МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования
«НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ ТОМСКИЙ ПОЛИТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»

УТВЕРЖДАЮ
Директор ИШНПТ
_____ К.К. Манабаев
«____ »_____ 2022 г.

СТРОИТЕЛЬНЫЙ ГИПС

Методические указания к выполнению лабораторной и самостоятельной работы по курсу
«Общая технология силикатов»
для студентов направления подготовки **бакалавров**
18.03.01 Химическая технология

Томск 2022

УДК 666.914

Строительный гипс

Методические указания к лабораторному практикуму и самостоятельной работе студентов по курсу **«Общая технология силикатов»** для студентов направления подготовки бакалавров **18.03.01 Химическая технология**

Томск: Изд. ТПУ, 2022.- 29 с.

Составители: **к.т.н. Смиренская В.Н**
к.т.н., ст. преподаватель Сударев Е.А.

Методические указания рассмотрены и рекомендованы
к изданию методическим семинаром НОЦ Н.М Кижнера
«__» _____2022 г.

Заведующий кафедрой - руководитель
научно-образовательного центра
на правах кафедры, д.х.н, профессор _____ Е.А. Краснокутская

Рецензент

Доктор технических наук, профессор ТПУ
В.И. Верещагин

© Составление ФГАОУ ВО НИ ТПУ, 2022

1. Лабораторная работа по теме «Строительный гипс»

1.1. Общие теоретические сведения

Гипсовыми вяжущими веществами называют тонкоизмельченные продукты термической обработки естественных или искусственных разновидностей сульфата кальция, способных при затворении водой схватываться, твердеть и превращаться в камень в воздушно-сухой среде (при относительной влажности воздуха *не более* ***60 %***).

Классификация. Различают *низкообжиговые* (*до* ***250 ºС***), *высокообжиговые* (от ***600 ºС*** до ***1000 ºС***) и *безобжиговые* гипсовые вяжущие.

Низкообжиговые гипсовые вяжущие быстро схватываются и твердеют, состоят преимущественно из полуводного гипса: ***β - формы*** $CaSO_4 \cdot 0,5H_2O$, которая является основой строительного и формовочного гипсовых вяжущих, и ***α - формы*** $CaSO_4 \cdot 0,5H_2O$, входящей в состав технического высокопрочного гипса и гипсового вяжущего медицинского назначения.

Высокообжиговые гипсовые вяжущие медленно схватываются и твердеют, состоят преимущественно из ангидрита ($CaSO_4$) и входят в состав ангидритового цемента, эстрих-гипса (высокообжигового гипса) и отделочного гипсового цемента.

Безобжиговые гипсовые вяжущие получают при тонком измельчении природных или искусственных разновидностей сульфата кальция ($S_{уд}$ *более* ***3000*** $см^2/г$).

Сырьевые материалы. Сырьем для производства гипсовых вяжущих являются природные разновидности гипсового камня: ***двуводный –*** $CaSO_4 \cdot 2H_2O$ или ***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 [1].

Чистые разновидности месторождений гипсового камня содержат не более ***1-3 %*** примесей, качество сырья для технологии гипсовых вяжущих оценивается ГОСТ 4013-2019, в соответствии с требованиями которого гипсовое сырье разделяется на три сорта в зависимости от содержания

примесей, количество которых должно быть *не более 5 %* для ***1 сорта***, *10 %* – для ***2 сорта*** и *20 %* - для ***3 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* (волокнистая разновидность), *алебастр* (мелкозернистый).

Двуводный гипс ($CaSO_4 \cdot 2H_2O$) - 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 ($CaSO_4$) имеет плотность ***2900-3100 кг/м³***, твердость ***3-3,5***. Ангидрит встречается в природе в виде сплошных зернистых масс или реже в виде хорошо образованных призматических кристаллов.

На ***рис.1*** приведена схема кристаллической структуры двуводного гипсового камня и ангидрида. *Кристаллическая структура двуводного гипсового камня* слоистая, состоит из двойных слоев тетраэдрических групп SO_4^{2-} прочно соединенных ионами кальция. Молекулы воды размещаются между этими двойными слоями. Каждый ион кальция окружен 6 атомами кислорода, принадлежащими сульфатным группам и 2 атомами кислорода, относящимися к двум молекулам воды. Таким образом, каждая молекула воды связывает ион кальция, как с кислородом двойного слоя, так и кислородом соседнего слоя, то есть молекулы воды (кристаллизационная вода) сосредоточены между слоями. Связи, идущие от молекул воды наиболее слабые в кристаллической структуре гипсового камня, поэтому вода легко удаляется при его нагревании, а кристаллы гипсового камня при этом расщепляются на тонкие пластинки.

Кристаллическая структура ангидрита типично островная, в ней выделяются тетраэдрические группы SO_4^{2-}. Каждый ион кальция окружен восемью ионами кислорода, причем каждый ион кислорода связан с одним ионом серы и двумя ионами кальция, ***рис.1***. Структура ангидрита плотно упакована и является более устойчивой [1].

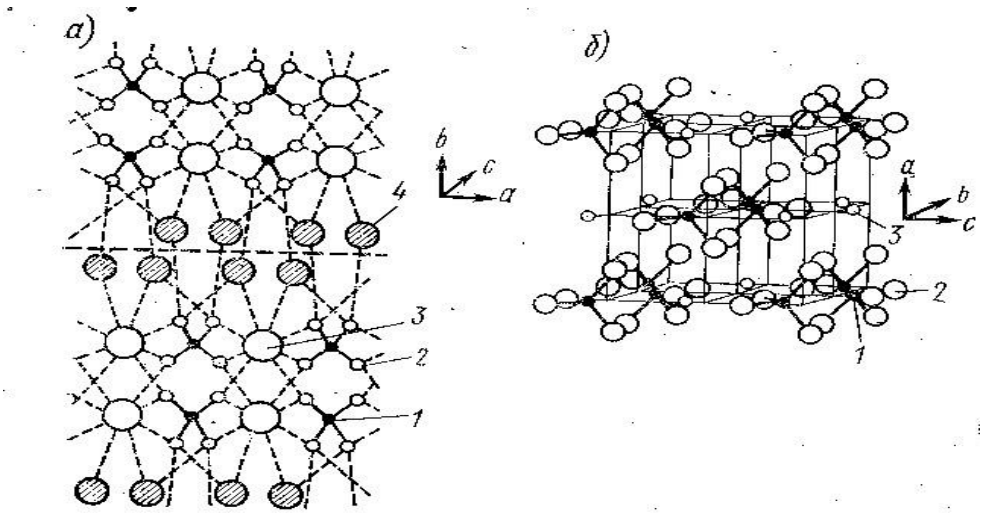

Рис.1. Кристаллическая структура ***двуводного гипса (а)*** и ***ангидрида (б)***

1. – ***S*** $^{6+}$ *2. –* ***O*** $^{2-}$ *3. –* ***Ca*** $^{2+}$ *4. –* H_2O

Теоретические основы технологии. 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 ºС***.

Дегидратация может начинаться и при более низкой температуре, если парциальное давление водяных паров в окружающей среде окажется менее упругости диссоциации $CaSO_4 \cdot 2H_2O$ при данной температуре.

Степень дегидратации двугидрата $CaSO_4$ зависит от температуры, условий и длительности тепловой обработки. Регулируя температуру тепловой обработки гипсового камня можно получать гипсовые вяжущие, отличающиеся строительно-техническими свойствами, на **рис.2** приведена схема дегидратации гипсового камня. Продукты дегидратации на каждом этапе тепловой обработки содержат в основном указанное в схеме соединение, однако, в реальных условиях они представляют собой смесь нескольких соединений системы $CaSO_4 \cdot 2H_2O$.

В настоящее время наиболее изучены ***8*** *модификаций* сульфата кальция. Исследованиями установлено, что самостоятельными фазами являются: $CaSO_4 \cdot 2H_2O$, $CaSO_4 \cdot 0{,}5H_2O$, растворимый ангидрит α - $CaSO_4$, нерастворимый ангидрит β - $CaSO_4$ (встречается в природе).

$CaSO_4 \cdot 2H_2O$ и *нерастворимый ангидрит* β - $CaSO_4$ относятся к стабильным, а $CaSO_4 \cdot 0{,}5H_2O$ и растворимый ангидрит α - $CaSO_4$ – к метастабильным соединениям.

Обезвоженные полугидраты и растворимые ангидриты самостоятельного практического значения не имеют. *β-Нерастворимый ангидрит* самостоятельно не гидратируется и не твердеет, но при повышении температуры обработки до

800 ºC и более происходит частичное разложение сульфата кальция и в составе вяжущего появляется активная известь ***CaO*** (***2-3 %***), которая активизирует процессы схватывания и твердения.

β-Нерастворимый ангидрит является основой эстрих-гипса.

Двугидрат $CaSO_4 \cdot 2H_2O$

↓

Условия дегидратации:

В атмосфере, насыщенной водяным паром или в жидких средах	В атмосфере, ненасыщенной водяным паром
↓	↓
t = 105 -135°C	t = 125 -180°C
α - полугидрат	**β - полугидрат**
$CaSO_4 \cdot 0,5H_2O$	**$CaSO_4 \cdot 0,5H_2O$**
↓	↓
t = 200 -210°C	t = 170 -180°C
α – обезвоженный полугидрат	**β – обезвоженный полугидрат**
$CaSO_4$	**$CaSO_4$**
↓	↓
t = 220 -250°C	t = 300 -350°C
α – растворимый ангидрит или	**β – растворимый ангидрит** или
(α – ангидрит 111 $CaSO_4$)	**(β – ангидрит 111 $CaSO_4$)**
\	/
↓ t = 350°C	↓

β – НЕрастворимый ангидрит или
(ангидрит 11 $CaSO_4$)

при температуре более 800°C **$CaSO_4 \leftrightarrow CaO + SO_3\uparrow$**

↓

t = 1180°C

α – НЕрастворимый ангидрит или
(ангидрит 1 $CaSO_4$)

Рис.2. Схема дегидратации двуводного гипсового камня

Физико - химические процессы, протекающие при дегидратации гипсового камня. В результате термического превращения двуводного гипса в полугидрат перестраивается кристаллическая решетка, при удалении молекул воды происходит разрыв связей ионов Ca^{2+} и SO_4^{2-} с молекулами H_2O и смещение цепочек ***(-Ca-SO₄-Ca-SO₄-Ca-)*** на величину ***0,317 нм***.

Структуру полугидрата $CaSO_4$ можно представить как деформированную моноклинную кристаллическую решетку двуводного гипса, **рис.3**. Между цепочками (***-Ca-SO₄ -Ca-***) в направлении оси «С» расположены полые каналы, в которых находятся молекулы воды. Связь молекул воды с ионами кальция очень слабая из-за большого межатомного расстояния ***0,306-0,375 нм***, тогда как у кристаллов двуводного гипса это расстояние составляет ***0,244нм***.

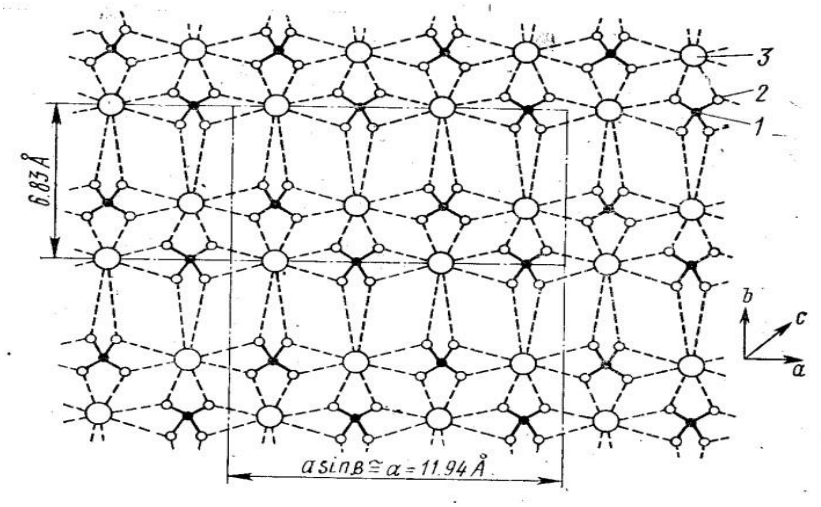

Рис.3. Кристаллическая структура полугидрата сульфата кальция
1. – **S** $^{6+}$ 2. – **O** $^{2-}$ 3. – **Ca** $^{2+}$

При удалении воды из кристаллов *двугидрата* $CaSO_4 \cdot 2H_2O$ в виде пара (в открытых аппаратах) происходит его диспергирование и разрыхление кристаллической решетки, при этом образуется ***β – форма*** $CaSO_4 \cdot 0{,}5H_2O$.

Кристаллы ***β – полугидрата*** $CaSO_4$ мелкие, плохо сформированы, поэтому вяжущее из него отличается высокими значениями дисперсности, водопотребности, пористости и пониженными значениями прочности.

Если вода из *двугидрата* $CaSO_4 \cdot 2H_2O$ удаляется в капельно-жидком состоянии, т.е. процесс протекает в замкнутом пространстве (автоклаве) или при варке в жидких средах, образуется ***α –*** $CaSO_4 \cdot 0{,}5H_2O$. В этом случае происходит замещение кристаллов *двугидрата* $CaSO_4$ плотно упакованными призматическими кристаллами ***α – полугидрата*** $CaSO_4$. 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 [2].

Производство гипсовых вяжущих. Для получения гипсовых вяжущих материалов природное сырье подвергают дроблению, тонкому измельчению и тепловой обработке. Причем в одних случаях тепловая обработка предшествует тонкому измельчению, в других, наоборот, сначала гипсовый камень размалывают, а потом подвергают тепловой обработке [3].

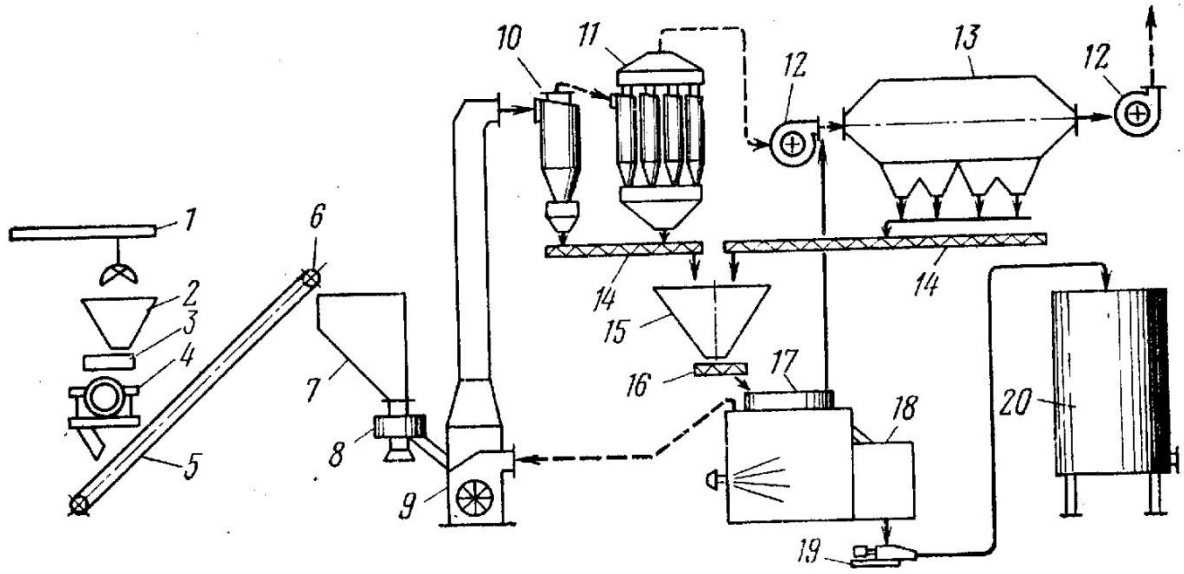

Рис.4. Технологическая схема производства гипсового вяжущего варкой в гипсоварочном котле

1. Мостовой грейферный кран;
2. Приемный бункер;
3. Питатель;
4. Щековая дробилка;
5. Ленточный транспортер;
6. Барабанный электромагнитный сепаратор;
7. Бункер щебня;
8. Тарельчатый питатель;
9. Шахтная аэробильная мельница;
10. Сдвоенный циклон
11. Батарея циклонов НИИОГАЗ;
12. Вентилятор;
13. Электрический фильтр;
14. Шнек;
15. Бункер сырьевой муки;
16. Шнековый питатель;
17. **Гипсоварочный котел;**
18. Камера томления;
19. Пневмовинтовой насос;
20. Силоса готовой продукции.

Описание технологической схемы

Сырье – гипсовый камень поступает на завод в кусках размерами *до* ***500 мм*** и дробится в щековых дробилках до образования щебня с размерами *не более* ***40 мм***. Дальнейший помол гипсового камня осуществляется в мельницах (на **рис.4** - с одновременной подсушкой материала до влажности *не более* ***1 %***), где получают гипсовую муку с тониной помола, соответствующей помолу готового продукта (ГОСТ 125-2018). Температура поступающих в мельницу газов составляет ***300-500 ºС***, а выходящих из мельницы ***85-105 ºС***. Поток газов является одновременно сушильным, сепарирующим и транспортным агентом для измельченного порошка природного гипса. Скорость газовоздушного потока в шахте мельницы составляет ***4-5 м/с***, что обеспечивает унос измельченных до ***0,2-0,3 мм*** частиц гипсовой муки в пылеосадительную систему (аспирации), состоящую из циклонов и элетрофильтра, где гипсовый порошок отделяется от газов, осаждается и с помощью шнека собирается в бункер гипсовой муки. Более крупные частицы осаждаются в шахте мельницы и возвращаются на дополнительный помол. Первая порция гипсовой муки из бункера загружается в предварительно разогретый котел при непрерывной работе мешалки. Материал в котле доводят до «первого кипения» при температуре ***140-150 ºС***, затем котел догружают сырой гипсовой мукой, «второе кипение» происходит при температуре ***170-190 ºС***, варка гипсового вяжущего осуществляется до появления «осадки» материала и образования ***β - полугидрата*** $CaSO_4$, **рис.2**. По окончании варки гипсовое вяжущее из гипсоварочного котла выгружается в бункер томления. Томление (горячее магазинирование) улучшает качество гипсового вяжущего за счет более полного протекания процессов дегидратации неразложившегося ранее двугидрата $CaSO_4$ и гидратации ангидрита до полугидратного состояния.

Готовое гипсовое вяжущее складируется в закрытых силосах.

Варка гипсового вяжущего. Низкотемпературная обработка порошка гипсового камня осуществляется в муфельной печи (на песчаной бане или электроплитке) при температуре *до* ***250 ºС*** в течение ***1,5–2 час***.

В процессе варки *двугидрат* $CaSO_4$ превращается в *полугидрат* $CaSO_4$ по схеме:

$$CaSO_4 \cdot 2H_2O \leftrightarrow \beta - CaSO_4 \cdot 0{,}5H_2O + 1{,}5\ H_2O\uparrow \qquad (1)$$

Процесс дегидратации двуводного гипса сопровождается поглощением тепла в количестве ***138,6 ккал*** на ***1кг*** $\beta - CaSO_4 \cdot 0{,}5H_2O$.

По расчету реакции *(1)* количество выделяющейся воды составляет ***15,76 %***, тогда теоретические коэффициенты выхода готового продукта – *полугидрата* $\boldsymbol{CaSO_4}$ и расхода *двугидрата* $\boldsymbol{CaSO_4}$ составят:

$$K_{ВЫХ\ т} = (1-15{,}76)/100 = 0{,}842 \quad (3)$$

$$K_{РАС\ т} = 1/0{,}842 = 1{,}188 \quad (4)$$

Практический коэффициент выхода готового продукта - *полугидрата* $\boldsymbol{CaSO_4}$ можно рассчитать, зная содержание в сырье гигроскопической влаги - $B_{ГГ\ с}$ (*естественная влажность*) и гидратной влаги в исходном сырье ($B_{ГД\ с}$) и получаемом продукте – гипсовом вяжущем ($B_{ГД\ п}$):

$$K_{ВЫХ\ пр} = (1-0{,}01B_{ГД\ с})/(1+0{,}01B_{ГГ\ с})\cdot(1-0{,}01\ B_{ГД\ п}) \quad (5)$$

Практический коэффициент расхода сырья на единицу массы готового продукта – *полугидрата* $\boldsymbol{CaSO_4}$ составит:

$$K_{РАС\ пр} = 1/K_{ВЫХ\ пр} \quad (6)$$

Содержание гигроскопической влаги в сырье – $B_{ГГ\ с}$ (естественная влажность гипсового камня) определяется высушиванием навески материала (***1 г***) в сушильном шкафу (в бюксах) при температуре ***60 – 70 ºС***, а гидратной влаги – $B_{ГД\ с}$ и $B_{ГД\ п}$ – прокаливанием при температуре ***350 – 400 ºС*** в муфельной печи (в фарфоровых тиглях) навесок по ***1г*** исходного порошка гипсового камня и полученного при варке гипсового вяжущего. Расчет гигроскопической и гидратной влаги в материалах производится по формулам:

$$B_{ГГ} = (M - M_1)\cdot 100 / M_1,\ \%; \quad (7)$$

$$B_{ГД} = (M - M_1)\cdot 100 / M_1,\ \% \quad (8)$$

где M и M_1 – масса навески *до* и *после высушивания* или *прокаливания, г.*

Навеска порошка гипсового камня (возможно введение технологических добавок различного назначения), взвешенная на технических весах помещается в фарфоровую чашку и нагревается в муфельной печи (или на песчаной бане или электроплитке) в течение ***2-3 часов*** до температуры материала ***150-170 ºС*** при постоянном перемешивании (через каждые ***20-30 мин*** варки). Температура варки (в муфельной печи) фиксируется по показаниям милливольтметра, а материала измеряется термометром (через каждые ***30 мин*** варки).

По окончании варки гипсовое вяжущее охлаждается в эксикаторе до комнатной температуры, взвешивается, рассчитываются потери массы навески гипсового порошка в процессе варки:

$$\Delta M = (M - M_1)\cdot 100 / M,\ \% \quad (9)$$

Порошок гипсового вяжущего сохраняется для выполнения последующих работ в защищенном от воздействия влаги месте (гипсовое вяжущее упаковывается в целлофановый пакет и помещается в закрытый эксикатор).

По рассчитанным значениям параметров – $K_{РАС\ пр}$ и $K_{ВЫХ\ пр}$ (практический коэффициент расхода сырья на единицу массы готового продукта и практический коэффициент выхода готового продукта) и при сравнении их с теоретическими делается ***вывод*** о качестве проведенного в лабораторных условиях синтеза гипсового вяжущего.

Лабораторная работа № 1

Исследование строительно-технических свойств гипсовых вяжущих

Цель работы: исследование основных строительно-технических свойств низкотемпературного гипсового вяжущего - строительного гипса.

2.1. Общие теоретические положения

Свойства гипсовых вяжущих. Важнейшими техническими свойствами строительного гипса являются:

- нормальная густота гипсового вяжущего;
- тонина помола;
- сроки схватывания;
- прочностные характеристики марка;

Истинная плотность строительного и формовочного гипса обычно составляет ***2500-2800 кг/м³***, ***объемная плотность*** в рыхлом состоянии ***800-1100 кг/м³***, а в уплотненном - ***1200-1450 кг/м³***.

Строительно-технические свойства гипсовых вяжущих (строительного и формовочного гипса) определены ГОСТ 125-2018, в соответствии с которым различают следующие ***марки гипсовых вяжущих***: ***Г – 2, Г – 3, Г – 4, Г – 5, Г – 6, Г – 7, Г – 10, Г – 13, Г – 16, Г – 19, Г – 22, Г – 25***, где цифрой обозначены минимальные значения предела прочности при сжатии вяжущего, например для марок ***Г – 2*** это ***2 МПа*** или ***20 кг/см²*** и т.д.

Нормальная густота (водопотребность или водогипсовое отношение) гипсового вяжущего – стандартная консистенция гипсового теста, которая характеризуется *диаметром* расплыва теста ***180 ± 5 мм*** при испытании на *вискозиметре Суттарда*. При изготовлении гипсовых изделий методом литья

требуется ***60-80 %*** воды от массы *строительного* или *формовочного гипса* и ***35-45 %*** воды от массы *высокопрочного гипса*.

При затворении гипсового вяжущего водой на протекание химической реакции гидратации *полугидрата* $\boldsymbol{CaSO_4}$ теоретически расходуется ***18,6 %*** воды, а избыточное количество воды, оставшееся в порах затвердевшего изделия, при твердении испаряется и вызывает характерную для гипсовых изделий высокую пористость – ***50-60 %*** от общего объема затвердевшего изделия. То есть, чем меньше используется воды при затворении гипсового теста и меньше значение нормальной густоты при достижении хорошей удобоукладываемости теста, тем плотнее и прочнее гипсовое изделие.

Нормальная густота гипсового вяжущего зависит от множества факторов, главные из которых – вид гипсового вяжущего, тонина помола, форма и размеры кристаллов полугидрата.

Для снижения водопотребности гипсового вяжущего используют *добавки – разжижители* (*пластификаторы*), увеличивающие подвижность и удобоукладываемость гипсовой массы без уменьшения прочностных показателей свойств. К таким добавкам относятся: *глюкоза*, *меласса*, *декстрин* (вводятся в гипсовое вяжущее в смеси с известью), *сульфитно-спиртовая барда* (*ССБ*) и ее термополимеры, *двууглекислая сода*, *глауберова соль* и др.

Добавка ***0,1 %*** раствора $\boldsymbol{CaCl_2}$ к гипсовому камню в процессе варки интенсифицирует процесс варки, снижает водопотребность и ускоряет сроки схватывания гипсового вяжущего.

При хранении гипсовых вяжущих на воздухе их водопотребность несколько снижается (происходит «искусственное старение» гипса), что приводит к искажению результатов определения прочности при стандартных испытаниях.

Примечание: в практической деятельности иногда производят увлажнение гипсового вяжущего паром специально для снижения водопотребности, некоторого повышения пластичности теста и прочности изделий. Количество водной добавки в гипсовое вяжущее составляет около ***5 %***, при этом происходит частичная гидратация поверхностных слоев зерен гипса и изменение их смачиваемости при последующем затворении гипсового вяжущего водой. Однако, длительное хранение гипсовых вяжущих (***более 3 месяцев***) в присутствии паров воды недопустимо, так как из-за преждевременной гидратации гипса значительно снижается его активность.

Коэффициент размягчения. Строительный гипс является воздушным вяжущим, то есть при погружении гипсовых изделий в воду или насыщении водой во влажных условиях их прочность снижается вследствие частичного растворения *двугидрата сульфата кальция*, образовавшегося при твердении.

При увлажнении гипсового изделия влага адсорбируется внутренними поверхностями микротрещин и микрощелей и оказывает расклинивающее действие, разрушая кристаллическую структуру затвердевшего камня. Эксплуатация гипсовых изделий во влажных условиях (относительная

влажность воздуха *более* ***60 %***) приводит к процессам перекристаллизации, состоящим в растворении термодинамически неравновесных кристаллизационных контактов и росте свободных кристаллов *двуводного гипса*, что и приводит к снижению прочности. Однако последующая сушка изделий позволяет восстановить прочность (практически полностью или частично).

В проточной воде затвердевший гипсовый камень разрушается быстро и необратимо.

Зависимость предела прочности при сжатии затвердевшего гипсового вяжущего от влагосодержания выражается коэффициентом размягчения:

$$K_P = R_{СЖ}^{В\text{-}ВЛ} / R_{СЖ}^{В\text{-}СУХ} \qquad (10)$$

где $R_{СЖ}^{В\text{-}ВЛ}$ – предел прочности при сжатии образцов насыщенных водой, т.е. твердеющих в условиях воздушно-влажной среды, **МПа**;

$R_{СЖ}^{В\text{-}СУХ}$ - предел прочности при сжатии образцов твердеющих в условиях воздушно-сухой среды, **МПа**.

Коэффициент размягчения гипсовых изделий изменяется в пределах от ***0,3 до 0,6***.

Известны множество способов повышения коэффициента размягчения гипсовых изделий:

- уплотнение изделий при формовании;
- введение кремнийорганических и других добавок или пропитка ими гипсовых изделий;
- нанесение защитных покровных пленок;
- введение добавок гидравлических вяжущих, активных минеральных добавок природных или техногенных.

Тонина помола вяжущего оценивается максимальным остатком на *сите № 02*. Гипсовые вяжущие в зависимости от остатка на контрольном сите классифицируются на три группы, см. табл.1.

Таблица 1

Классификация гипсовых вяжущих по степени помола

Вид вяжущего	**Индекс степени помола**	**Максимальный остаток на сите № 02, % не более**
Грубого помола	I	23
Среднего помола	II	14
Тонкого помола	III	2

По ***срокам схватывания*** гипсовые вяжущие подразделяются на три группы, см. табл.2.

Таблица 2

Виды гипсовых вяжущих

Вид гипсового вяжущего	**Индекс сроков схватывания**	**Сроки схватывания, мин**	
		начало, не ранее	**конец**, не позднее
Быстротвердеющее	А	2	15
Нормального твердения	Б	6	30
Медленного твердения	В	20	не нормируется

Сроки схватывания гипсового вяжущего определяются на приборе Вика при погружении иглы в гипсовое тесто нормальной густоты. *За начало схватывания* гипсового теста принимается период времени от момента затворения гипсового вяжущего водой до момента, когда игла прибора Вика погрузится в тесто и не дойдет до дна формы – конуса на ***0,5-1 мм***. *За конец схватывания* гипсового теста принимается период времени от момента затворения теста водой до момента погружения иглы прибора Вика в тесто на ***0,5-1 мм*** от поверхности.

Сроки схватывания гипсового вяжущего зависят от условий варки (обжига), вида вяжущего, его тонины помола.

Сроки схватывания гипсовых вяжущих можно регулировать введением добавок.

В качестве *ускорителей* схватывания используются: измельченный гипсовый камень (вторичный гипсовый камень), растворы ***NaCl***, ***KCl***, ***Na_2SO_4*** (возможно одновременное использование двух добавок) и др. Обычно ускорители схватывания и твердения вводятся в количестве ***0,2–3 %*** от массы гипсового вяжущего.

Замедлителями схватывания гипсового вяжущего служат жидкий или порошкообразный *кератиновый* замедлитель, *растворы столярного клея*, *клееизвестковый замедлитель* (вводят не более ***0,1–0,3 %***) и др.

При схватывании и твердении гипсового вяжущего наблюдается небольшое ***изменение объема*** (увеличение *до* ***10 %***) еще окончательно не затвердевшей массы, что не дает отрицательных последствий, так как гипсовое изделие, увеличиваясь в объеме при гидратации, заполняет все детали формы и дает четкий отпечаток.

Условное обозначение гипсового вяжущего включает характеристику основных его свойств, например: ***Г – 5 А II***, что обозначает гипсовое вяжущее *марки* ***Г – 5***, *быстротвердеющее, среднего помола*.

Физико-химические основы процессов схватывания и твердения гипсового вяжущего. При взаимодействии гипсового вяжущего с водой протекает химическая реакция гидратации полугидрата сульфата кальция с образованием *двугидрата сульфата кальция* по схеме:

$$CaSO_4 \cdot 0{,}5H_2O + 1{,}5\ H_2O \leftrightarrow CaSO_4 \cdot 2H_2O \qquad (11)$$

Гидратация полуводного гипса является *экзотермическим процессом*, т. е. сопровождается выделением тепла, количество его составляет ***133 кДж*** на ***1 кг*** *полуводного гипса*. Подъем температуры твердеющего строительного гипса зависит от чистоты продукта, условий обжига и тонкости помола, а также от теплоемкости раствора и условий теплоотдачи в окружающее пространство.

Увеличивающаяся при этом температура сравнительно невысока и достигает ***40–50 ºС*** только при крупных отливках из гипсового вяжущего без использования заполнителя – песка.

В основе процессов, обусловливающих твердение гипсовых вяжущих веществ, лежит способность этих веществ при взаимодействии с водой образовывать пересыщенные растворы. Применительно к *полуводному сульфату кальция* (гипсовому вяжущему) это означает, что его растворимость в воде (***6,3 - 7,4 г/л*** при температуре ***20 °С***) больше, чем растворимость продукта реакции гидратации - *двуводного сернокислого кальция* (***2,05 г*** в ***1 л***). Такие пересыщенные по отношению к двуводного гипсу растворы неустойчивы и стремятся перейти в более устойчивое состояние, т.е. из раствора в виде мелких кристаллов выкристаллизовывается более устойчивый в этих условиях *двугидрат* $CaSO_4$. Подобный процесс растворения исходного вяжущего вещества, в данном случае полугидрата (или, например, растворимого ангидрита), в гипсовом тесте происходит очень быстро. В результате реакции в растворе между компонентами вяжущего и водой возникают новообразования, менее растворимые, чем исходное вещество. По отношению к новым соединениям раствор оказывается пересыщенным, вследствие чего и происходит кристаллизация этих новообразований. В результате этого в растворе устанавливается меньшая концентрация сернокислого кальция, это дает возможность раствориться новой порции полуводного гипса до образования насыщенного и пересыщенного раствора, из которого снова будут выделяться кристаллы *двуводного гипса* в тонкодисперсном состоянии.

Процессы растворения гипсовых вяжущих и кристаллизации *двугидрата сульфата кальция* из пересыщенного по отношению к нему раствора взаимосвязаны и протекают одновременно до практически полного превращения гипсового вяжущего в *двуводный гипс*. Обычно такой процесс длится ***30–40 мин***.

Кристаллы двуводного гипса, образуясь в тесте из полугидрата, переплетаются один с другим, частично сращиваются и создают сначала первичный не очень прочный кристаллизационный каркас. В дальнейшем, по мере превращения в двугидрат гипса все большего количества гипсового вяжущего вещества, прочность кристаллического каркаса и соответственно изделия возрастает.

По теории Ле-Шателье развитие кристаллической структуры затвердевшего гипсового камня протекает в два этапа.

В течение *первого этапа* формируется каркас кристаллизационной структуры с возникновением контактов срастания между кристаллами новообразований.

В течение *второго этапа* происходит обрастание ранее возникшего каркаса, т.е. рост составляющих его кристаллов. Такое обрастание приводит к повышению прочности, но при известных условиях может явиться и причиной появления внутренних напряжений, вызывающих понижение прочности. Наибольшая конечная прочность обусловливается возникновением кристаллов новообразований достаточной величины при минимальных напряжениях, сопровождающих формирование и развитие кристаллизационной структуры.

По теории А.А. Байкова процесс твердения строительного гипса делится на три периода.

Первый период – растворение и образование насыщенного раствора - сопровождается небольшим повышением температуры, так как положительный эффект химической реакции компенсируется отрицательным эффектом растворения.

Второй период – образование коллоидальной массы, или схватывание, характеризуется тем, что образующиеся в результате реакции гипса с водой продукты не могут растворяться в окружающей жидкой среде, а получаются в коллоидальном состоянии, минуя растворение. В течение этого периода наблюдается быстрое повышение температуры (из-за отсутствия процесса растворения), в результате чего скорость реакции увеличивается. Затворенная водой гипсовая масса теряет свою пластичность, но не приобретает механической прочности, так как между частицами еще нет сцепления.

Третий период – кристаллизация и твердение – характеризуется превращением коллоидных новообразований в кристаллическое состояние. В

течение этого более продолжительного периода, сопровождающегося ничтожным выделением тепла, нарастает механическая прочность изделия.

Эти периоды твердения наступают не в строгой последовательности один за другим. Так, еще до образования насыщенного раствора на поверхности зерен гипса начинают появляться коллоидальные массы, а превращение этих масс в кристаллическое состояние начинается ранее окончания процесса коллоидации по всему объему затворенного водой материала.

Общим в рассмотренных теориях является то, что после соприкосновения вяжущих веществ с водой образуются гидраты в виде мельчайших частиц, обладающих свойствами коллоидов и находящихся в равновесии с окружающей средой.

В обычных условиях при твердении гипсовые изделия высыхают медленно, при повышенной относительной влажности воздуха высушенное гипсовое изделие может поглощать влагу из него. После полного высушивания образцов твердение гипса заканчивается и прочность его более не нарастает, поэтому твердение гипсовых изделий в промышленных условиях ускоряют путем принудительной сушки. При сушке гипсовых изделий во избежание протекания обратного процесса – дегидратации температура сушки *не должна превышать* ***60-80 °С***.

2.2.1. Определение нормальной густоты гипсового теста

При затворении гипсового вяжущего водой образуется гипсовое тесто, представляющее собой пластичную массу.

Водопотребность гипсового вяжущего – минимальное количество воды, необходимое для получения подвижного и удобоукладываемого гипсового теста. Водопотребность гипсового вяжущего характеризуется нормальной густотой гипсового теста или водотвердым (водогипсовым) отношением – В/Т (В/Г).

Нормальную густоту гипсового теста выражают в процентах как отношение массы воды к массе гипсового вяжущего или в долях единицы при расчете водогипсового отношения.

Сущность метода количественной оценки значения нормальной густоты состоит в измерении диаметра расплыва гипсового теста, вытекающего из цилиндра при его поднятии на *вискозиметре Суттарда*.

Диаметр расплыва гипсового теста нормальной густоты при испытании на вискозиметре Суттарда равен ***180 ± 5 мм***.

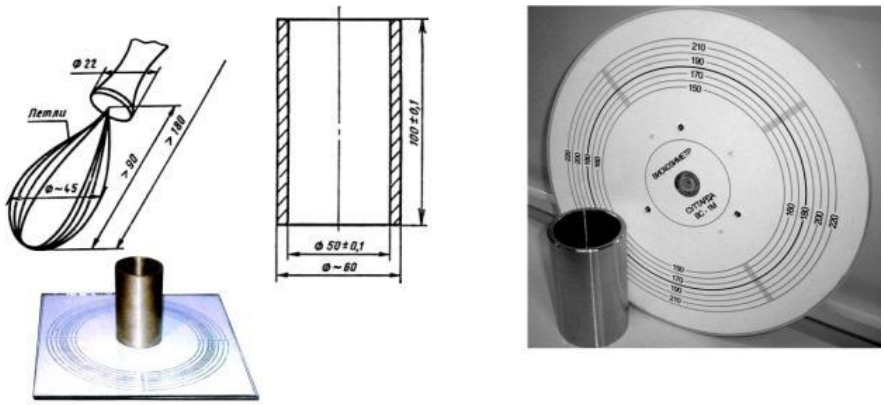

Рис.5. Вискозиметр Суттарда

Приборы и материалы для выполнения лабораторной работы:

1. Вискозиметр Суттарда;
2. Гипсовое вяжущее заводского изготовления;
3. Технические весы;
4. Чашка для приготовления гипсового теста;
5. Шпатель /лопатка или венчик/ для перемешивания гипсового теста;
6. Секундомер;
7. Мерный цилиндр на 250 мл;
8. Металлическая линейка.

Вискозиметр Суттарда, **рис.5** представляет собой металлический диск подставку с равномерно нанесенными на него концентрическими окружностями диаметром от ***60 мм*** до ***250 мм*** и покрытый листом стекла.

Полый металлический цилиндр с полированной внутренней поверхностью устанавливается в центр окружностей.

Перед испытаниями внутренняя поверхность цилиндра и поверхность стекла протирается увлажненной тканью. На технических весах отвешивается навеска гипсового вяжущего массой ***400 г***. В чашку для приготовления гипсового теста вливается вода (начинают эксперимент с ***55-60 %*** воды от массы исходной навески гипсового вяжущего), включается секундомер и затем за ***2-5 секунд*** высыпается ***400 г*** гипсового вяжущего при интенсивном перемешивании гипсового теста в течение ***30 секунд***. После окончания перемешивания гипсовое тесто выкладывается в цилиндр, установленный в центре окружностей, поверхность гипсового теста в цилиндре выравнивается линейкой или ножом и удаляются излишки теста. Через ***15 секунд*** после окончания перемешивания гипсового теста (или ***45 сек*** с момента затворения) цилиндр поднимается вертикально вверх на высоту ***15-20 см***, гипсовое тесто выливается на стекло прибора. Затем проводится измерение диаметра расплыва

гипсового теста в двух взаимноперпендикулярных направлениях с погрешностью не более ***5 мм*** и вычисляется его среднеарифметическое значение. Если диаметр расплыва гипсового теста отличается от ***180 ± 5 мм***, эксперимент повторяется при изменении количество воды затворения.

Нормальная густота гипсового теста и водогипсовое отношение рассчитываются по формулам:

$$НГ = M_{воды} \cdot 100 / M_{гв}, \%$$ (12)

где $M_{воды}$ – количество воды затворения гипсового вяжущего при расплыве гипсового теста 180 ± 5 мм, ***мл***;

$M_{гв}$ – масса навески гипсового вяжущего, ***г***.

$$В/Г = M_{воды} / M_{гв},$$ (13)

По результатам экспериментальных данных сделать ***вывод*** о нормальной густоте исследуемого гипсового вяжущего в зависимости от сорта сырья.

2.2.2.Определение содержания $CaSO_4 \cdot 0,5H_2O$ в гипсе

Ход работы. Содержание $CaSO_4 \cdot 0,5H_2O$ в строительном гипсе определяют, затворяя водой ***2 г*** навески измельченного гипса, предварительно высушенного в течение двух часов при ***60 °С***. Замес гипсового теста производят в предварительно взвешенной маленькой фарфоровой чашечке. Объем необходимой для затворения воды рассчитывают в соответствии с опытом 2.2.1. В присутствии воды полуводный гипс гидратируется до двуводного.

Через полчаса после замеса теста затвердевший продукт в чашечке помещают в сушильный шкаф, высушивают в течение часа при ***60 °С***, остужают, взвешивают вместе с чашечкой и рассчитывают массовую долю $CaSO_4 \cdot 0,5H_2O$ **(ω)** по формуле:

$$\omega = \frac{M_1}{1,5\ M_2} \cdot \frac{m_2 - m_1}{m} 100\ \%,$$ (14)

где M_1 и M_2 – молярные массы $CaSO_4 \cdot 0,5H_2O$ и H_2O соответственно, ***г/моль***;

1,5 – число моль H_2O, присоединяемое 1 моль $CaSO_4 \cdot 0,5H_2O$ при гидратации;

m, m_1 и m_2 – массы навески полуводного гипса, чашечки с исходной навеской и чашечки после высушивания затвердевшего в ней продукта соответственно, ***г***.

2.2.3. Определение тонины помола гипсового вяжущего

При оценке дисперсности гипсового вяжущего, исследуемого ситовым анализом (контрольное ***сито № 02***, обозначает номер сетки и соответствует размеру стороны ячейки сита ***0,2 мм*** или ***200 мкм***), используются термины – *тонина помола*, *тонкость помола* или *степень помола*.

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

Обычно тонина помола гипсового вяжущего определяется тониной помола природного гипсового камня (гипсовой муки) перед термообработкой (редко производится дополнительный помол гипсового вяжущего), оценивается максимальным остатком на ***сите № 02*** и выражается в процентах от массы исходной навески.

Приборы и материалы для выполнения лабораторной работы:

1. Сито № 02 (с крышкой и поддоном);
2. Гипсовое вяжущее, полученное при лабораторной варке;
3. Технические весы.

Навеска гипсового вяжущего (при необходимости высушивается в сушильном шкафу при температуре ***50 ± 5 ºС*** в течение ***1 часа***) массой ***10-100 г*** взвешивается на технических весах с точностью ***до 0,1 г*** и помещается на сито для просеивания. Сито закрывается крышкой и помешается в прибор для механического просеивания – «Ротап» или рассеивается вручную в течение ***5-7 мин***. Просеивание считается законченным, если при контрольном просеивании навески над бумагой (при снятом донышке) в течение ***1 мин*** через сито проходит *не более* ***0,05 г*** гипсового вяжущего. При забивании сетки просеиваемым материалом осторожно с обратной стороны сетки производится ее чистка над бумагой с помощью мягкой кисточки.

Тонина помола гипсового вяжущего оценивается максимальным остатком на ***сите № 02*** или количеством материала, прошедшего через сито и рассчитывается по формулам:

$$P_{02} = M_{ост} \cdot 100 / M_{исх}, \% \quad (15)$$

$$П = (M_{исх} - M_{ост}) \cdot 100 / M_{исх}, \% \quad \text{или} \quad П = 100 - P_{02}, \% \quad (16)$$

где P_{02} – остаток на сите № 02, *%*;

$M_{ост}$ – масса остатка на сите № 02, *г*;

$M_{исх}$ – масса исходной навески, *г*;

П – количество гипсового вяжущего, прошедшего через сито № 02, ***%***

По максимальному остатку гипсового вяжущего на ***сите № 02*** (***P_{02}***) проводится классификация исследуемого вяжущего в соответствии с данными **табл.1.**

По результатам экспериментальных данных ***проводится классификация*** исследуемого гипсового вяжущего по тонине помола в соответствии с данными **табл.1**.

2.2.4. Определение сроков схватывания гипсового вяжущего

При взаимодействии гипсового вяжущего с водой происходит постепенное уменьшение пластичности гипсового теста, оно загустевает и уплотняется, это соответствует началу процесса схватывания гипсового теста. Со временем гипсовая масса теряет свою пластичность полностью, становится практически неподвижной и еще более уплотняется и упрочняется, это соответствует концу процесса схватывания гипсового теста.

Сроки схватывания гипсового вяжущего зависят от нескольких факторов, наиболее важные из которых**:** *вид вяжущего вещества*, *водогипсовое отношение*, *тонина помола* и др.

Сроки схватывания гипсового вяжущего определяются на *приборе Вика*, **рис.6**.

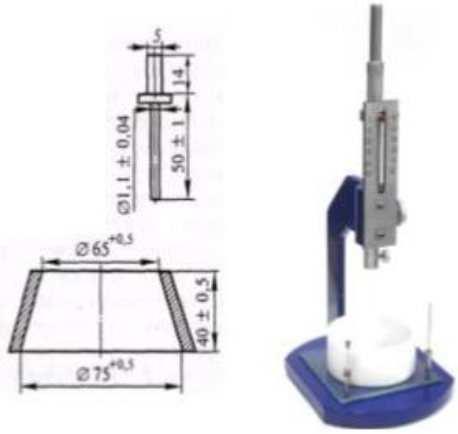

Рис.6. Прибор Вика для определения сроков схватывания гипсового вяжущего

Приборы и материалы для выполнения лабораторной работы:

1. Прибор Вика (с иглой);
2. Гипсовое вяжущее, полученное при лабораторной варке;
3. Технические весы;

4. Мерный цилиндр на 250 мл;
5. Чашка для приготовления гипсового теста;
6. Шпатель /лопатка или венчик/ для перемешивания гипсового теста;
7. Металлическая линейка;
8. Секундомер.

ПРИМЕЧАНИЕ: Испытание гипсовых вяжущих, полученных в лабораторных условиях в небольших количествах, проводится на приборе Вика для малых навесок (**10 г**).

Подготовка к работе. При определении сроков схватывания гипсового вяжущего масса всей перемещающейся части прибора (подвижного стержня) должна быть равна ***120±1 г.***

Перед началом испытаний проверяется нулевое показание прибора при опускании подвижного стержня в тесто до дна формы-конуса и фиксировании нулевого значения на шкале прибора.

Форма перед заполнением гипсовым тестом слегка смазывается машинным маслом.

В металлическую или фарфоровую чашку наливается вода в количестве, необходимом для получения теста нормальной густоты из расчета на ***400 г*** гипсового вяжущего, взвешенного с точностью до ***0,1 г.*** Включается секундомер (начинается отсчет времени от начала затворения гипсового вяжущего) и одновременно всыпается навеска гипсового вяжущего, смесь быстро перемешивается ложкой или лопаточкой (венчиком).

Всыпать гипс надо по возможности равномерно в течение ***30 сек***. После этого массу немедленно выливают в форму (усеченный конус) прибора Вика, избыток срезают ножом и выравнивают поверхность. Для удаления вовлеченного воздуха гипсовое тесто в форме встряхивается ***4-5 раз***.

Форма помещается под иглу прибора Вика, затем игла прибора доводится до соприкосновения с поверхностью гипсового теста в форме и закрепляется винтом подвижного стержня.

Испытания проводятся через каждые ***30 сек*** - игла опускается в гипсовое тесто каждый раз в новое место. После погружения игла тщательно вытирается.

При этом отмечаются два момента: первый, когда игла не доходит до дна формы, и второй, когда игла опускается в тесто не более чем на ***1 мм***.

За ***начало схватывания*** гипсового теста принимается период времени от момента затворения гипсового вяжущего водой до момента, когда свободно опущенная игла после погружения в тесто первый раз не дойдет до поверхности стеклянной пластинки (до дна формы).

За ***конец схватывания*** гипсового теста принимается период времени с момента затворения гипсового вяжущего водой до момента, когда свободно опущенная игла погружается в тесто на глубину *не более* ***1 мм*** от поверхности.

Сроки схватывания гипсового вяжущего выражают в минутах.

По результатам экспериментальных данных ***проводится классификация*** гипсового вяжущего по срокам схватывания.

2.2.5. Определение прочностных характеристик и марки гипсового вяжущего

Применение строительного гипса в качестве вяжущего для изготовления строительных деталей и изделий определяет требования к его прочностным характеристикам – пределу прочности при изгибе и пределу прочности при сжатии. По показателям пределов прочности при сжатии и при изгибе строительный гипс разделяется на марки, **табл.3**.

Испытания прочностных характеристик гипсового вяжущего проводятся при формовании стандартных образцов из теста нормальной густоты (с 1972г. взамен испытания предела прочности при сжатии образцов-кубов введено испытание при изгибе образцов-балочек размером ***40×40×160 мм*** и испытание предела прочности при сжатии половинок этих балочек.

Таблица 3

Марки гипсового вяжущего при испытании стандартных образцов ***40×40×160 мм*** после ***2 час*** твердения

Марка гипсового вяжущего	Предел прочности, МПа (кгс/см^2), не менее		Марка гипсового вяжущего	Предел прочности, МПа (кгс/см^2), не менее	
	При изгибе	При сжатии		При изгибе	При сжатии
Г - 2	1,2 (12)	2 (20)	Г – 10	4,5 (45)	10 (100)
Г – 3	1,8 (18)	3 (30)	Г – 13	5,5 (55)	13 (130)
Г – 4	2,0 (20)	4 (40)	Г – 16	6,0 (60)	16 (160)
Г – 5	2,5 (25)	5 (50)	Г – 19	6,5 (65)	19 (190)
Г - 6	3,0 (30)	6 (60)	Г – 22	7,0 (70)	22 (220)
Г - 7	3,5 (35)	7 (70)	Г - 25	8,0 (80)	25 (250)

Стандартные образцы-балочки испытываются через ***1,5 – 2 час*** твердения (или в состоянии будучи высушенными до постоянной массы в сушильном шкафу при температуре ***не более 60 ºС***) для определения предела прочности при изгибе. Затем на половинках балочек определяют предел прочности при сжатии на прессе **ПГМ-100МГ4.**

В данной лабораторной работе образцы для ускорения процессов твердения высушиваются в сушильном шкафу.

Для определения предела прочности при сжатии строительного гипса изготавливаются не менее ***3*** *стандартных* образцов-балочек ***40×40×160 мм*** (допускается проводить испытания на образцах кубиках размерами ***7,07×7,07×7,07 см***).

При выполнении экспериментальных работ, когда масса синтезируемого материала мала, допускается определение прочностных характеристик вяжущего на малых образцах с последующим пересчетом результатов эксперимента с учетом разницы в размерах испытуемых и стандартных образцов.

Приборы и материалы для выполнения лабораторной работы:

1. Гипсовое вяжущее, полученное при лабораторной варке;
2. Технические весы;
3. Чашка для приготовления гипсового теста;
4. Мерный цилиндр на 250 мл.
5. Шпатель, /лопатка или венчик/ для перемешивания;
6. Секундомер;
7. Формы для образцов-балочек или кубиков;
8. Металлическая линейка или нож;
9. Сушильный шкаф;
10. Штангенциркуль или линейка;
11. Пресс ПГМ-100МГ4.

Навеска гипсового вяжущего (***1,0-1,6 кг***) затворяется водой в течение ***20-30 сек*** (гипсовое вяжущее всыпается в чашку с водой, взятой в количестве, соответствующем нормальной густоте) и перемешивается в течение ***30 сек*** (***1 мин***) до получения однородной массы. (Вместо ручного перемешивания гипсового теста при использовании больших навесок целесообразно применять перемешивание в лабораторной механизированной мешалке. Смеситель мешалки вращается со скоростью ***250-300 об/мин***. Реле времени настраивается на работу мешалки в течение ***30 сек***).

Затем масса немедленно заливается в металлические (или другие) формы, предварительно слегка смазанные машинным маслом. Наполнение всех форм производится одновременно, для чего чашка с гипсовым тестом все время перемещается над формами, при этом гипс разливается тонкой струей.

После наполнения форм масса уплотняется постукиванием и штыкованием, а поверхность образцов сглаживается.

Через ***15 мин - 1 час*** от начала затворения образцы гипсовых изделий вынимаются из форм и *часть* из них помещаются в сушильный шкаф для высушивания при температуре ***50 - 60 °С*** в течение ***1,5 - 2 часов***.

Образцы испытываются через ***1,5-2 час*** от начала затворения или при достижении образцами постоянной массы при высушивании в сушильном шкафу.

Перед испытанием образцы осматриваются, грани образцов выравниваются. Грани стандартного образца-куба, или половинки балочек, прилегающие к плитам пресса, должны быть параллельны и не должны отклоняться от плоскости более чем на ***0,5 мм***. Испытания проводятся с использованием специальных пластин размерами ***40×62,5 мм***. Образцы с дефектными гранями не испытываются.

Перед испытанием производится обмер образцов линейкой с точностью до ***1 мм*** или штангенциркулем. Площадь сечения образца рассчитывается при измерении размеров на середине его высоты.

Непосредственно перед испытанием поверхности образцов, прилегающие к плитам пресса, протираются сухой тканью. Испытание следует производить на прессе мощностью *не более* ***15 т***.

Образец укладывается на подушку пресса так, чтобы сжимающая сила была направлена параллельно слоям укладки гипсового теста в форму и чтобы вертикальная ось образца проходила через центр шарнира плиты пресса.

Нагрузка при испытании должна возрастать непрерывно и равномерно со скоростью ***2-3 кгс/см²*** в секунду до разрушения образца.

Предел прочности при изгибе гипсового образца вычисляется как среднее арифметическое результатов трех испытаний, вычисленное с точностью **± 0,1 МПа**.

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

Расчет предела прочности образцов при изгибе и при сжатии вычисляется по формулам:

$$R_{изг} = 3 \cdot P \cdot l / (2 \cdot b \cdot h^2), \qquad (17)$$

где $R_{изг}$ – предел прочности при изгибе, ***кгс/см² (МПа)***;

P – разрушающая нагрузка, ***P = μ·K, кгс;***

l – расстояние между опорами, ***см, l = 10 см;***

μ – показания датчика, ***мВ; K*** – *постоянная прибора,* ***K =38,2 кгс/мВ;***

b – ширина балочки, ***см; h*** – высота балочки, ***см***.

$$R_{сж} = P/S_{пл}, \quad (18)$$

где $R_{сж}$ – предел прочности при сжатии, ***кгс/ см² (МПа)***;

P – разрушающая нагрузка, $P = \mu \cdot K$, ***кгс***;

μ – показания датчика, ***мВ; K*** – *постоянная прибора,* ***K =38,2 кгс/мВ***;

$S_{пл}$ – площадь пластины, ***см²***, $S_{пл} = 25 см^2$.

В **табл.4.** приведены основные области применения гипсовых вяжущих.

По результатам выполненного эксперимента ***определяется марка*** гипсового вяжущего, ***приводится условное обозначение*** исследуемого гипсового вяжущего и ***возможные области применения***.

Примечание: Пример условного обозначения гипсового вяжущего с прочностью ***5,2 МПа (52 кгс/см²)*** со сроками схватывания: начало – ***5 мин.***, конец – ***9 мин.*** и максимальным остатком на ***сите № 02*** – ***9 %***.

Гипсовое вяжущее марки ***Г-5***, быстротвердеющее, среднего помола - ***Г-5 А II***.

Таблица 4

Области применения гипсовых вяжущих

Области применения гипсовых вяжущих	Рекомендуемые марки и виды
Изготовление гипсовых строительных изделий	***Г-2÷Г-7***, всех сроков твердения и степени помола
Изготовление тонкостенных строительных изделий и декоративных деталей	***Г-2÷Г-7***, тонкого и среднего помола, быстрого и нормального твердения
Производство ремонтных и штукатурных работ (заделка швов, трещин, специальные цели)	***Г-2÷Г-25***, тонкого и среднего помола, нормального и медленного твердения
Изготовление форм и моделей в керамической и других промышленностях	***Г-5÷Г-25***, тонкого с нормальными сроками твердения
Для медицинских целей	***Г-2÷Г-7***, тонкого и среднего помола, быстрого и нормального твердения

Вопросы к коллоквиуму:

1. Гипсовые вяжущие. Определение.
2. Классификация гипсовых вяжущих.
3. Основные свойства низкообжиговых гипсовых вяжущих.
4. Основные свойства высокообжиговых гипсовых вяжущих.
5. Виды природного сырья для производства гипсовых вяжущих.
6. Техногенные сырьевые материалы для производства гипсовых вяжущих.
7. Основные свойства природного двуводного гипсового камня.
8. Основные свойства природного ангидрита.
9. Особенности кристаллической структуры двуводного гипсового камня.
10. Особенности кристаллической структуры ангидрита.
11. Условия дегидратации гипсового камня и образования - α и β - полугидрата $CaSO_4$.
12. Основные виды модификаций сульфата кальция ($CaSO_4$).
13. Свойства модификаций сульфата кальция.
14. Основные технологические стадии производства гипсовых вяжущих.
15. Варианты технологических схем для получения гипсовых вяжущих.
16. Особенности варки гипса в гипсоварочных котлах.
17. Основные стадии процесса дегидратации гипсового камня.
18. Режимы термообработки гипсового камня.
19. Способы интенсификации процесса термообработки гипсового камня.
20. Основные строительно-технические свойства строительного гипса.
21. Нормальная густота гипсового вяжущего, факторы определяющие количество воды затворения, методика определения.
22. Сроки схватывания гипсового вяжущего, факторы их определяющие, методика определения.
23. Прочностные характеристики гипсового вяжущего, факторы их определяющие, методика определения.
24. Понятие «марка гипсового вяжущего», условное обозначение.
25. Понятие «коэффициент размягчения затвердевшего гипсового вяжущего».
26. Способы повышения водостойкости гипсовых изделий.
27. Кристаллизационная теория твердения гипсовых вяжущих (по А.А. Байкову).
28. Области применения гипсовых вяжущих.

Литература:

1. Бутт Ю.М. и др. Химическая технология вяжущих материалов. – М.: Высшая школа, 1980. – 472 с.
2. ГОСТ 125-2018. Вяжущие гипсовые. Технические условия.
3. ГОСТ 23789-2018. Вяжущие гипсовые. Методы испытаний.
4. ГОСТ 4013-2019. Камень гипсовый и гипсоангидритовый для производства вяжущих материалов. Технические условия.
5. Горшков В.С.. Методы физико-химического анализа вяжущих материалов. - М.: Высшая школа, 1981. – 335 с.
6. Кузнецова Т.В. и др. Физическая химия вяжущих материалов. – М.: Высшая школа, 1989. – 384 с.
7. Бутт Ю.М. и др. Практикум по химической технологии вяжущих материалов. – М.: Стройиздат, 1973. – 502 с.
8. Балдин В.П. Производство гипсовых вяжущих веществ. – М.: Высш. шк., 1988. – 135 с.
9. Волженский А.В. Минеральные вяжущие вещества. – М.: Стройиздат, 1986. – 463 с.
10. Колбасов В.М. и др. Технология вяжущих материалов. – М.: Стройиздат, 1987. – 433 с.
11. Химическая технология вяжущих материалов: учебное пособие [Электронный ресурс] / В. Н. Смиренская, С. А. Антипина, С. Н. Соколова; Томский политехнический университет (ТПУ). – Томск: Изд-во ТПУ, 2009. – 200 с.
12. Башкатов Н. Н. Минеральные воздушные вяжущие вещества. – Екатеринбург: Изд-во Урал. ун-та, 2018 – 148 с.
13. Зимакова Г.А., Каспер Е.А., Бочкарева О.С.. Гипсовые вяжущие, материалы и изделия на их основе.- Тюмень: РИО ФГБОУ ВПО ТюмГАСУ, 2014 г. - 89 с.
14. Гипсовые материалы и изделия (производство и применение). Справочник. Под ред. А.В. Ферронской. – М.: Изд-во АСВ, 2004 – 488 с.

Учебное издание

СТРОИТЕЛЬНЫЙ ГИПС

Методические указания к выполнению лабораторной и самостоятельной работы по курсу **«Общая технология силикатов»** для студентов направления подготовки **бакалавров** **18.03.01 Химическая технология**

Составители

Смиренская Вера Николаевна
Сударев Евгений Александрович

Отпечатано в Издательстве ТПУ в полном соответствии
С качеством представленного оригинал-макета

Подписано к печати 29.10.2022. Формат 60x84/16. Бумага «Снегурочка».
Печать XEROX. Усл. печ.л. 9,01. Уч.-изд. л. 8,16.
Заказ . Тираж 20 экз.

Национальный исследовательский Томский политехнический университет
Система менеджмента качества
Издательство Томского политехнического университета сертифицирована
NATIONAL QUALITY ASSURANCE по стандарту BS EN ISO 9001:2008

ИЗДАТЕЛЬСТВО ТПУ. 634050, г. Томск, пр. Ленина, 30 Тел./факс: 8(3822)56-35-35, www.tpu.ru