



ДОНСКОЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ
УПРАВЛЕНИЕ ДИСТАНЦИОННОГО ОБУЧЕНИЯ И ПОВЫШЕНИЯ
КВАЛИФИКАЦИИ

Кафедра «Технология вяжущих веществ, бетонов и
строительной керамики»

Методические указания к курсовой работе по дисциплине

«Вяжущие вещества»

Автор
Шляхова Е.А.

Ростов-на-Дону, 2017

Аннотация

Изложена методика изготовления и оценки показателей качества гипсовых вяжущих веществ.

Предназначены для студентов направления подготовки 08.03.01 «Строительство», профиль подготовки «Производство строительных материалов, изделий и конструкций».

Автор

к.т.н., доцент кафедры «ТВВБиСК» Шляхова Е.А.



Оглавление

1 Общие сведения	4
1.1 Гипсовые вяжущие материалы	4
1.2 Основы производства гипсовых вяжущих	4
1.3 Определение содержания гипса ($\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$).....	6
1.4 Построение температурной кривой варки гипса	7
2 Определение основных свойств гипсовых вяжущих	9
2.1 Определение тонкости (степени) помола.	9
2.2 Определение нормальной густоты гипсовых вяжущих.....	10
2.3 Определение сроков схватывания	11
2.4 Определение конца кристаллизации	12
2.5 Определение марочной прочности гипсовых вяжущих	13

1 ОБЩИЕ СВЕДЕНИЯ

1.1 Гипсовые вяжущие материалы

Гипсовыми вяжущими материалами называют тонкоизмельченные продукты термической обработки естественных или искусственных разновидностей сульфата кальция, способные после затворения водой схватываться, твердеть и превращаться в камень на воздухе.

Различают гипсовые вяжущие вещества низкообжиговые и высокообжиговые. *Низкообжиговые* получают при температуре 130...180°C. Они состоят в основном из полуводного гипса и быстро твердеют. К ним относят гипсовые вяжущие марок от Г-2 до Г-25, используемые для строительных, формовочных и медицинских целей.

Высокообжиговые гипсовые вяжущие получают при температуре 600...1000°C. Они состоят преимущественно из безводного сульфата кальция - ангидрита - и медленно твердеют.

К гипсовым вяжущим веществам относят также смешанные композиции, основной составляющей которых является гипс, а дополнительными – известь, цемент, молотые шлаки. В зависимости от вида дополнительной составляющей различают гипсоизвестковые, гипсоцементные и другие вяжущие.

1.2 Основы производства гипсовых вяжущих

Технологический процесс производства гипсовых вяжущих состоит в измельчении гипсового камня и тепловой обработки (дегидратации). Используемые в промышленности технологические схемы получения гипсовых вяжущих отличаются числом и последовательностью основных операций. Наиболее распространенные технологические схемы условно можно представить следующим образом:

1. Дробление → помол → варка;
2. Дробление → сушка → помол → варка;
3. Дробление → сушка+помол → варка;
4. Дробление → помол → варка → помол;
5. Дробление → сушка+помол → варка → помол;
6. Дробление → обжиг → помол;
7. Дробление → обжиг → помол;
8. Дробление → запаривание → помол.

Первые пять схем используют при производстве низкообжиговых вяжущих в гипсоварочных котлах. Схема 1 наиболее простая, но ее применение возможно лишь при сухом сырье. Если влажность сырья превышает 1%, то перед помолом его необходимо сушить (схема 2). Целесообразно совмещение этих операций в одном аппарате (схема 3). Для улучшения качества продукции желателен вторичный помол полуводного гипса, выходящего из варочных котлов (схемы 4 и 5). Схему 6 используют при производстве как высокообжиговых, так и низкообжиговых гипсовых вяжущих в сушильных барабанах, а схему 7 – в аппаратах совмещенного помола и обжига.

Схема 8 предназначена для получения гипса повышенной прочности на основе α-модификации полугидрата. Такая модификация получается в герметично закрытых аппаратах, в среде повышенного давления и температур. При этом кристаллизацион-

ная вода удаляется из двухводного гипса в капельно-жидком состоянии.

Основное количество гипсовых вяжущих (более 60%) получают с применением варочных котлов периодического действия (рисунок 1), при этом получают вяжущие β -модификации, когда вода удаляется из зоны обжига непосредственно в атмосферу в виде перегретого пара.

Гипсовый камень, измельченный в щековой дробилке, подается на помол в шахтную мельницу. В мельнице совмещаются тонкое измельчение гипсового камня и его сушка за счет теплоты газов, отводимых из варочного котла с температурой 200...900°C. Тонкодисперсные частицы улавливаются системой пылеулавливающих устройств (циклоны, рукавные фильтры) и поступают в гипсоварочный котел. По окончании тепловой обработки материал находится некоторое время в бункере выдерживания, а затем поступает в бункер готового гипса. Такая технологическая схема проста и обеспечивает получение продукции высокого качества, так как гипс не загрязняется золой.

Технологические схемы с сушильными барабанами позволяют получать как низко-, так и высокообжиговые вяжущие (около 35% общего выпуска). Загружают барабаны щебнем с размером зерен 10...20 и 20...35 мм. Длительность тепловой обработки составляет 1...2 ч. Выходящий из печи горячий материал направляют в бункера выдерживания или подвергают горячему помолу. Такая технологическая схема обеспечивает получение более дешевого и качественного гипса при меньших капитальных затратах. Непрерывно действующие сушильные барабаны обеспечивают компактность технологической схемы, позволяют автоматизировать процесс. Однако расход топлива в них несколько выше, чем в варочных котлах, что связано с повышенным пылеуносом.

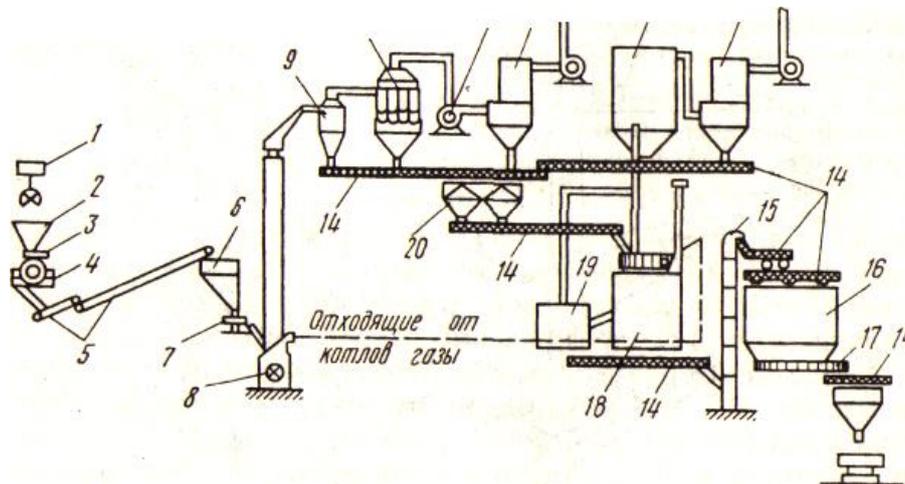


Рисунок 1 – Технологическая схема производства гипса с применением варочных котлов:

- 1 – грейферный кран; 2 – бункер гипсового камня; 3 – лотковый питатель; 4 – щековая дробилка; 5 – ленточный конвейер; 6 – бункер; 7 – тарельчатый питатель; 8 – шахтная мельница; 9 – циклон; 10 – батарея циклонов; 11 – вентилятор; 12 – рукавный фильтр;
- 13 – пылесадительная камера; 14 – шнековый конвейер; 15 – элеватор; 16 – бункер готового гипса; 17 – скребковый конвейер; 18 – гипсоварочный котел; 19 – бункер выдерживания; 20 – бункер молотого гипсового камня

1.3 Определение содержания гипса ($\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$)

Для производства гипсовых вяжущих используется гипсовый и гипсоангидритовый камень по ГОСТ 4013-82.

Гипсовый камень по содержанию гипса и гипсоангидритовый камень по суммарному содержанию гипса и ангидрита в пересчете на гипс подразделяют на сорта, указанные в таблице 1.

Таблица 1

Сорт	Содержание в гипсовом камне, %, не менее		Содержание в гипсоангидритовом камне, %, не менее	
	гипса ($\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$)	кристаллизационной воды	гипса и ангидрита в пересчете на $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$	серного ангидрита (SO_3)
1	95	19,88	95	44,18
2	90	18,83	90	41,85
3	80	16,74	80	37,20
4	70	14,64	—	—

Содержание гипса в гипсовом камне определяют по кристаллизационной воде, а в гипсоангидритовом камне – по серному ангидриту (SO_3).

Для производства гипсовых вяжущих должны поставлять только гипсовый камень, а для производства цемента – гипсовый и гипсоангидритовый камень. В гипсоангидритовом камне должно быть не менее 30% гипса ($\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$).

Гипсовый и гипсоангидритовый камень применяют в зависимости от размера фракции:

- 60 – 300 мм — гипсовый камень для производства гипсовых вяжущих;
- 0 – 60 мм — гипсоангидритовый и гипсовый камень для производства цемента.

1.3.1 Оборудование

- лабораторные весы по ГОСТ 23676-79;
- сушильный шкаф;
- муфельная печь;
- фарфоровые тигель и ступка с пестиком по ГОСТ 9147-80;
- эксикатор по ГОСТ 25336-82.

1.3.2. Методика выполнения испытаний

Камень дробят до размеров около 10 мм и отбирают среднюю пробу массой около 1 кг. Затем последовательным квартованием отбирают пробу массой около 100 г. Пробу камня измельчают в фарфоровой ступке до полного прохождения через сито с сеткой № 02.

Навеску массой около 2 г, высушенную до постоянной массы при температуре $(50 \pm 5)^\circ\text{C}$, помещают в предварительно прокаленный взвешенный фарфоровый тигель и нагревают в муфельной печи при температуре $(400 \pm 15)^\circ\text{C}$ в течение 1 ч. После прокаливания тигель с навеской охлаждают в эксикаторе и взвешивают.

Прокаливание повторяют при той же температуре до получения постоянной массы. Взвешивание проводят с погрешностью до 0,0002 г.

Содержание кристаллизационной воды G в процентах вычисляют по формуле:

$$G = \frac{m - m_1}{m} \cdot 100, \quad (1)$$

где m — масса пробы до прокаливании, г;

m_1 — масса пробы после прокаливании, г.

Содержание гипса ($\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$) в процентах вычисляют по формуле

$$\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O} = 4,7785 \cdot G, \quad (2)$$

где G — содержание кристаллизационной воды, %;

4,7785 — коэффициент пересчета.

По результатам испытаний определяют сорт гипсового камня

1.4 Построение температурной кривой варки гипса

1.4.1 Оборудование

- электроплитка;
- гипсоварочный котел;
- штатив с термометром со шкалой до 200°C;
- лопатка для перемешивания.

1.4.2 Методика выполнения работы

Предварительно измельченный гипсовый камень в количестве 1,5-2,0 кг помещают в лабораторный варочный котел (3) и нагревают на электроплитке (2). В процессе обжига гипсовый порошок перемешивают при помощи лопатки. В процессе тепловой обработки через каждые 2-3 мин определяют температуру обжигаемого материала при помощи термометра (1).

Схема установки представлена на рисунке 2.

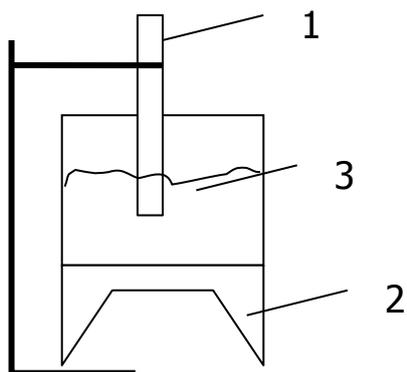


Рисунок 2 – Схема установки

По полученным данным вычерчивают кривую варки гипса (рисунок 3). Результаты измерений заносят в таблицу 2.

По кривой варки определяют характерные участки (почти горизонтальные площадки), соответствующие процессу обезвоживания и испарению «отщепленной» кристаллизационной (гидратной) воды при образовании полуводного гипса и при полном обезвоживании.

Отмечают также температуру, при которой происходят видимые изменения состояния обжигаемого материала: «кипение» массы, снижение ее уровня («осадка» гипса) и т.д.

Таблица 2 – Результаты определения температуры варки гипса

Время	2'	4'	6'	8'	...	...	...	...	...			
Температура, °С	26	28	34	42	...	...	...	...	...			

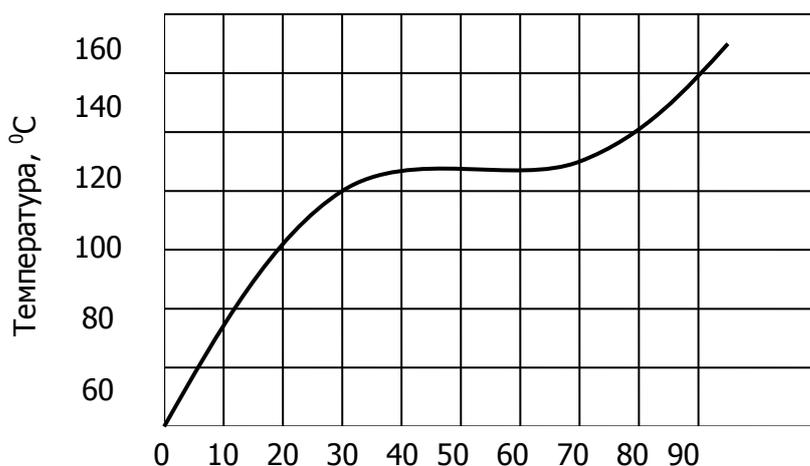


Рисунок 3 – Температурная кривая варки гипса

После обжига и охлаждения материал подвергают стандартным испытаниям по ГОСТ 125-79 и ГОСТ 23789-79.

2 ОПРЕДЕЛЕНИЕ ОСНОВНЫХ СВОЙСТВ ГИПСОВЫХ ВЯЖУЩИХ

2.1 Определение тонкости (степени) помола.

Сущность метода заключается в определении массы гипсового вяжущего, оставшегося при просеивании на сите с ячейками размером в свету 0,2 мм.

2.1.1 Оборудование

- сушильный шкаф;
- весы технические по ГОСТ 24104-80 с погрешностью взвешивания не более 0,05 г;
- сито с ячейками размером в свету 0,2 мм по ГОСТ 3584-73;
- термометр со шкалой до 100°C.

2.1.2 Методика выполнения работы

Пробу вяжущего массой 50 г, взвешенную с погрешностью не более 0,1 г и предварительно высушенную в сушильном шкафу в течение 1 ч при температуре 50±5 °С, высыпает на сито и производят просеивание вручную.

Просеивание считают законченным, если сквозь сито в течение 1 мин при ручном просеивании проходит не более 0,05 г вяжущего.

Тонкость помола отдельной пробы определяют в процентах с погрешностью не более 0,1% как отношение массы, оставшейся на сите, к массе первоначальной пробы. За величину тонкости помола принимают среднее арифметическое результатов двух испытаний.

Результаты испытаний заносят в таблицу 3 и сопоставляют с нормативными данными, таблица 4.

Таблица 3 – Результаты определения тонкости помола

№	Масса пробы, г		Тонкость помола $\frac{m_1 - m}{m_1}, \%$	Среднее арифметическое	Индекс степени помола
	до просеивания, m_1	остаток на сите № 02, m_2			
1					
2					

Таблица 4 – Вид вяжущего по степени помола (ГОСТ 125-79)

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

2.2 Определение нормальной густоты гипсовых вяжущих

Стандартная консистенция (нормальная густота) характеризуется диаметром расплыва гипсового теста, вытекающего из цилиндра при его поднятии. Диаметр расплыва должен быть равен (180 ± 5) мм. Количество воды является основным критерием определения свойств гипсового вяжущего: времени схватывания и предела прочности. Количество воды выражается в процентах как отношение массы воды, необходимой для получения гипсовой смеси стандартной консистенции, к массе гипсового вяжущего в граммах.

Нормальная густота гипсовых вяжущих α и β модификаций отличается: гипсовые вяжущие α -модификации – крупнокристаллическим строением, а β -модификации – мелкокристаллическим. В связи с этим, гипс α -модификации требует меньшего количества воды затворения (30-40%), чем β -модификации (50-70%).

2.2.1 Оборудование

- чашка из коррозионностойкого материала вместимостью более 500 см³;
- ручная мешалка, имеющая более трех петель из проволоки диаметром 1 – 2 мм (рисунок 4);
- стекло диаметром более 240 мм;
- цилиндр из нержавеющей металла с полированной внутренней поверхностью (рисунок 5);
- линейка длиной 250 мм с ценой деления 1 мм;
- весы по ГОСТ 24104-80 с погрешностью взвешивания не более 1 г;
- секундомер.

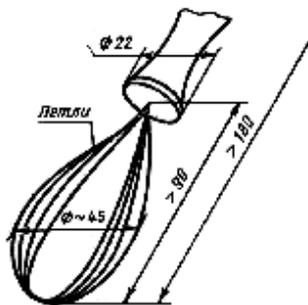


Рисунок 4

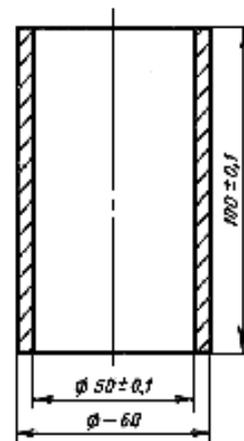


Рисунок 5

2.2.1 Методика выполнения работы

В чистую чашку, предварительно протертую тканью, вливают воду, масса которой зависит от свойств гипсового вяжущего. Затем в воду в течение 2-5 с всыпают от 300 до 350 г гипсового вяжущего. Массу перемешивают ручной мешалкой в течение 30 с, начиная отсчет времени от начала всыпания гипсового вяжущего в воду. После окончания перемешивания цилиндр, установленный в центре стекла, заполняют гипсовым тестом, излишки которого срезают линейкой. Цилиндр и стекло предваритель-

но протирают тканью. Через 45 с, считая от начала засыпания гипсового вяжущего в воду, или через 15 с после окончания перемешивания цилиндр очень быстро поднимают вертикально на высоту 15-20 см и отводят в сторону. Диаметр расплыва измеряют непосредственно после поднятия цилиндра линейкой в двух перпендикулярных направлениях с погрешностью не более 5 мм и вычисляют среднее арифметическое значение. Если диаметр расплыва теста не соответствует (180 ± 5) мм, испытание повторяют с измененной массой воды.

Начинать определение нормальной густоты надо с количества воды, соответствующего НГ=50%. Результаты заносят в таблицу 5.

Таблица 5 – Результаты определения нормальной густоты

№	Расход материалов		Диаметр расплыва, мм	Нормальная густота, %
	гипсовое вяжущее, г	вода, мл		
1				
2				
3				

2.3 Определение сроков схватывания

Для определения сроков схватывания используют гипсовое тесто стандартной консистенции. Сущность метода состоит в определении времени от начала контакта гипсового вяжущего с водой до начала и конца схватывания теста.

Начало схватывания определяют числом минут, истекших от момента добавления вяжущего к воде до момента, когда свободно опущенная игла после погружения в тесто первый раз не доходит до поверхности пластинки, а *конец схватывания* – когда свободно опущенная игла погружается на глубину не более 1 мм. Время начала и конца схватывания выражают числом минут.

2.3.1 Оборудование

- секундомер;
- коническое кольцо из коррозионностойкого материала;
- прибор Вика с массой подвижной части (300 ± 2) г. Игла должна быть изготовлена из твердой нержавеющей стальной проволоки с полированной поверхностью и не должна иметь искривлений;
- полированная пластинка из коррозионностойкого материала размером не менее 100x100 мм.

2.3.2 Методика выполнения работы

Перед началом испытания проверяют, свободно ли опускается стержень прибора Вика, а также нулевое положение подвижной части.

Кольцо, предварительно протертое и смазанное минеральным маслом и установленное на полированную пластинку, заполняют тестом. Для удаления попавшего в тесто воздуха кольцо с пластинкой 4-5 раз встряхивают путем поднятия и опускания

одной из сторон пластинки примерно на 10 мм. После этого излишки теста срезают линейкой и заполненную форму на пластинке устанавливают на основании прибора Вика.

Подвижную часть прибора с иглой устанавливают в такое положение, при котором конец иглы касается поверхности гипсового теста, а затем иглу свободно опускают в кольцо с тестом. Погружение производят один раз каждые 30 с, начиная с целого числа минут. После каждого погружения иглу тщательно вытирают, а пластинку вместе с кольцом передвигают так, чтобы игла при новом погружении попадала в другое место поверхности теста.

Результаты определений заносят в таблицу 6 и сравнивают с нормативными данными, таблица 7.

Таблица 6 – Результаты определения сроков схватывания

Сроки схватывания, мин		Индекс сроков твердения
Начало схватывания, мин		
Конец схватывания, мин		

Таблица 7– Вид вяжущего по срокам схватывания (ГОСТ 125-79)

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

2.4 Определение конца кристаллизации

Для этого определения берут прибор (рисунок 6), состоящий из сосуда Дюара емкостью 500 мл или двух стеклянных стаканов, кулек из кальки или резиновую чашечку и термометр до 50°С с ценой деления 1⁰, вставленный в пробку. Стаканчик емкостью 100 мл помещают в стакан емкостью 400-500 мл; пространство между обоими стаканами изолируют асбестом или стекловатой.

Отвешивают 100 г гипса и всыпают в чашку с водой, взятой в количестве, соответствующем нормальной густоте 100 г гипса. Перемешивание в течение 30 с производят так же, как и при определении нормальной густоты гипса. Затем около 30 г массы переносят в кулек из кальки, который после этого помещают в сосуд Дюара (или внутренний стакан). Термометр вводят в середину массы, и сосуд закрывают корковой пробкой.

Во избежание прилипания гипса ртутный шарик термометра смазывают вазелином, и термометр сразу после того, как температура гипса повысится не менее чем на 0,5° С, слегка поворачивают.

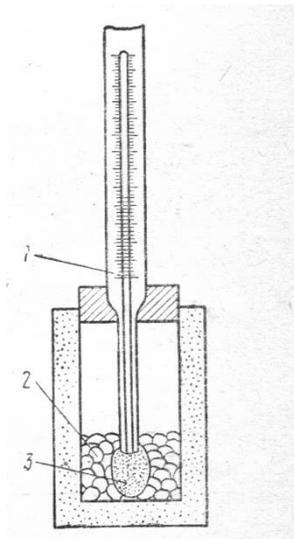


Рисунок 6 – Прибор для определения конца кристаллизации строительного гипса:
1 – термометр; 2 – стекловата; 3 – кулек с гипсовым тестом

Затем наблюдают за повышением температуры гипса, фиксируя показания термометра через каждые 30 с до тех пор, пока температура гипса не начнет снижаться, что будет указывать на окончание кристаллизации гипса, и отмечают время от начала затворения гипса до конца его кристаллизации (снижения температуры). По окончании испытания термометр осторожно освобождают) из гипса легким покручиванием.

Время от начала затворения гипсового теста до конца кристаллизации гипса обычно не превышает 12 мин.

2.5 Определение марочной прочности гипсовых вяжущих

Сущность метода заключается в определении минимальных нагрузок, разрушающих образец.

2.5.1 Оборудование

- чашка, изготовленная из коррозионностойкого материала;
- линейка длиной 250 мм;
- мерный цилиндр вместимостью 1 л по ГОСТ 1770-74;
- весы по ГОСТ 24104-80 с погрешностью взвешивания не более 1 г;
- форма из коррозионностойкого материала для изготовления образцов-балочек размерами 40x40x160 мм.

2.5.2 Методика выполнения работы

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

Для изготовления образцов берут пробу гипсового вяжущего массой от 1, 0 до 1, 6 кг. Гипсовое вяжущее в течение 5-20 с засыпают в чашку с водой, взятой в количестве, необходимом для получения теста стандартной консистенции. После засыпания вяжущего смесь интенсивно перемешивают в течение 60 с до получения однородного

теста, которым заливают форму. Предварительно внутреннюю поверхность металлических форм слегка смазывают минеральным маслом средней вязкости. Отсеки формы наполняют одновременно, для чего чашку с гипсовым тестом равномерно продвигают над формой. Для удаления вовлеченного воздуха после заливки форму встряхивают 5 раз, для чего ее поднимают за торцевую сторону на высоту от 8 до 10 мм и опускают. 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.

Полученные после испытания на изгиб шесть половинок балочек сразу же подвергают испытанию на сжатие. Образец вместе с пластинами подвергают сжатию на прессе. Время от начала равномерного нагружения образца до его разрушения должно составлять от 5 до 30 с, средняя скорость нарастания нагрузки при испытании должна быть (10 ± 5) кгс/см² в с. Схема испытаний представлена на рисунке 7.

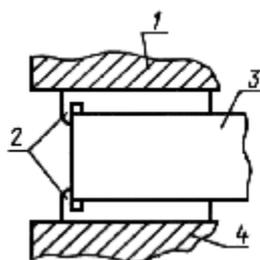


Рисунок 7 – Схема испытания:

1– верхняя плита пресса; 2 – пластинки; 3 – половина образца; 4 – нижняя плита пресса

Предел прочности на сжатие одного образца определяют как частное от деления величины разрушающей нагрузки на рабочую площадь пластины, равную 25 см². Предел прочности на сжатие вычисляют как среднее арифметическое результатов шести испытаний без наибольшего и наименьшего результатов.

Результаты испытаний образцов записывают в таблицу 8 и сравнивают с данными таблицы 9.

Таблица 8 – Результаты испытаний на прочность

№ образца	Разрушающая нагрузка, на сжатие, кгс	Предел прочности образцов-балочек				Марка вяжущего
		на сжатие, кгс/см ² (МПа)		на изгиб, кгс/см ² (МПа)		
			среднее		среднее	
1						
2						
3						

Таблица 9 – Марки вяжущего (ГОСТ 125-79)

Марка вяжущего	Предел прочности образцов-балочек размерами 40x40x160 мм в возрасте 2 ч, МПа (кгс/см ²), не менее	
	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)

По результатам испытаний гипсовое вяжущее маркируют.

Пример условного обозначения гипсового вяжущего с прочностью 5,2 МПа (52 кгс/см²) со сроками схватывания: начало – 5 мин, конец – 9 мин и остатком на сите с размером ячеек в свету 0,2 мм 9%, т. е. вяжущего марки Г-5, быстротвердеющего, среднего помола: **Г-5 А II**