

Лабораторная работа № 5.1.

ОПРЕДЕЛЕНИЕ СИЛИКАТНОГО МОДУЛЯ ЖИДКОГО СТЕКЛА

Цель работы: определить силикатный модуль калиевого жидкого стекла, оценить возможности его применения.

Задачи:

1. Определить силикатный модуль жидкого стекла ускоренным методом.
2. Определить силикатный модуль жидкого стекла через соотношение оксидов калия и кремния.

Приборы и материалы

1. Весы лабораторные по ГОСТ 24104–88.
2. Колбы конические вместимостью 250 и 2000 см³.
3. Цилиндр мерный вместимостью 100 см³.
4. Воронка стеклянная.
5. Бюретка вместимостью 10 см³.
6. Пипетка вместимостью 2 см³.
7. Бумага фильтровальная лабораторная по ГОСТ 12026–76.
8. Кислота соляная по ГОСТ 3118–77, раствор 0,5 моль/дм³.
9. Натрия гидроксид по ГОСТ 4328–77, раствор 0,5 моль/дм³.
10. Натрий фтористый по ГОСТ 4463–76, ч. д. а.
11. Калий хлористый по ГОСТ 4234–77, ч. д. а.
12. Вода дистиллированная по ГОСТ 6709–72.
13. Стекло часовое одиночное.
14. Кислота соляная по ГОСТ 3118–77, раствор 0,1Н.
15. Кислота соляная по ГОСТ 3118–77, раствор 1Н.
16. Натрий фтористый по ГОСТ 4463–76, ч. д. а.
17. Бромкрезоловый пурпуровый, 0,2%-ный спиртовой раствор.

Методика выполнения работы

I. Определение силикатного модуля жидкого стекла ускоренным методом.

1. В коническую колбу вместимостью 250 см³ ввести пипеткой от 5 до 7 капель исследуемого раствора жидкого стекла и добавить из мерного цилиндра 70–80 см³ дистиллированной воды и 5–7 капель раствора смешанного кислотного-основного индикатора. *Данный индикатор получают смешиванием равных объемов 0,2%-ного спиртового раствора метилового красного и 0,1%-ного спиртового раствора метиленового голубого, приготовленного при слабом нагревании.*

2. Исследуемый раствор оттитровать раствором соляной кислоты 0,5 моль/дм³ с применением бюретки с ценой деления 0,01 см³ вместимостью 2 и 5 см³ до изменения зеленовато-голубой окраски в фиолетовую (V).

3. Добавить из мерного цилиндра 50 см³ раствора смеси фтористого натрия и хлористого калия. *Для приготовления раствора взять 60 г фтористого натрия и 100 г хлористого калия, взвесить с погрешностью не более 0,5 г, перенести в коническую колбу вместимостью 2000 см³ и добавить из мерного цилиндра 1000 см³ дистиллированной воды. После суточного отстаивания раствор отфильтровать.*

4. Добавить из бюретки с ценой деления 0,1 см³ вместимостью 25 см³ раствор соляной кислоты 0,5 моль/дм³ до изменения зеленовато-голубой окраски в устойчивую фиолетовую (V_1).

5. Избыток кислоты оттитровать 0,5 моль/дм³ раствором гидроокиси натрия до перехода фиолетового цвета в зеленовато-голубой (V_2).

6. Силикатный модуль (M) вычислить по формуле:

$$M = \frac{V_1 - V_2}{2V},$$

где V – объем раствора соляной кислоты, использованный при титровании, см³; V_1 – объем добавленного раствора соляной кислоты, см³; V_2 – объем раствора гидроокиси натрия, использованный при титровании, см³.

7. Результаты занести в табл. 5.1.

8. Записать выводы по работе.

II. Определение силикатного модуля жидкого стекла через соотношение оксидов калия и кремния.

1. 1–2 г раствора жидкого калийного стекла взвесить на часовом стекле и перенести горячей водой в колбу емкостью 250 мл для титрования. Воды

в колбе должно быть не менее 100 мл. Раствор тщательно взболтать. Титрование начинать после остывания колбы с раствором. Оттитровать содержимое 0,1Н раствором соляной кислоты.

Таблица 5.1

Химический состав сырьевых материалов

Номер опыта	V , см ³	V_1 , см ³	V_2 , см ³	Силикатный модуль $M_{K_2O \cdot SiO_2}$
№ 1				
.....				

2. В исследуемый раствор прибавить две капли раствора бромкрезолового пурпурового и титровать раствором соляной кислоты 0,1Н с применением бюретки с ценой деления 0,01 см³ вместимостью 2 и 5 см³ до желтой окраски (V).

3. Количество окиси калия (K_2O) в процентах определить по формуле:

$$K_2O = \frac{V \cdot 0,0047}{b} \cdot 100,$$

где V – количество 0,1Н раствора соляной кислоты, пошедшее на титрование, в мл; 0,0047 – постоянный фактор пересчета количества 0,1Н раствора соляной кислоты в окись калия в мл; b – исходная навеска жидкого калийного стекла, г.

4. В колбу с раствором жидкого стекла после определения щелочности добавить 3–4 г кристаллического фтористого натрия, две капли раствора бромкрезолового пурпурового, взболтать и оттитровать 1Н раствором соляной кислоты до получения винно-красного цвета (V_1).

5. Для фтористого натрия также определить примесь двуокиси кремния. Для этого в колбу долить 10 мл дистиллированной воды и произвести титрование по описанной выше методике (V_2).

6. Количество двуокиси кремния (SiO_2) в процентах определить по формуле:

$$SiO_2 = \frac{(V_1 - V_2) \cdot 0,015}{b} \cdot 100,$$

где V_1 – количество 1Н раствора соляной кислоты, пошедшее на титрование пробы, в мл; V_2 – количество 1Н раствора соляной кислоты, пошедшее на титрование примеси двуокиси кремния во фтористом натрии, в мл; 0,015 – количество двуокиси кремния, соответствующее 1 мл 1Н раствора соляной кислоты, в г; b – навеска пробы в г.

6. Силикатный модуль (M) вычислить по формуле:

$$M = \frac{S}{K} A,$$

где S – содержание двуоксида кремния, полученное при испытаниях по п. 6, в %; K – содержание окиси калия, полученное при испытаниях по п. 3, в %; A – отношение молекулярной массы окиси калия к молекулярной массе двуоксида кремния, равное 1,5684.

7. Результаты занести в табл. 5.2.

8. Выводы по работе.

Таблица 5.2

Химический состав сырьевых материалов

Номер опыта	V , см ³	V_1 , см ³	V_2 , см ³	$S_{\text{мас}}$, %	$K_{\text{мас}}$, %	$M_{\text{K}_2\text{O}\cdot\text{SiO}_2}$
№ 1						
.....						

Лабораторная работа № 5.2. ВЯЖУЩИЕ СВОЙСТВА ЖИДКОГО СТЕКЛА

Цель работы: оценить вяжущие свойства жидкого стекла.

Задачи:

1. Приготовить раствор на основе жидкого стекла.
2. Оценить pH раствора.
3. Оценить адгезионные свойства жидкого стекла.

Приборы и материалы

1. Асбест ($3\text{MgO}\cdot 2\text{SiO}_2\cdot 2\text{H}_2\text{O}$ кристаллический).
2. Тальк ($3\text{MgO}\cdot 4\text{SiO}_2\cdot \text{H}_2\text{O}$ кристаллический).
3. Раствор силиката натрия Na_2SiO_3 насыщенный (жидкое стекло).

Методика выполнения работы

1. Небольшое количество измельченного асбеста $3\text{MgO}\cdot 2\text{SiO}_2\cdot 2\text{H}_2\text{O}$ смешать в фарфоровой чашке с 1/8 объема талька $3\text{MgO}\cdot 4\text{SiO}_2\cdot \text{H}_2\text{O}$.
2. К этой смеси добавить насыщенный раствор жидкого стекла Na_2SiO_3 до получения густого теста.

3. Полученной массой намазать кусок стекла, положить на него такой же второй кусок стекла, дать массе затвердеть.
4. Проверить прочность склейки через 20–30 минут.
5. Написать реакцию получения вяжущей составляющей жидкого стекла.
6. Оценить щелочную реакцию раствора жидкого стекла с помощью индикаторной бумаги.

Лабораторная работа № 5.3.

ОГНЕСТОЙКОСТЬ ТКАНЕЙ, ПРОПИТАННЫХ ЖИДКИМ СТЕКЛОМ

Цель работы: оценить огнезащитные свойства жидкого стекла.

Задачи:

1. Испытать жидкое стекло на огнестойкость.
2. Определить химический механизм повышения огнестойкости материалов, обработанных жидким стеклом.

Приборы и материалы

1. Раствор силиката натрия Na_2SiO_3 насыщенный (жидкое стекло).
2. Кусочек ткани или фильтровальной бумаги.

Методика выполнения работы

1. Кусочек ткани или фильтровальной бумаги пропитать насыщенным раствором жидкого стекла Na_2SiO_3 . Для этого материал поместить в раствор Na_2SiO_3 на 10–15 минут.
2. Подсушить над пламенем спиртовки, зажав материал пинцетом.
3. Для испытания огнестойкости нужно внести этот подготовленный образец в само пламя.
4. Для сравнения внести в пламя кусочек этого же материала без пропитки. Отметить огнезащитные свойства жидкого стекла.

Контрольные вопросы

1. Что представляет собой жидкое стекло?
2. С какой целью жидкое стекло добавляется при производстве строительных материалов?

3. Какая реакция описывает гидролиз жидкого стекла и благодаря чему жидкое стекло обладает вяжущими свойствами?
4. На что влияет силикатный модуль жидкого стекла?
5. В чем заключается химический механизм повышения огнестойкости тканей при пропитывании жидким стеклом?
6. Подумайте, почему для силикатных красок применяются высокомодульные жидкие стекла.

РАЗДЕЛ 6. КОРРОЗИЯ СТРОИТЕЛЬНЫХ МАТЕРИАЛОВ

Теоретические сведения

При правильном изготовлении и эксплуатации бетон является долговечным материалом, сохраняющим свои свойства в течение многих десятилетий. Однако под действием различных факторов может происходить его коррозионное разрушение. Характер возможных коррозионных воздействий на бетон необходимо учитывать при строительстве и эксплуатации зданий и сооружений.

Коррозия бетона, как правило, связана с разрушением цементного камня, так как крупный и мелкий заполнители имеют более высокую коррозионную стойкость.

Коррозия бетона вызывается действием различных физических, химических, биологических факторов. К числу физических факторов относятся вибрация, истирание, удары волн, периодически повторяющиеся изменения температуры (ее сезонные и дневные колебания) и т. д.

Цементный камень как бетонных, так и иных строительных сооружений не остается неизменным по отношению к окружающей среде – он постепенно в течение определенного периода времени подвергается воздействию и разрушается быстрее, чем природные породы. Именно этот процесс разрушения строительных материалов принято называть коррозией строительных конструкций.

Цементный камень подвержен воздействию химической агрессии и физическому разрушению при взаимодействии его компонентов с различными факторами окружающей среды.

В. М. Москвин предложил разделять коррозионные процессы, происходящие в бетоне под действием водной среды, на три вида:

I – коррозия вследствие растворения с последующей фильтрацией сквозь толщу бетона компонентов цементного камня (так называемое выщелачивание) под действием вод с малой временной жесткостью;

II – коррозия под действием вод, содержащих вещества, вступающие в реакцию обмена с компонентами цементного камня с образованием или легкорастворимых, вымываемых водой соединений, или малорастворимых аморфных масс, не обладающих вяжущими свойствами продуктов, которые ослабляют структуру цементного камня;

III – коррозия, при которой в порах и капиллярах цементного камня за счет обменных реакций накапливаются и кристаллизуются вещества, вызывающие внутренние напряжения и разрушения.

Коррозия 1 вида в первую очередь обусловлена растворением и последующим выносом из цементного камня различных соединений. Такой вид коррозии наблюдается при эксплуатации бетона в условиях фильтрации воды под давлением или прямого контакта с водой. Это явление обусловлено некоторой растворимостью основных компонентов цементного камня – гидросиликатов, гидроалюминатов, гидросульфалюминатов и, прежде всего, гидроксида кальция. Присутствие солей в воде влияет на растворимость гидроксида кальция. Ионы Ca^{2+} , OH^- снижают растворимость, а SO_4^{2-} , Cl^- , Na^+ , K^+ повышают ее. В результате растворения и выноса $\text{Ca}(\text{OH})_2$ фильтрационными водами его содержание в бетоне понижается, что нарушает равновесие в системе и приводит к потере устойчивости основных структурообразующих компонентов цементного камня. По мере снижения концентрации $\text{Ca}(\text{OH})_2$ в растворе происходит разложение гидратов цементного камня, устойчивых в растворах гидроксида кальция известной концентрации. Разложение гидросиликатов цементного камня приводит сначала к потере прочности, а затем к полному разрушению цементного камня. Аналогично поведение и гидроалюминатов.

Так, пресная вода, проникая в бетон по трещинам, капиллярам, растворяет гидроксид кальция и выносит его из бетона. Поскольку при этом нарушается химическое равновесие между поровой жидкостью и составляющими цементного камня, последние подвергаются ступенчатому гидролизу, что ведет к ослаблению структуры и разрушению бетона. Для уменьшения разрушающего действия выщелачивающей коррозии необходимо получать бетон с возможно более плотной структурой, а также связывать $\text{Ca}(\text{OH})_2$ в нем, вводя в цемент добавки, содержащие активный кремнезем SiO_2 .

Коррозия 2 вида связана с протеканием обменных реакций между составными частями цементного камня (главным образом гидроксида кальция) с солями и кислотами. Чем энергичнее протекает реакция и чем более растворимы новообразования, тем быстрее разрушается бетон.

Большинство природных вод содержат в большем или меньшем количестве углекислоту. В результате взаимодействия растворенного в воде углекислого газа с гидроксидом кальция цементного камня образуется карбонат кальция, который вначале кольматирует поры, а затем, при дальнейшем взаимодействии с растворенным CO_2 , образует гидрокарбонат кальция, который является легкорастворимым и вымывается из цементного камня.

Коррозия 3 вида характерна для бетонов, работающих в условиях морских или минерализованных вод, характеризующихся наличием сульфатных ионов.

Воздействие сульфатов на цементный камень вызывает химические реакции, результатом которых является образование и рост кристаллов. Этот рост сопровождается возникновением внутренних напряжений, что приводит к деформациям, трещинообразованию, потере прочности и, в конечном счете, разрушению бетона. До недавнего времени считалось, что причиной этой коррозии является образование и рост кристаллов этtringита.

В ходе исследования коррозионной стойкости цементного камня используют метод титрования, основанный на законе эквивалентов. Когда раствор известной концентрации добавляется другому раствору до завершения химической реакции между растворенными в них веществами, такая операция называется титрованием. Момент титрования, в который достигается стехиометрическая эквивалентность соединяемых количеств веществ, называется точкой эквивалентности титрования. Для ее установления при проведении кислотно-основного титрования используют органические красители – кислотно-основные индикаторы. Например, фенолфталеин бесцветен в кислом растворе, но принимает малиновую окраску в основном.

С позиций термодинамики все коррозионные процессы протекают в направлении образования веществ, более стойких (имеющих более отрицательное значение энтальпии образования) в данных условиях по сравнению с исходными. Таким образом, долговечность строительных материалов определяется их свойствами и агрессивностью окружающей среды.

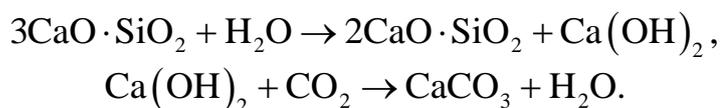
Для оценки возможности протекания реакции коррозии необходимо:

- знать составные части корродируемого материала (бетона) и химический состав окружающей среды;
- написать уравнения всех предполагаемых и протекающих реакций в изучаемой термодинамической системе;
- осуществить собственно термодинамический анализ – по возможности рассчитать изменение энергии Гиббса и констант равновесия.

Если константа какого-либо равновесия мала, то есть реакция не осуществляется до конца, то этот процесс можно не принимать во внимание.

Наиболее часто процесс разрушения строительных материалов и конструкций происходит под действием воды, которая проникает в тело бетона различным образом, и, двигаясь в его порах, растворяет и гидролизует кальцийсодержащие минералы с вымыванием гидрата окиси кальция, как это показано на примере процесса гидролиза трехкальциевого силиката – алита. На открытых поверхностях вода испаряется, а гидроксид кальция подвергается

действию углекислого газа и приводит к образованию труднорастворимого углекислого кальция по реакциям:



Для защиты бетона от коррозии используется ряд методов с учетом особенностей агрессивной среды:

- 1) выбор состава цемента;
- 2) получение бетона с высокой плотностью;
- 3) гидроизоляция бетона нанесением защитных покрытий.

Выбор состава цемента определяется характером агрессивной среды. Для повышения стойкости в сульфатных растворах нужно уменьшить содержание C_3A и повысить количество C_4AF при постоянном содержании C_3S и C_2S .

При действии на бетон мягкой воды из-за опасности выщелачивания необходимо связывать свободный $\text{Ca}(\text{OH})_2$. Для этого в цемент вводят 30–50 % мас. добавок, содержащих активный кремнезем SiO_2 (трепел, диатомит и т. п.). В этом случае $\text{Ca}(\text{OH})_2$ связывается в труднорастворимые гидросиликаты кальция, и коррозионная стойкость бетона повышается. Аналогичным образом влияют добавки доменных гранулированных шлаков. Высокой стойкостью против сульфатной, выщелачивающей, кислотной коррозии обладает глиноземистый цемент.

При повышении плотности бетона затрудняется проникновение в него агрессивных жидкостей, газов и их разрушающее действие. Высокая плотность и водонепроницаемость цементного камня обеспечивается при увеличении дисперсности цемента, введении в бетон добавок поверхностно-активных веществ.

В тех случаях, когда выбор состава цемента и повышение плотности бетона не могут обеспечить его надежную защиту от действия агрессивных сред, используют гидроизоляцию, обеспечиваемую нанесением защитных покрытий и облицовки. Это достаточно дорогой и трудоемкий метод защиты бетона от коррозии.

Для повышения водонепроницаемости бетона применяют специальные расширяющиеся цементы и полимерные добавки. В качестве полимерных добавок в бетон используют дивинилстирольный латекс, фуриловый спирт, водорастворимые алифатические смолы.

Лабораторная работа № 6.1.

ДЕЙСТВИЕ РАСТВОРОВ КИСЛОТ НА ЦЕМЕНТНЫЙ КАМЕНЬ

Цель работы: определить степень разрушения цементного камня при взаимодействии с различными растворами кислот. Выявить причины разрушения.

Приборы и материалы

1. Растворы кислот: 10 % HCl, 10 % H₂SO₄, 10 % HNO₃, 10 % H₃PO₄.
2. Раствор NaOH (0,1 Н).
3. Стакан на 200 мл (2 шт.).
4. Штатив.
5. Бюретка на 25 мл.
6. Пипетка на 5 мл.
7. Фенолфталеин (1%-ный спиртовой раствор).

Методика выполнения работы

1. Образцы из цементного раствора (любой состав) объемом 27 см³ поместить в стакан емкостью 200 мл, залить 150 мл раствора кислоты.

2. В течение 3 суток с интервалом в 1 сутки титровать 0,1Н раствором NaOH в присутствии индикатора фенолфталеина до появления розовой окраски раствора. На каждое титрование берется 5 мл раствора кислоты. Первый раз титровать исходный раствор кислоты.

3. Концентрация кислоты определяется по формуле:

$$a = \frac{\Delta V \cdot 0,0028 [250 - (n - 1)]}{F},$$

где a – количество CaO, перешедшее в раствор, г/м²; V – объем 0,1Н раствора NaOH, затраченного на титрование раствора, мл; 0,0028 – количество CaO, эквивалентное 1 мл 0,1Н раствора NaOH; n – продолжительность выщелачивания, сутки; F – площадь поверхности образца, м².

4. Результаты измерений внести в табл. 6.1.

Таблица 6.1

Результаты измерений

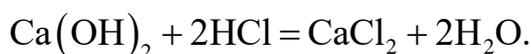
№ образца	V, мл, 0,1Н раствора NaOH, затраченного на титрование	Продолжительность выщелачивания n , сут	a, г/м ²
1			
.....			

5. Провести графическую обработку экспериментальных данных путем построения зависимости $a = f(n)$. Сделать выводы по работе, оценить стойкость цементного камня к действию различных кислот.

Лабораторная работа № 6.2.

ИССЛЕДОВАНИЕ КИНЕТИКИ ВЫЩЕЛАЧИВАНИЯ И КАРБОНИЗАЦИИ БЕТОНА

Цель работы: наблюдение в лабораторных условиях за коррозией цементного камня II вида, которая вызывается действием на цементный камень неорганических кислот:



В результате этой химической реакции образуется легко растворимый продукт – хлористый кальций, который впоследствии вымывается водой.

Приборы и материалы

1. Раствор HCl (1 %).
2. Раствор KOH (0,1N).
3. Стакан на 200 мл (2 шт.).
4. Штатив.
5. Бюретка на 25 мл.
6. Пипетка на 5 мл.
7. Фенолфталеин (1%-ный спиртовой раствор).

Методика выполнения работы

1. Образцы из цементного раствора (любой состав) объемом 27 см³ помещают в стакан емкостью 200 мл, заливают 150 мл раствора HCl (1 %). В течение 3 суток с интервалом в 1 сутки титруют 0,1 N раствором KOH в присутствии фенолфталеина. На каждое титрование берется 5 мл HCl, первый раз титруют исходный раствор соляной кислоты.

В ходе исследования используют метод титрования, описанный в лабораторной работе № 1.

2. По изменению концентрации соляной кислоты определяют количество извести, перешедшей из цементного камня в раствор, которое рассчитывают по формуле:

$$a = \frac{\Delta V \cdot 0,0028 [250 - (n - 1)]}{F},$$

a – количество СаО, перешедшее в раствор, г/м²; V – объем 0,1Н раствора КОН, затраченного на титрование раствора, мл; 0,0028 – количество СаО, эквивалентное 1 мл 0,1Н раствора КОН; n – продолжительность выщелачивания, сутки; F – площадь поверхности образца, м².

3. Результаты измерений вносят в табл. 6.2.

Таблица 6.2

Результаты измерений

№ образца	V , мл, 0,1Н раствора КОН, затраченного на титрование	Продолжительность выщелачивания n , сут	a , г/м ²
1			
.....			

4. Проводится графическая обработка экспериментальных данных путем построения зависимости $a = f(n)$. Делаются выводы по работе с оценкой кинетики разрушения цементного камня во времени.

Контрольные вопросы

1. На какие виды классифицируется коррозионные процессы в бетоне согласно теории В. М. Москвина?
2. Чем опасно постоянное пребывание бетона в воде?
3. Чем обусловлено негативное воздействие сульфатов на цементный камень?
4. Что называется титрованием?
5. С какой целью применяется спиртовой раствор фенолфталеина при титровании?

РАЗДЕЛ 7. ФИЗИКО-ХИМИЧЕСКИЕ ПРОЦЕССЫ ПРИ ПОЛУЧЕНИИ ЯЧЕИСТЫХ БЕТОНОВ

Теоретические сведения

Классификация ячеистых бетонов. Ячеистые бетоны по структуре, свойствам и способам получения превосходят традиционные материалы аналогичного назначения.

Ценными свойствами этих материалов являются: низкая средняя плотность (400–700 кг/м³, что почти вдвое меньше массы керамзитобетонных изделий и в три-четыре раза меньше массы кирпичных стен); низкая теплопроводность (0,15–0,25 Вт/(м·°С), по сравнению с 0,4–0,5 Вт/(м·°С) для керамзитобетонных изделий и 0,7–1 Вт/(м·°С) для кирпича); относительно высокая прочность (до 4 МПа); высокая морозостойкость, достигающая 50–100 циклов.

Ячеистые бетоны классифицируют по следующим признакам: функциональному назначению, способу порообразования, виду вяжущего, виду кремнеземистого компонента и способу твердения.

Классификация ячеистых бетонов в зависимости от средней плотности и назначения приведена в табл. 7.1.

Таблица 7.1

Классификация ячеистых бетонов

Вид бетона	Средняя плотность, кг/м ³	Прочность при сжатии, МПа
Теплоизоляционный	300–500	0,4–1,2
Теплоизоляционно-конструкционный	500–800	1,2–2,5
Конструкционный	800–1200	2,5–15,0

По условиям твердения бетоны классифицируют:

– на автоклавные (синтезного твердения), твердеющие в среде насыщенного пара при давлении выше атмосферного;

– неавтоклавные (гидратационного твердения), твердеющие в естественных условиях, при электропрогреве или в среде насыщенного пара при атмосферном давлении.

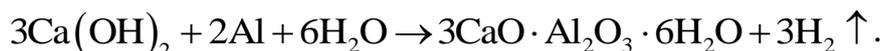
По способу порообразования различают:

– химический (газобетоны, газосиликаты, газошлакобетоны, газозолобетоны и др.);

– механический (пенобетоны, пеносиликаты, шлакощелочные пенобетоны, пенозолобетоны и др.);

- механохимический (пеногазобетоны);
- физический.

Химический способ основан на газообразовании за счет химических реакций между исходными компонентами при совмещении реакции газовой выделенной с требуемой пластической вязкостью смеси и последующим ее твердением. Реакция между газообразователем (алюминиевой пудрой) и гидроксидом кальция при получении газобетона протекает по формуле:



Образующийся водород обеспечивает поризацию (вспучивание) смеси. При таком способе поризации получают изделия из газобетона, газогипса, газокерамики.

Механический способ основан на введении в формовочную массу специально приготовленной технической устойчивой пены, совместном их перемешивании и последующем затвердевании поризованной смеси. По такой схеме получают пенобетон, пеногипс, пенокерамику.

Вяжущие вещества выбирают в зависимости от условий твердения и проектной прочности изделий из ячеистого бетона.

Для материалов неавтоклавного твердения в основном применяют портландцемент класса не ниже ЦЕМ II/32,5Н. Рекомендуется использовать алитовый портландцемент, содержащий в составе не менее 50 % трехкальциевого силиката ($3\text{CaO} \cdot \text{SiO}_2$). Для обеспечения более быстрого набора структурной прочности поризованной ячеистобетонной массы используют *вяжущее низкой водопотребности* (ВНВ).

Для автоклавных силикатных изделий в качестве основного вяжущего применяется строительная *известь* воздушного твердения, отвечающая требованиям ГОСТ 9179–77. Влажность гидратной извести не должна быть более 5 %. Рекомендуется использовать негашенную известь-кипелку не ниже 2-го сорта с содержанием активных CaO и MgO 80 %, непогасившихся частиц не более 11 % и с дисперсностью менее 0,2 мм. В этом случае при приготовлении растворной смеси для получения ячеистобетонной массы выделяется большое количество теплоты, что способствует процессу порообразования, предохранению оседания газонасыщенной массы до ее затвердевания и повышению прочности готовых изделий ячеистой структуры.

Смешанное вяжущее, такое как цементно-известковое на основе цемента и извести, должно удовлетворять вышеизложенным требованиям.

Высокоосновное зольное вяжущее от сжигания горючего сланца, каменного и бурого углей должно содержать СаО не менее 30 %, в том числе свободной СаО – 15–25 %, SiO₂ – 20–30 %, SO₃ – не более 6 % и суммарного количества K₂O + Na₂O – не более 3 %. Удельная поверхность должна быть равна 3000–3500 см²/г.

Сульфатное вяжущее – обычный строительный гипс по ГОСТ 125–79 с добавкой 5 % тонкомолотого кристаллического карбоната кальция, мрамора и т. п. (удельная поверхность 2000–3000 см²/г).

При производстве автоклавных ячеистых бетонов возможно использование известково-цементных или золоцементных вяжущих. Марка последних может быть невысокой, так как конечная прочность поробетона после автоклавной обработки на цементах различных марок практически одинакова.

Кремнеземистый компонент. В качестве кремнеземистого компонента используются: кварцевый песок, золы ТЭС, шлаки и др.

Основными показателями кремнеземистого компонента в составе смеси для производства ячеистых бетонов являются гранулометрический состав и содержание в нем нежелательных примесей (пылевидных и глинистых частиц). В *кварцевом песке* не допускается наличие зерен более 10 мм в количестве свыше 0,5 %, а более 5 мм – свыше 10 % по массе. Количество частиц менее 0,16 мм не должно превышать 10 и 15 % соответственно для крупных и мелких песков. Содержание пылевидных (менее 0,5 мм) и глинистых (менее 0,005 мм) частиц не должно превышать 3–5 %.

Применяемый в изготовлении изделий из ячеистого бетона кварцевый песок должен соответствовать ГОСТ 8736–93.

Зола-унос от сжигания бурых и каменных углей также может использоваться в качестве кремнеземсодержащего компонента, при этом она должна иметь не менее 45 % кремнезема, а величина потерь при прокаливании в золе бурых углей не должна превышать 5 %, каменных углей – 7 %.

Порообразователи. В технологии газобетонных изделий в качестве *газообразователей* главным образом используется алюминиевая пудра марок ПАП-1 и ПАП-2, отвечающая требованиям ГОСТ 5494–95. К пудре предъявляются требования по дисперсности, так как с дисперсностью связан процесс протекания газообразования в ячеистобетонной смеси, которая составляет 4600–6000 см²/г. Максимальное выделение водорода происходит при температуре смеси 30–40 °С. Для получения водной алюминиевой суспензии используется сульфанол (алкилбензосульфат), обладающий свойствами ПАВ, из расчета 25 г на 1 литр воды. Сульфанол должен удовлетворять требованиям ТУ 6–01–1001–77.

В качестве газообразователя также применяют пергидроль H_2O_2 газопасты ГБП и комплексный газообразователь, представляющий собой смесь алюминиевой пудры и дисперсного ферросилиция.

В настоящее время существует много разновидностей *пенообразователей* (табл. 7.2). К отечественным пенообразователям относят клееканифольный, алюмосульфонафтенный, смолосапониновый, ПО-1, БелПор-1Ом, Унипор, ПО-6, ПБ-2000, а к зарубежным – Неопор, Диет, Едама и др., удовлетворяющие требованиям ГОСТ 6948–81.

Таблица 7.2

Технические характеристики пенообразователей

Пенообразователь	Количество воды на 1 м ³ бетона, л	Расход пенообразователя, кг/м ³	Кратность	Устойчивость, мин	Синерезис, мин
Клееканифольный	25	3,6	32	10	23
Смолосапониновый	40	7,5	21	2	9
Алюмосульфо-нафтенный	40	9,0	20	2	6
ГК	35	2,0	25	5	17
Пеностром	25–30	1,2–1,5	35	12	28
Оксид амина	45–50	1,0–1,2	21	11	25
Пожарный (ПО-6, ПБ-2000)	25	1,4–1,5	37	4	11

Синерезис – это самопроизвольное уменьшение объема пены, сопровождающееся выделением значительного количества жидкой фазы.

Корректирующие добавки. В качестве добавок, *ускоряющих твердение* бетона, применяют сернокислый алюминий $Al_2(SO_4)_3$ и хлористый кальций $CaCl_2$ (ГОСТ 450–77).

В качестве добавок – *стабилизаторов структуры поризованной массы* используются гипсовый камень (ГОСТ 4013–82), жидкое стекло $R_2O \cdot nH_2O$ по ГОСТ 13078–81 и ГОСТ 18958–73.

Все изделия из ячеистых бетонов должны изготавливаться по одной технологии и в однотипных взаимозаменяемых формах, с использованием резательной системы, при которой газобетонный массив сырца объемом 5–15 м³ разрезается на изделия требуемых размеров.

Из автоклавного газобетона изготавливаются следующие изделия:

- мелкие стеновые блоки;
- неармированные крупные стеновые блоки;
- армированные крупные стеновые блоки;
- стеновые панели цельноформуемые;

- стеновые панели составные;
- объемные блоки;
- плиты перегородок;
- междуэтажные плиты перекрытий;
- плиты покрытий;
- плиты теплоизоляционные;
- перемычки;
- акустические плиты;
- декоративные плиты.

Лабораторная работа № 7.1. ПОЛУЧЕНИЕ ГАЗОБЕТОНА

Цель работы: выявить влияние расхода и вида газообразователя на основные свойства кремнеземвяжущей смеси.

Задачи:

1. Выбрать оптимальное соотношение кремнеземистого компонента к вяжущему и водотвердое отношение.
2. Рассчитать состав газобетона.
3. Изготовить образцы.
4. Определить высоту вспучивания газобетонной смеси.

Приборы и материалы

1. Вискозиметр Сутгарда.
2. Чаша и лопатка замеса.
3. Цилиндры стеклянные вместимостью 250 мл из прозрачного бесцветного стекла (внутренний диаметр 36–40 мм) по ГОСТ 1770–74.
4. Мерный стеклянный цилиндр вместимостью 1000 мл.
5. Весы по ГОСТ Р 53228–2008 или ГОСТ 24104–88.
6. Весы лабораторные электронные ВЛА.
7. Формы с размером ребра 100 мм.

Методика выполнения работы

По заданию преподавателя каждая бригада получает исходные данные:

1. R_b – требуемая марка газобетона, кг/см².
2. $\rho_{\text{ср}}$ – средняя плотность газобетона в сухом состоянии, кг/м³.

3. Характеристика сырья (вяжущее, кремнеземистый компонент).

4. Способ формования, условия твердения бетона.

1. Выбор оптимального соотношения кремнеземистого компонента к вяжущему и водотвердого отношения.

Значение отношения кремнеземистого компонента к вяжущему в смеси C принимается по табл. 7.3 или по табл. 5 (Приложение 3) в зависимости от вида вяжущего и способа твердения.

Таблица 7.3

Исходные значения $V_{уд}$ для расчета состава ячеистого бетона

Вид кремнеземистого компонента (плотность, г/см ³)	Вид вяжущего							
	Портланд-цемент		Смешанное вяжущее (цемент; известь или нефелиновый цемент)		Известь		Известково-шлаковый цемент	
	C	$V_{уд}$	C	$V_{уд}$	C	$V_{уд}$	C	$V_{уд}$
Песок ($\rho = 2,65$)	1	0,34	1,5	0,36	3	0,38	1	0,32
Зола ($\rho = 2,36$)	1	0,38	1,5	0,40	3	0,40	1	0,36
Легкая зола ($\rho = 2,0$)	1	0,44	1,5	0,48	3	0,48	1	0,42

Для получения оптимального отношения кремнеземистого компонента к вяжущему рекомендуется приготовить и испытать не менее трех составов бетона при различных C . По результатам испытания образцов, приготовленных из этих 3–5 составов, уточняется значение C , обеспечивающее заданную плотность бетона при наибольшей его прочности.

После принятия значений C определить водотвердое отношение (В/Т), обеспечивающее заданную текучесть растворной смеси, удовлетворяющую требованиям табл. 6 (Приложение 3) с учетом температуры смеси в момент выгрузки (табл. 7 Приложения 3).

В/Т ориентировочно может быть принято:

а) при литевой технологии 0,5 – на цементном вяжущем; 0,50–0,55 – на извести; 0,45–0,50 – на смешанном вяжущем; на песке – 0,5; на золе – 0,6;

б) при вибротехнологии В/Т принимается равным 0,3 и 0,4, если в качестве кремнеземистого компонента применяются соответственно песок и зола.

Для определения В/Т опытным путем необходимо брать навеску сухих компонентов 400 г, в том числе вяжущего – $400/(C + 1)$ г, кремнеземистого – $400C/(C + 1)$ г, после чего В/Т определяется с помощью вискозиметра Суттарда, стремясь получить текучесть смеси, установленную в табл. 6 (Приложение 3).

2. Расчет состава газобетона.

Пористость бетонной смеси, которая должна быть создана газообразователем для получения газобетона заданной $\rho_{\text{ср}}$ и В/Т, определяют по формуле:

$$\Pi = 1 - \rho_{\text{ср}} \frac{V_{\text{уд}} + \text{В/Т}}{K_c},$$

где $\rho_{\text{ср}}$ – плотность бетона в высушенном состоянии, кг/л; K_c – коэффициент увеличения массы в результате твердения за счет химически связанной воды (для расчета принимают $K_c = 1,1$); $V_{\text{уд}}$ – удельный объем сухой смеси (л/кг), определяется по табл. 7.1 или опытным путем и рассчитывается по формуле:

$$V_{\text{уд}} = \frac{1 + \text{В/Т}}{\rho_{\text{ф.р}}} - \text{В/Т},$$

где $\rho_{\text{ф.р}}$ – фактическая плотность раствора, кг/л.

Расход газообразователя на 1 м³ (1000 л) бетона рассчитывают по формуле:

$$P_{\text{го}} = \frac{\Pi V}{\alpha K},$$

где Π – пористость газобетона; V – заданный объем газобетона, л; α – коэффициент использования газообразователя (для расчета принимают $\alpha = 0,85$); K – коэффициент выхода пор (для расчета принимают при использовании алюминиевой пудры при температуре растворной смеси 40 °С, $K = 1390$ л/кг).

Расход сухих компонентов бетона определяют по формуле:

$$P_{\text{сух}} = \frac{\rho_{\text{ср}} V}{K_c},$$

где $P_{\text{сух}}$ – масса сухих компонентов на заданный объем газобетона, кг/л; $\rho_{\text{ср}}$ – заданная средняя плотность газобетона в сухом состоянии, кг/л.

Расход вяжущего вещества определяется по формуле:

$$P_{\text{вяж}} = \frac{P_{\text{сух}}}{1 + C}.$$

При использовании смешанного вяжущего расход цемента определяется по формуле:

$$P_{\text{ц}} = P_{\text{вяж}} n,$$

где $P_{\text{ц}}$ – масса цемента, кг; n – доля цемента в смешанном вяжущем.

Расход извести определяется по формулам:

$$P_{\text{и}} = P_{\text{вяж}} (n - 1), \quad P_{\text{иф}} = \frac{P_{\text{ц}}}{A_{\text{ф}}} 100,$$

где $P_{\text{и}}$ – масса извести, содержащей 100 % CaO, кг; $P_{\text{иф}}$ – масса извести с фактическим содержанием CaO, кг; $A_{\text{ф}}$ – фактическое содержание CaO в извести (70, 80, 90 % соответственно для 3, 2 и 1-го сортов извести).

Расход кремнеземистого компонента определяется по формуле:

$$P_{\text{к}} = P_{\text{сух}} - (P_{\text{ц}} + P_{\text{иф}}).$$

Расход воды определяется по формуле:

$$P_{\text{в}} = P_{\text{сух}} \cdot \frac{B}{T}.$$

Расход стабилизатора структурной прочности массы. Гипс или жидкое стекло принимается равным 3 % от вяжущего.

Масса замеса определяется по формуле:

$$M_{\text{з}} = VK_{\text{з}} \rho_{\text{р}},$$

где V – объем газобетонешалки, м³; $K_{\text{з}}$ – коэффициент заполнения газобетонешалки, равный 0,6–0,8; $\rho_{\text{р}}$ – средняя плотность раствора, равная 1,4 т/м³.

После расчета расхода материалов на 1 м³ газобетона рассчитывается дозировка компонентов на пробный замес. Объем замеса принимается в зависимости от размера образцов, которые предполагается формовать.

Расчет расхода материалов на пробный замес (кг) проводится по формулам:

$$P_{\text{го.з}} = \frac{P_{\text{го}}}{1000} V_{\text{з}},$$

$$P_{\text{вяж.з}} = \frac{P_{\text{вяж}}}{1000} V_{\text{з}},$$

$$P_{ц.з} = \frac{P_{ц}}{1000} V_з,$$

$$P_{и.з} = \frac{P_{и}}{1000} V_з,$$

$$P_{к.з} = \frac{P_{к}}{1000} V_з,$$

$$P_{в.з} = \frac{P_{в}}{1000} V_з,$$

где $P_{го.з}$, $P_{вяж.з}$, $P_{ц.з}$, $P_{и.з}$, $P_{к.з}$, $P_{в.з}$ – масса газообразователя, вяжущего, цемента, извести, кремнеземистого компонента и воды, кг; $P_{го}$, $P_{вяж}$, $P_{ц}$, $P_{и}$, $P_{к}$, $P_{в}$ – масса газообразователя, вяжущего, цемента, извести, кремнеземистого компонента и воды на 1 м³ газобетона, кг; $V_з$ – принятый объем пробного замеса, л.

Результаты расчета составов газобетона заносятся в табл. 7.4.

Таблица 7.4

Результаты расчета

№ бригады	С	Газообразователь		Расход материалов, кг										
		вид	расход, на 1 м ³ , Г	на 1 м ³ (1000 л)					на замес, л					
				P _{го}	P _ц	P _и	P _к	P _в	P _{го.з}	P _{ц.з}	P _{и.з}	P _{к.з}	P _{в.з}	
1			300											
2			500											
3			700											
4			900											

3. Приготовление образцов из газобетона.

3.1. Приготовление водно-алюминиевой суспензии. Для приготовления водно-алюминиевой суспензии смешать непрокаленную алюминиевую пудру марок ПАП-1 или ПАП-2 с водным раствором поверхностно-активного вещества.

Смешивание производят в следующем порядке: в сосуд засыпают необходимое для одного замеса количество пудры, затем засыпают поверхностно-активное вещество (сульфанол, канифольное мыло, стиральный порошок и т. д.) в количестве 5 % (из расчета на сухое вещество) от массы алюминиевой пудры и необходимое количество воды. Затем перемешивают в течение 2–3 мин, после чего водно-алюминиевая суспензия готова для смешивания ее с растворной частью.

3.2. Изготовление образцов из газобетона. В газобетономешалку заливается вода в количестве 70 % от расчетной, предварительно подогретая до 80 °С, и засыпается при перемешивании необходимое количество кремнеземистого компонента. По истечении минутного перемешивания к кремнеземистому раствору добавляют приготовленную заранее водно-алюминиевую суспензию с остатком подогретой воды и перемешивают еще 2 мин, затем добавляют необходимое количество вяжущего, после чего раствор перемешивают еще 1–2 мин.

Температура раствора должна быть в пределах 35–40 °С. Высоту заливки газобетонной смеси в формы ориентировочно осуществляют на 4/5 высоты или рассчитывают по формуле:

$$h = K_r h_0 \frac{\rho_c}{\rho_p},$$

где K_r – коэффициент, учитывающий высоту горбушки, принимается равным 1,1 при литевой технологии и 1,05 при вибрационной технологии формирования; h_0 – высота бортов формы; ρ_c , ρ_p – средняя плотность соответственно газобетона и растворной смеси.

После трех-четырёхчасовой выдержки срезаются «горбушки», и формы с газобетонной смесью подвергают тепловлажностной обработке в пропарочных камерах или в автоклавах либо выдерживают в нормально-влажностных условиях в течение 28 суток.

Пропаривание ведется по режиму:

подъем температуры до 80 °С 4 ч;
изотермический прогрев при 80 °С 6 ч;
спуск температуры до 20 °С 4 ч.

В автоклаве запарка проводится по режиму:

подъем давления до 0,8 МПа 3 ч;
выдержка при давлении 0,8 МПа 6 ч;
спуск давления до атмосферного 3 ч.

4. Определение высоты вспучивания газобетонной смеси.

После предварительной выдержки, необходимой для набора пластической прочности газобетонной смеси и срезки «горбушки», высоту вспучивания (%) определяют по следующей формуле:

$$H = \frac{h_r \cdot 100}{h_\phi} - 100,$$

где h_r – высота вспучивания газобетонной массы, см; h_ϕ – высота формы, см.

Лабораторная работа № 7.2. ОПРЕДЕЛЕНИЕ СВОЙСТВ ГАЗОБЕТОНА

Цель работы: выявить влияние расхода и вида газообразователя на основные свойства газобетона.

Задачи:

1. Определить прочность при сжатии газобетона.
2. Определить водопоглощение газобетона.
3. Определить водостойкость газобетона.

Приборы и материалы

1. Образцы газобетона.
2. Весы лабораторные электронные ВЛА.
3. Чаша с водой.
4. Штангенциркуль по ГОСТ 166–80.
5. Пресс.

Методика выполнения работы

1. Определить предел прочности при сжатии газобетона.

Определение физико-механических свойств ячеистых бетонов производится в соответствии с ГОСТ 10180–2012, ГОСТ 12730.1–2020 или ГОСТ 17623–87.

1.1. Образцы высушить до постоянной массы, охладить, подшлифовать опорные поверхности.

1.2. Испытать на сжатие на гидравлическом прессе. Испытание образцов на сжатие производят в положении, соответствующем работе изделия в конструкции. Сжимающая сила должна быть направлена перпендикулярно заливке бетонной смеси при горизонтальном формовании и параллельно или перпендикулярно – при вертикальной заливке, в зависимости от работы изделия в конструкции.

1.3. Предел прочности ячеистого бетона при сжатии (МПа) вычислить с точностью до 0,1 МПа по формуле:

$$R_{сж} = \frac{F}{S_{обр}} 0,098,$$

где F – разрушающая нагрузка, кг; $S_{обр}$ – площадь образца, см².

По результатам испытаний образцов из газобетона строятся зависимости водопоглощения от времени выдерживания образцов в воде, средней плотности и предела прочности при сжатии от вида или расхода газообразователя. Полученные данные заносятся в табл. 7.5.

В заключении делаются выводы о влиянии вида газообразователя или его расхода на основные свойства кремнеземвяжущей смеси и образцов из газобетона, дается их сравнительная оценка.

Контрольные вопросы

1. Какие преимущества и недостатки у ячеистых бетонов?
2. Какой химической реакцией описывается процесс газовыделения при производстве газобетона?
3. Какие кремнеземистые компоненты и химические добавки и с какой целью вводятся при производстве газобетона?
4. Что представляется собой и с какой целью применяется автоклавная обработка?
5. В чем заключается принцип химического способа порообразования?

РАЗДЕЛ 8. ОСНОВЫ ПОЛУЧЕНИЯ СИЛИКАТНЫХ ДИСПЕРСНЫХ СИСТЕМ

Теоретические сведения

Частицы вещества в поверхностных слоях отличаются по своему состоянию от частиц, находящихся внутри объема твердых или жидких фаз. Любое реальное тело имеет граничную поверхность. Сильнее всего различие в свойствах, вызванное расположением частиц на поверхности, проявляется, когда эта поверхность велика. Это наблюдается в случае тонкодисперсных порошков, пленок, нитей, капилляров. Вместе со средой, которая их окружает, они образуют дисперсную систему. Ее название образовано от лат. *dispersus* – рассеянный, рассыпанный. Понятие дисперсной системы распространяется и на истинные растворы. Такие растворы являются гомогенными системами. Частицы растворенного вещества (ионы, атомы, молекулы) имеют в них размеры менее 1 нм. Они распределены между частицами растворителя и не образуют самостоятельных фаз.

В отличие от истинных растворов, существует огромное количество гетерогенных дисперсных систем, состоящих из двух и более фаз. Размеры находящихся в них частиц превышает 1 нм и могут достигать 10–100 мкм.

Рассматриваемые дисперсные системы гетерогенны, они содержат по меньшей мере две фазы. Непрерывная фаза дисперсной системы называется дисперсионной средой. Распределенное в ней тонкоизмельченное вещество образует дисперсную фазу. Например, дым представляет собой твердые частицы, находящиеся в воздухе. В этой системе дисперсионной средой является воздух, а дисперсной фазой – твердое вещество.

Гетерогенность дисперсных систем (наличие в них нескольких фаз) неизбежно связана с существованием границы раздела между фазами и особыми свойствами вещества на этой границе. Это приводит к появлению качественно новых свойств дисперсных систем. Причем, чем больше поверхность раздела фаз, тем больше вклад поверхностных явлений в свойства системы. При тонком измельчении вещества этот вклад резко возрастает.

Дисперсные системы широко распространены в природе и в технике. Все реальные тела имеют граничные поверхности. Для многих из них характерно волокнистое, слоистое, поликристаллическое строение, иногда развитая пористость. В технологических процессах широко используются порошкообразные материалы, а также такие типичные дисперсные системы, как суспензии,

эмульсии, пены и т. д. К числу дисперсных систем рассматриваемого типа относятся строительные материалы, металлы, ткани, кожа, бумага, пищевые продукты. Дисперсные системы являются объектом осуществления целого ряда технологических процессов, например измельчения, брикетирования, спекания, гранулирования и других.

В случае если дисперсионная среда является жидкой или газообразной, частицы дисперсной фазы могут перемещаться свободно. Это свободнодисперсные системы с подвижной дисперсной фазой. Если же дисперсионная среда является твердой, то свободное перемещение частиц дисперсной фазы становится невозможным. Это связнодисперсные системы (рис. 8.1).

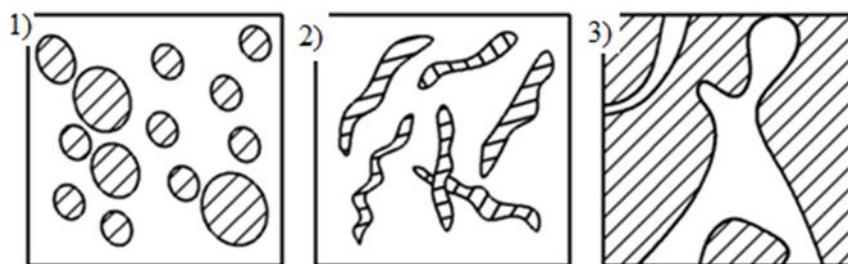


Рис. 8.1. Дисперсные системы:

1, 2 – свободнодисперсные; 3 – связнодисперсная

Твердое, жидкое и газообразное состояние веществ является наиболее распространенной формой существования материи в окружающей нас природе. Гетерогенные, смеси жидких, газообразных и тонкораздробленных твердых веществ образуют различные дисперсные системы, из которых наибольшее значение для силикатных технологий представляют системы, содержащие твердую фазу (Т + Г, Т + Ж, Т + Ж + Г).

Технологический процесс получения материалов на основе дисперсных систем складывается из четырех основных стадий:

- 1) приготовление исходной дисперсной системы;
- 2) придание этой системе необходимой формы;
- 3) перевод коагуляционной структуры изделий в конденсационную;
- 4) перевод конденсационной структуры изделий в структуру высшего порядка и прочности – кристаллизационную.

Независимо от вида или структуры дисперсной системы, вида и величины энергетического воздействия, в любой момент времени сумма объемных долей твердой, жидкой и газообразной фаз системы есть величина постоянная и равна единице.

В математическом выражении данный закон может быть представлен в следующем виде:

$$K_{T_1} + K_{ж_1} + K_{Г_1} = K_{T_2} + K_{ж_2} + K_{Г_2} = K_{T_n} + K_{ж_n} + K_{Г_n} = 1,$$

где $K_{T_i}, K_{ж_i}, K_{Г_i}$ – соответственно объемное содержание твердой, жидкой и газообразной фаз в системе на i -й ($1 \leq i \leq n$) технологической стадии; n – число технологических стадий.

Закон постоянства объемного фазового состава дисперсной системы дает возможность наглядного изображения процесса формирования структуры на любой технологической стадии в тройной системе координат $K_T - K_ж - K_G$ и получения фазовой диаграммы всего технологического процесса. На рис. 8.2 представлена фазовая диаграмма технологии керамического кирпича на основе суглинка Родионовского месторождения.

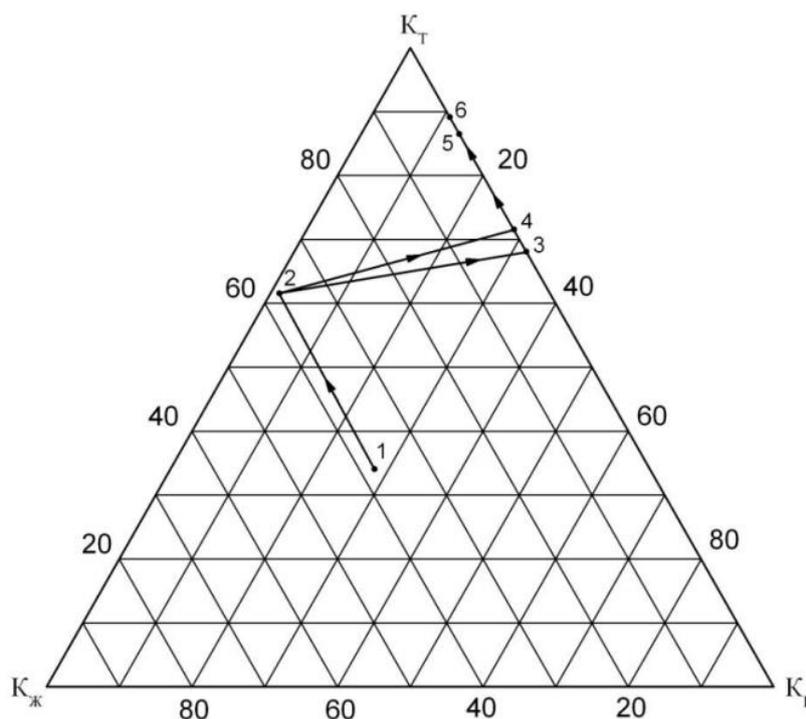


Рис. 8.2. Фазовая диаграмма технологии керамического кирпича:

1 – формовочная масса; 1–2 – уплотнение в шнековом прессе; 2 – кирпич-сырец; 2–3 – сушка при $t = 150$ °С; 2–4 – сушка при $t = 50$ °С; 3–5, 4–6 – обжиг при $t = 1050$ °С

Фазовый состав формовочной массы изображается точкой 1. По линии 1–2 развивается процесс уплотнения массы в шнековом прессе, а точка 2 характеризует фазовый состав кирпича-сырца перед сушкой. Изменение фазового состава массы в процессе сушки изображается линиями 2–3 и 2–4. Жесткий режим

сушки ($t = 150$ °С, линия 2–3) приводит к получению менее плотной структуры сухого кирпича по сравнению с сушкой при мягком режиме ($t = 50$ °С, линия 2–4). Точки 3 и 4 характеризуют фазовый состав сухого кирпича перед обжигом, изменение фазового состава материала при котором изображается линиями 3–5 и 4–6. Из рис. 8.2 следует, что фазовая диаграмма технологии является суммой фазовых диаграмм различных технологических операций.

Необходимо отметить, что фазовая диаграмма технологии позволяет обозначить траекторию достижения поставленной технологической цели не только по K_T , но и с участием жидкой и газообразной фаз. С помощью фазовых диаграмм можно анализировать процессы формирования структуры в системах «цемент – вода» и «гипс – вода», при получении пеностекла и пеносиликатов на основе жидкого стекла, пено- и газобетонов и для других технологий получения разнообразных строительных материалов, базирующихся на использовании дисперсных систем.

Таким образом, применение закона постоянства объемного фазового состава дисперсных систем позволяет проводить теоретический и практический анализ различных технологий, технологических стадий и операций с целью получения материалов с заданными свойствами. Кроме того, закон дает возможность упрощения методики исследований дисперсных систем, позволяет ввести элементы стандартизации в научные исследования и повышает эффективность технологического контроля при получении материалов на основе дисперсных систем.

В технологии материалов на основе силикатных систем процесс придания необходимой формы предварительно приготовленной дисперсной системе является важнейшей стадией технологического процесса получения готовых изделий. Например, из смеси кварцевого песка и извести методом прессования изготавливают силикатный кирпич, из формовочной массы, приготовленной на основе глины, методом пластического формования изготавливают керамический кирпич. Методом полусухого и пластического формования изготавливают различные огнеупорные изделия, пластичное формование широко используют при производстве фарфоровых изделий. При изготовлении керамических изделий сложной формы используют формование методом шликерного литья.

Качество готовых изделий очень сильно зависит от качества проведения всех технологических стадий и операций. Нарушение технологии на любой стадии процесса ведет к неизбежному получению бракованной продукции. Для управления технологическим процессом необходимо знать основные закономерности поведения материалов при любом виде внешнего энергетического

воздействия на него. При формовании изделий из различных предварительно увлажненных материалов (формовочных масс, смесей, пресс-порошков) на них оказывается внешнее механическое воздействие, которое приводит к перестройке структуры и изменению объемного фазового состава материала. Контролируя объемное содержание твердой (K_T), жидкой (K_J) и газообразной (K_G) фаз системы при уплотнении материалов, можно определить способность их к уплотнению или формуемость, а также выбрать оптимальные значения влажности и давлений формования.

Лабораторная работа.

ВЛИЯНИЕ ВЛАЖНОСТИ И ДАВЛЕНИЯ ПРЕССОВАНИЯ НА ФАЗОВЫЙ СОСТАВ МАТЕРИАЛА

Цель работы: исследовать изменение объемного фазового состава увлажненного материала при переводе его из начального, рыхлого состояния в конечное, уплотненное состояние. Построить фазовую диаграмму процесса уплотнения в тройной системе координат $K_T - K_J - K_G$.

Задачи:

1. Произвести прессование полусухого порошка глины.
2. Построить диаграмму состояния.
3. Оценить фазовые переходы.

Приборы и материалы

1. Порошок глины.
2. Вода.
3. Весы лабораторные.
4. Фарфоровые ступки, фарфоровый пестик.
5. Пресс-форма цилиндрическая.
6. Сушильный шкаф.
7. Пресс гидравлический.

Методика выполнения работы

При выполнении работы можно использовать глину, которую предварительно высушивают, измельчают и просеивают через сито с размером ячеек 0,5 мм. Просеянный материал высушивается в сушильном шкафу при температуре 100–105 °С до постоянной массы, либо определяется его начальная влажность в воздушно-сухом состоянии. Для выполнения работы необходимо

около 1 кг сухого материала. Работу выполняют в следующей последовательности:

1. Определить удельную поверхность материала и его истинную плотность.

2. От общей пробы материала на технических весах взять 7–8 навесок массой по 100 г, которые помещаются в отдельные фарфоровые ступки.

3. Навеску материала в первой чашке увлажнить в зависимости от вида глины до 10–12 % (абс.). Для этого с помощью бюретки в глину добавить 10–12 мл воды, после чего материал тщательно перемешать до получения однородного состояния и сверху накрыть слегка отжатой мокрой тряпкой.

4. Взять ориентировочно 30 г влажного материала, засыпать его в пресс-форму, вставить пуансон и слегка прижать его рукой. После этого измерить высоту слоя в пресс-форме для определения объема материала в начальном состоянии (V_1).

5. Пресс-форму с материалом поместить в гидравлический пресс и уплотнить до тех пор, пока из бокового отверстия пресс-формы не появится жидкость или жгутик материала. Зафиксировать давление прессования и извлечь сформованный образец из пресс-формы.

6. Определить массу образца и его габаритные размеры (высота, длина, ширина) для определения объема образца в уплотненном состоянии (V_2).

7. По известным значениям массы и объемов образца определить кажущуюся плотность влажного материала в начальном ($\rho_1^{\text{вл}}$) и конечном, уплотненном ($\rho_2^{\text{вл}}$) состояниях.

8. Плотность влажного материала пересчитать на кажущуюся плотность в сухом состоянии по формуле:

$$\rho_1^c = \frac{\rho_1^{\text{вл}}}{1 + W_A}, \quad \rho_2^c = \frac{\rho_2^{\text{вл}}}{1 + W_A}, \text{ г/см}^3,$$

где W_A – абсолютная влажность материала, выраженная в относительных единицах.

9. Объемную долю твердой фазы в материале начального и конечного состояния определить по формуле:

$$K_T = \frac{\rho_c}{\rho_{\text{ист}}}.$$

10. Объемную долю жидкой фазы определить по формуле:

$$K_{\text{ж}} = \rho_c W.$$

11. Объемную долю газовой фазы определить по формуле:

$$K_r = 1 - (K_T + K_{ж}).$$

12. Аналогичные операции произвести с остальными навесками материала, увеличивая последовательно их влажность на 2 %, т. е. влажность каждой последующей навески увеличивается на 2 % по сравнению с предыдущей. Это необходимо для того, чтобы получить 6–8 экспериментальных точек зависимости.

13. На миллиметровой бумаге построить зависимости (с основой по рис. 8.3). Зависимость $K_{T2} = f(W)$ представляет собой прямую с отрицательным значением углового коэффициента типа $y = -kx + b$.

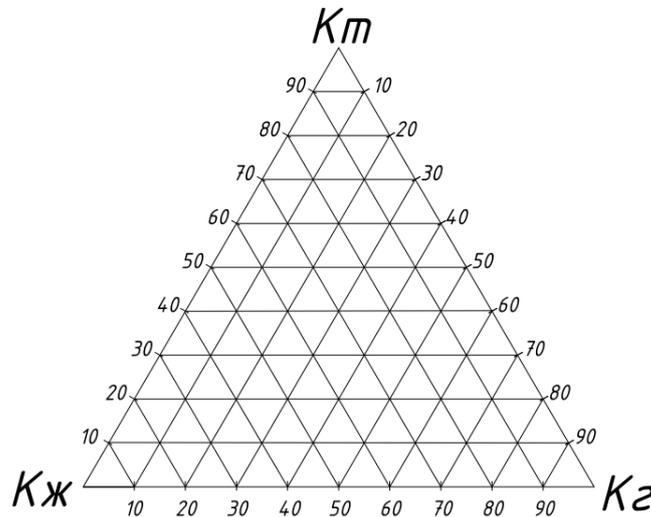


Рис. 8.3. Основа для построения зависимости

По этой зависимости при каком-либо значении ΔW определяют соответствующее изменение ΔK и затем рассчитывают значение показателя уплотняемости (формуемости) данного материала из отношения $TF = \Delta W / \Delta K$. Чем ближе значение этого отношения к единице, тем лучшей формуемостью будет обладать данный материал.

14. Все опытные данные заносятся в табл. 8.1, 8.2. Объемная доля фаз находится по формулам:

$$K_T = \frac{\rho_c}{\rho_{ист}}, \quad K_{ж} = \rho_c W, \quad K_r = 1 - (K_T + K_{ж}).$$

До выполнения расчетов необходимо определить истинную плотность глины $\rho_{ист}$.

Таблица 8.1

Результаты измерений

№ образца	Масса навески до прессования (пресс.), г	Высота пу-ансона до пресс. V_1 , мм	Кажущаяся плотность до пресс. ρ_1 , г/см ³	Давление пресс. $P_{пр}$, МПа	Высота пу-ансона после пресс. V_2 , мм	Масса образца после пресс., г	Кажущаяся плотность после пресс.		Кажущаяся плотность в сухом состоянии	
							ρ_2 , г/см ³	$\rho_{с2}$, г/см ³	до пресс. $\rho_{с1}$, г/см ³	после пресс. $\rho_{с2}$, г/см ³
1										
2										
3										
4										
Опыт 1: Влажность формования $W_1 = 10\%$										
5										
6										
7										
8										
Опыт 2: Влажность формования $W_1 = 13\%$										
5										
6										
7										
8										

Таблица 8.2

Результаты определения дисперсности

№ образца	Объемная доля фаз до прессования		Объемная доля фаз после прессования	
	твердой $K_{г1}$	жидкой $K_{ж1}$	твердой $K_{г2}$	жидкой $K_{ж2}$
1				
2				
3				
4				
Опыт 1: Влажность формования $W_1 = 10\%$				
5				
6				
7				
8				
Опыт 2: Влажность формования $W_1 = 13\%$				
5				
6				
7				
8				

Контрольные вопросы

1. Что называют гетерогенными смесями?
2. В чем заключается технологический процесс получения материалов на основе дисперсных систем?
3. Где и каким образом применяется закон постоянства объемного фазового состава дисперсной системы?
4. Что показывает фазовая диаграмма (например, технологии производства керамического кирпича)?
5. В чем преимущества применения закона постоянства объемного фазового состава дисперсной системы (например, в технологии производства керамического кирпича)?

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. **Бердов, Г. И.** Химия (специальные разделы для направления «Строительство») / Г. И. Бердов, В. Н. Зырянова, Э. А. Кучерова, Н. А. Машкин, В. С. Баев ; Новосиб. гос. архитектур.-строит. ун-т (Сибстрин). – Новосибирск: НГАСУ (Сибстрин), 2011. – 187 с. – Текст : непосредственный.

2. **Брандесова, И. К.** Химия в строительстве : учебно-методическое пособие [для студентов спец. 271101.65 «Строительство уникальных зданий и сооружений»] / И. К. Брандесова, И. Д. Зыкова, В. П. Киселев, В. С. Филимонов. – Красноярск : Сиб. федер. ун-т, 2012. – 60 с. – Текст : электронный. – URL: <https://elib.sfu-kras.ru/handle/2311/61964> (дата обращения 13.04.2022).

3. **Брыков, А. С.** Силикатные растворы и их применение : учебное пособие / А. С. Брыков. – Санкт-Петербург : СПбГТИ (ТУ), 2009. – 54 с. – Текст : непосредственный.

4. **Воробьев, Н. Н.** Практикум по физической химии : учебное пособие / Н. Н. Воробьев, В. А. Гольцшмидт, М. Х. Карапетьянц. – Москва : Госхимиздат, 1952. – 290 с. – Текст : непосредственный.

5. **Горчаков, Г. И.** Строительные материалы : учеб. для вузов / Г. И. Горчаков, Ю. М. Баженов. – Москва : Стройиздат, 1986. – 688 с. – Текст : непосредственный.

6. **Гусев, Б. В.** Математическая теория процессов коррозии бетона / Б. В. Гусев, А. С. Файвусович. – Текст : непосредственный // Промышленное и гражданское строительство. – 2019. – №. 7. – С. 58–63.

7. **Дидух-Шадрина, С. Л.** Современные физико-химические методы анализа : учебно-методическое пособие / С. Л. Дидух-Шадрина, А. Н. Оробьёва. – Красноярск : Сиб. федер. ун-т, 2020. – Текст : электронный. – URL: <https://elib.sfu-kras.ru/handle/2311/138247> (дата обращения 13.04.2022).

8. **Енджиевская, И. Г.** Методы испытания строительных материалов : учебно-методическое пособие / И. Г. Енджиевская, И. Г. Калугин, С. В. Дружинкин, Е. В. Пересыпкин. – Красноярск : Сиб. федер. ун-т, 2021. – 70 с. – Текст : электронный. – URL: <https://bik.sfu-kras.ru/elib/fulltext?id=BOOK1-691/%D0%9C%20545-379033148&start=http%3A/Lib3.sfu-kras.ru/ft/LIB2/ELIB/u691/i-379033148.pdf> (дата обращения 13.04.2022).

9. **Ефимов, Б. А.** Строительные материалы : методические указания к лабораторным работам для обучающихся специалитета по направлению подготовки 08.05.01 Строительство уникальных зданий и сооружений / составители Б. А. Ефимов, М. Б. Каддо, В. П. Камсков ; Министерство науки и высшего образования Российской Федерации, Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет, кафедра строительных материалов и материаловедения. – Москва : Издательство МИСИ – МГСУ, 2019. – URL: <http://lib.mgsu.ru/Scripts/irbis64r91/cgiirbis64.exe?C21COM=F&I21DBN=IBIS&P21DBN=IBIS> (дата обращения 13.04.2022). – Загл. с титул. экрана.

10. **Инжутов, И. С.** Проблемы строительства и архитектуры : сборник материалов XXIII региональной научно-техн. конференции / И. С. Инжутов, Т. В. Гавриленко, О. В. Воротынова, О. Н. Блянкинштейн, Н. А. Артемьева ; под общей редакцией И. С. Инжутова. – Красноярск : КрасГАСА, 2005. – 293 с. : ил. – ISBN 5-89628-135-8. – Текст : непосредственный.

11. **Карасев, М. С.** Строительные материалы : учебно-методическое пособие для лабораторных работ [для студентов спец. 270800.04.62 «Производство и применение строительных материалов, изделий и конструкций»] / М. С. Карасев, В. А. Шевченко, Г. В. Васильевская. – Красноярск : Сиб. федерал. ун-т. – 2013. – Текст : электронный. – URL: <https://bik.sfu-kras.ru/elib/view?id=BOOK1-624%2F%D0%A1541-004797> (дата обращения 13.04.2022).

12. **Ковалев, Я. Н.** Строительные материалы. Лабораторный практикум : учебно-методическое пособие / Я. Н. Ковалев, Г. С. Галузо, А. Э. Змачинский, Т. А. Чистова. – Москва : ИНФРА-М, 2013. – 633 с. – ISBN 978-5-16-006406-2. – Текст : непосредственный.

13. **Кокурина, Г. Л.** Химия : методические указания к выполнению лабораторных работ № 6, 7, 8 для студентов всех специальностей / Г. Л. Кокурина, М. Д. Чекунова, М. В. Лосева. – Иваново : Иван. гос. архит.-строит. ун-т. – 2007. – 35 с. – Текст : непосредственный.

14. Лабораторные работы по рентгеноструктурному анализу : учебно-методическое пособие по дисциплине «Физика конденсированного состояния» для студентов бакалавриата физико-математического факультета, обучающихся по направлению 44.03.05 «Педагогическое образование», профили: «Естествознание / Физика»,

«Физика / Информатика. В 2 частях. Часть 1. / А. С. Макаров, Н. В. Куцева, Р. А. Кончаков, В. А. Хоник. – Воронеж : Воронежский государственный педагогический университет, 2017. – 72 с. – Текст : непосредственный.

15. **Лотов, В. А.** Технология материалов на основе силикатных дисперсных систем : методическое пособие / В. А. Лотов. – Томск : Изд-во ТПУ, 2006. – 202 с. – Текст : непосредственный.

16. **Никифорова, Э. М.** Физикохимия керамических, композиционных и наноматериалов : учебное пособие / Э. М. Никифорова, Р. Г. Еромасов, А. Ф. Шиманский. – Красноярск : Сиб. федер. ун-т, 2016. – 156 с. – ISBN 978-5-7638-3577-9. – Текст : непосредственный.

17. Особенности процесса сульфатной коррозии бетона в агрессивных средах / В. Е. Румянцева, И. Н. Гоглев, М. Е. Шестеркин, И. В. Чернова, И. В. Воробьев. – Текст : непосредственный // Информационная среда вуза. – 2017. – Т. 1. – №. 1. – С. 69–73.

18. **Пиндюк, Т. Ф.** Методы исследования строительных материалов: методические указания к лабораторным работам / Т. Ф. Пиндюк, И. Л. Чулкова. – Омск : СибАДИ, 2011. – 60 с. – Текст : непосредственный.

19. Прогнозирование долговечности железобетонных конструкций с учетом сульфатной коррозии бетона / В. П. Селяев, В. А. Неверов, П. В. Селяев, Е. В. Сорокин, О. А. Юдина. – Текст : непосредственный // Инженерно-строительный журнал. – 2014. – №. 1. – С. 41–52.

20. **Рабухин, А. И.** Физическая химия силикатов и других тугоплавких соединений. Фазовые равновесия и диаграммы состояния гетерогенных систем : учебное пособие / А. И. Рабухин, В. Г. Савельев. – Москва : РХТУ им. Д.И. Менделеева. – 2003. – 96 с. – Текст : непосредственный.

21. Строительные материалы. Свойства и методы исследования : учебно-методическое пособие / А. Д. Шильцина, Ю. В. Селиванов, В. М. Селиванов, О. В. Блажнова, Е. В. Логинова ; Сиб. федер. ун-т, ХТИ – филиал СФУ. – Абакан : ХТИ – филиал СФУ, 2015. – 242 с. – ISBN 978-5-4288-0058-6. – Текст : непосредственный.

22. **Тупикин, Е. И.** Химия в строительстве : учебное пособие для вузов / Е. И. Тупикин. – 2-е изд., испр. и доп. – Москва : Издательство Юрайт, 2017. – 180 с. – ISBN 978-5-534-04152-1. – Текст : непосредственный.

23. **Халтурина, Т. И.** Специальные разделы химии : учебно-методическое пособие / Т. И. Халтурина. – Красноярск : Сиб. федер. ун-т, 2017. – Текст : электронный.

24. Химия в строительстве : учебник для вузов / Э. П. Агасян, И. В. Котенева, В. И. Сидоров, Е. Е. Платонова, Е. И. Мартынычева, Н. И. Малявский, Е. Н. Покровская, Е. М. Мясоедов, Т. П. Никифорова, А. А. Корытин, Ю. В. Устинова, Н. И. Малявский, О. В. Душкин ; под общей редакцией В. И. Сидорова. – Москва : АСВ, 2007. – 312 с. – ISBN 978-5-93093-503-5. – Текст : непосредственный.

25. **Храмцов, Н. В.** Основы материаловедения : учебное пособие / Н. В. Храмцов. – Москва : АСВ, 2011. – 240 с. – ISBN 978-5-93093-770-1. – Текст : непосредственный.

26. **Шильцина, А. Д.** Физическая химия строительных материалов : учебное пособие / А. Д. Шильцина, Ю. В. Селиванов, В. М. Селиванов ; Сиб. федер. ун-т, ХТИ – филиал СФУ. – Абакан : Ред.-изд. сектор ХТИ – филиала СФУ, 2013. – 132 с. – ISBN 978-5-4288-0026-5. – Текст : непосредственный.

27. Research and development of the lightweight corrosion-resistant cement blend for well cementing in complex geological conditions / S. Kamenskih, N. Ulyasheva, G. Buslaev, A. Voronik, N. Rudnitskiy. – Текст : электронный // SPE Russian Petroleum Technology Conference. – OnePetro, 2018. – URL: <https://doi.org/10.2118/191509-18RPTC-MS> (дата обращения 13.04.2022).

28. **Zhou, S.** Research on the corrosion mechanism of CO₂/H₂S mixture to cement stone / S. Zhou, G. Li. – Текст : непосредственный // Научные труды НИПИ Нефтегаз ГНКАР. – 2014. – №. 2. – С. 12–20.

ПРИЛОЖЕНИЯ

Приложение 1

Таблица 1

Свойства гипсовых вяжущих

Марка вяжущего	Предел прочности образцов-балочек размерами 40×40×160 мм в возрасте 2 ч, не менее МПа (кг/см ²)	
	при сжатии	при изгибе
Г-2	2(20)	1,2(12)
Г-3	3(30)	1,8(18)
Г-4	4(40)	2,0(20)
Г-5	5(50)	2,5(25)
Г-6	6(60)	3,0(30)
Г-7	7(70)	3,5(35)
Г-10	10(100)	4,5(45)
Г-13	13(130)	5,5(55)
Г-16	16(160)	6,0(60)
Г-19	19(190)	6,5(65)
Г-22	22(220)	7,0(70)
Г-25	25(250)	8,0(80)

Таблица 2

Классификация гипсовых вяжущих по срокам схватывания

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

Таблица 3

Классификация гипсовых вяжущих по тонкости помола

Вид вяжущего	Индекс степени по- мола	Максимальный остаток на сите, с разме- рами ячеек в свету 0,2 мм, %, не более
Грубого помола	І	23
Среднего помола	ІІ	14
Тонкого помола	ІІІ	2

Приложение 2

Таблица 4

Технические свойства цементов

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-ДО, ПЦ-Д5 ПЦ-Д20, ШПЦ	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)
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)

Приложение 3

Таблица 5

Выбор показателя *C*

Вид вяжущего	Отношение кремнеземистого компонента к вяжущему по массе в ячеистобетонной смеси (<i>C</i>)	
	для автоклавного бетона	для безавтоклавного бетона
Цементные и цементно-известковые	1,0; 1,25; 1,5; 1,75	0,75; 1,0; 1,25
Известковые	3,0; 3,5; 4,0; 4,5; 5,0; 5,5	–
Известково-белитовые	1,0; 1,25; 1,5; 2,0	–
Известково-шлаковые	0,6; 0,8; 1,0	0,6; 0,8; 1,0
Высокоосновные зольные	0,75; 1,0; 1,25	–
Шлакощелочные	0,15; 0,20; 0,25	0,1; 0,15; 0,2

Таблица 6

Текущая растворной смеси

Заданная средняя плотность ячеистого бетона, кг/м ³	Диаметр расплыва смеси по Суттарду, см, на основе вяжущего		
	цементного, известково-цементного, шлакощелочного	известкового, известково-шлакового, известково-белитового	высокоосновного зольного
При литьевом формовании			
300	38	30	–
400	34	25	25
500	30	23	23
600	26	21	21
700	22	19	20
800	18	17	18
При вибрационном формовании			
500	15	–	–
600	13	–	–
700	11	–	–
800	9	–	–

Таблица 7

Температура ячеистобетонной смеси

Ячеистый бетон и вяжущее	Температура растворной смеси, °С, в момент выгрузки	
	при литьевой технологии	при вибрационном формовании
Газобетон:		
на цементе	45	45
на известково-цементном вяжущем	35	40
на известково-шлаковом или высокоосновном зольном вяжущем	40	45
газосиликат на извести-кипелке и известково-белитовом вяжущем	30	40
Пено- и пеногазобетон:		
на цементе	25	–
на шлакощелочном вяжущем	15	–