

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

**ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ
УЧРЕЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
«МОСКОВСКИЙ АВТОМОБИЛЬНО-ДОРОЖНЫЙ
ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»**

Кафедра дорожно-строительных материалов

И. Б. КУРДЕНКОВА, Ю.Э. ВАСИЛЬЕВ

ДОРОЖНО-СТРОИТЕЛЬНЫЕ МАТЕРИАЛЫ

Методические рекомендации по выполнению лабораторных работ

Москва, 2023

УДК 625.861
ББК 39.311–03
К 930

Курденкова И. Б., Васильев Ю.Э.

Дорожно-строительные материалы: Методические рекомендации по выполнению лабораторных работ / И.Б. Курденкова, Ю.Э. Васильев. - М: МАДИ, 2023. – 131 с.

В методических рекомендациях по выполнению лабораторных работ приведены методики проведения лабораторных испытаний ряда строительных материалов, общих свойств, каменных материалов, минеральных вяжущих, бетона керамического кирпича; дан пример расчёта состава цементобетона.

Методические рекомендации по выполнению лабораторных работ предназначены для обучающихся направления подготовки 08.03.01 «Строительство» направленность (профиль) «Автомобильные дороги».

Методические рекомендации по выполнению лабораторных работ предназначены для основной профессиональной образовательной программы, реализуемой в сетевой форме ФГБОУ ВО Пермский ГАТУ совместно с ФГБОУ ВО МАДИ.

Утверждены в качестве методических рекомендаций по выполнению лабораторных работ методической комиссией института землеустройства, кадастра, инженерных и строительных технологий ФГБОУ ВО Пермский ГАТУ (протокол № 3 от 23 ноября 2023 г.).

© Московский автомобильно-дорожный государственный технический университет (МАДИ), 2023

СОДЕРЖАНИЕ

Введение.....	6
1. ОБЩИЕ СВОЙСТВА МАТЕРИАЛОВ.....	7
1.1. Определение средней плотности.....	7
1.1.1. Определение средней плотности образца правильной геометрической формы.....	8
1.1.2. Определение средней плотности образца неправильной формы... ..	9
1.2. Определение истинной плотности материала.....	11
1.3. Определение пористости.....	12
1.4. Определение влажности.....	13
1.5. Определение водопоглощения.....	13
1.6. Определение водонасыщения.....	15
1.7. Определение морозостойкости.....	15
1.7.1. Определение морозостойкости щебня.....	17
1.7.2. Определение морозостойкости бетона (первый базовый метод ГОСТ 10061.0–2012).....	20
(второй базовый метод ГОСТ 10061.0–2012).....	25
1.8. Определение прочности.....	27
1.8.1. Определение предела прочности при сжатии.....	27
1.8.2. Определение предела прочности при изгибе.....	28
1.9. Определение истираемости.....	30
2. КАМЕННЫЕ МАТЕРИАЛЫ ДЛЯ БЕТОНА.....	32
2.1. Щебень (гравий). Общие свойства.....	32
2.2. Определение зернового состава.....	32
2.3. Определение содержания дробленых зерен в щебне из гравия.....	34
2.4. Определение содержания пылевидных и глинистых частиц.....	34
2.5. Определение содержания глины в комках.....	36
2.6. Определение содержания зерен пластинчатой (лещадной) и игловатой форм.....	37
2.7. Определение дробимости.....	39
2.8. Определение истираемости в полочном барабане.....	41
2.9. Определение морозостойкости. Ускоренное определение морозостойкости.....	45

2.10. Определение истинной плотности горной породы и зерен щебня (гравия)	47
2.11. Определение средней плотности и пористости горной породы и зерен щебня (гравия)	50
2.11.1. Определение средней плотности	50
2.11.2. Определение пористости	53
2.12. Определение насыпной плотности и пустотности	53
2.12.1. Определение насыпной плотности	53
2.12.3. Определение пустотности	55
2.13. Определение водопоглощения горной породы и щебня (гравия).....	55
2.14. Определение влажности	56
2.15. Определение предела прочности при сжатии горной породы.	57
2.16. Определение реакционной способности горной породы щебня	58
3. ВОЗДУШНЫЕ ВЯЖУЩИЕ. ГИПС СТРОИТЕЛЬНЫЙ	62
3.1. Общие сведения.....	62
3.2. Определение тонкости (степени) помола	64
3.3. Определение стандартной консистенции (нормальной густоты) гипсового теста	64
3.4. Определение сроков схватывания гипсового теста	66
3.5. Определение предела прочности на растяжение при изгибе	68
3.6. Определение предела прочности при сжатии	70
3.7. Определение содержания гидратной воды.....	71
3.8. Определение объемного расширения	71
3.9. Определение водопоглощения.....	72
4. ГИДРАВЛИЧЕСКИЕ ВЯЖУЩИЕ. ПОРТЛАНДЦЕМЕНТ	74
4.1. Общие сведения.....	74
4.2. Определение тонкости помола цемента	79
4.3. Определение нормальной густоты цементного теста	79
4.4. Определение сроков схватывания цементного теста	82
4.5. Определение равномерности изменения объема	83
4.6. Определение прочности цемента	85
5. ЦЕМЕНТОБЕТОН. ПОДБОР СОСТАВА ТЯЖЕЛОГО ЦЕМЕНТОБЕТОНА.....	90
5.1. Общие сведения о бетоне и бетонных смесях.....	90
5.2. Требования к материалам для бетона	94

5.3. Расчет состава бетонной смеси.....	99
5.4. Приготовление пробного замеса, проверка удобоукладываемости и корректировка состава бетонной смеси	106
5.4.1. Определение подвижности бетонной смеси.....	106
5.4.2. Определение жёсткости бетонной смеси.....	109
5.4.3. Определение расплыва бетонной смеси	111
6. ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПРОЧНОСТИ И КЛАССА БЕТОНА	114
6.1. Определение прочности и класса бетона при сжатии.....	114
6.2. Определение прочности и класса бетона при изгибе	116
7. КЕРАМИЧЕСКИЕ МАТЕРИАЛЫ. КЕРАМИЧЕСКИЙ КИРПИЧ.....	119
7.1. Основные понятия.....	119
7.2. Оценка дефектов внешнего вида и отклонений от номинального размера кирпича	121
7.3. Определение предела прочности при изгибе	125
7.4. Определение предела прочности при сжатии	126
7.5. Определение марки по морозостойкости	128

ВВЕДЕНИЕ

Для грамотного производства и применения материалов необходимо знать их свойства.

Вместе с понятием *свойства* материала используют также понятия: показатель свойства и единица измерения.

Свойство материала — это совокупность параметров, характеризующих все стороны материала. Чаще всего параметры касаются характеристики состояния материала либо отражают его реакцию на воздействие внешних факторов.

Показатель характеризует свойство материала, выражая его в цифровом значении в соответствии с выбранной *единицей измерения*. Определить численное значение показателя можно, выполнив испытание образца материала.

Испытание образца выполняется по утвержденной методике, детальное описание которой приведено в соответствующем стандарте. Описание метода испытания приводится в следующей последовательности:

1. подготовка образца,
2. подготовка прибора,
3. проведение испытания,
4. обработка результатов.

Испытанию предшествует процедура отбора проб и подготовки пробы к испытанию. Это очень важный этап испытания, который регламентируется либо в отдельном стандарте, либо в соответствующем разделе в ГОСТ на методы испытаний.

Тщательный подход к нормированию процедуры отбора проб и последовательных действий при проведении испытаний гарантирует получение достоверных и воспроизводимых значений показателей качества материала.

Только на основе достоверных данных о свойствах применяемых материалов возможно обеспечить их надежную работу на весь срок эксплуатации сооружения при оптимальных значениях экономической эффективности строительства.

1. ОБЩИЕ СВОЙСТВА МАТЕРИАЛОВ

Строительные материалы характеризуют, оценивают и сравнивают между собой по их свойствам.

Свойства – это способность материала реагировать на действующие внешние и внутренние факторы. Они могут проявляться в процессе изготовления, применения, эксплуатации материала.

Свойства характеризуются показателями, их числовыми значениями, которые выражены в единицах измерения.

Всю совокупность свойств строительных материалов подразделяют на физические, химические, механические, технологические, комплексные свойства.

Физические свойства — это свойства, которые характеризуют состояние материала (средняя, истинная и насыпная плотности, пористость) либо отражают его способность противостоять физическим воздействиям внешней среды в виде воды (гидрофизические свойства); в виде тепла, огня, холода (теплофизические свойства); радиационных излучений, совместному действию воды и мороза и другие.

Механические свойства характеризуют способность материала сопротивляться внешним силовым и внутренним напряжениям (в виде усадки, релаксации) без разрушения структуры.

Химические свойства материалов характеризуют их способность сопротивляться действию агрессивных сред (кислот, щелочей, растворов солей), которые приводят к разрушению материала в результате химического взаимодействия с веществом материала.

Технологические свойства характеризуют способность материала подвергаться технологическим операциям, в результате которых изменяется структура материала, фактура его поверхности, форма, размеры. К ним относятся дробимость, шлифуемость, гвоздимость, укрывистость, удобоукладываемость и др.

1.1. Определение средней плотности

Средняя плотность — это масса единицы объёма неоднородного материала в естественном состоянии (с порами и пустотами). Она вычисляется путём деления массы образца на его объём.

Для каждого материала устанавливают влажность, при которой определяется его плотность.

Средняя плотность измеряется в единицах измерения: г/см³, кг/л, т/м³, 1000 кг/м³. Значения средней плотности строительных материалов могут меняться от 5...10 кг/м³ (пенопласт) до 7980 кг/м³

(для стали); каменные материалы имеют среднюю плотность до 3000 кг/м³.

Для определения средней плотности материала надо знать массу образца и его объём в естественном состоянии с его возможными порами и пустотами.

Среднюю плотность вычисляют по формуле:

$$\rho_0 = \frac{m}{V_0}, \quad (1.1)$$

Где ρ_0 – средняя плотность материала в г/см³;

m – масса образца материала, г;

V_0 – общий объём материала, см³.

При определении средней плотности материалов возможны три случая:

- образец материала имеет правильную геометрическую форму: куб, призма, цилиндр;
- образец материала имеет неправильную случайную форму;
- материал состоит из большого количества мелких частиц – сыпучий материал (песок, щебень, цемент).

В каждом из этих случаев определение объёма образца выполняется разным способом.

1.1.1. Определение средней плотности образца правильной геометрической формы

Приборы:

- весы технические с погрешностью измерения 0,1 г;
- линейки измерительные или штангенциркуль;
- объёмомер.

Проведение испытания

Образцы материала предварительно просушивают до постоянной массы, взвешивают и определяют его массу m . образцы массой до 500 г взвешивают с точностью до 0,01 г, а массой более 500 г – с точностью до 1 г.

Для определения объёма образца правильной геометрической формы определяют его размеры.

Геометрические размеры образцов замеряют штангенциркулем с точностью до 0,1 мм и точностью 1 мм. Каждую грань образца измеряют в трёх местах и размер грани принимают как среднее арифметическое трёх измерений. На образцах цилиндрической формы измерение диаметра выполняют в двух перпендикулярных направлениях на трёх уровнях высоты. За результат принимают среднее арифметическое значение из шести замеров.

По этим замерам вычисляют объём образцов в естественном состоянии.

Объём образца V в форме куба рассчитывают по формуле:

$$V = a_{\text{ср}} \cdot b_{\text{ср}} \cdot h_{\text{ср}}, \quad (1.2)$$

где $a_{\text{ср}}$, $b_{\text{ср}}$, $h_{\text{ср}}$ - средние значение размеров граней образца, см.

Объём образца V в форме цилиндра рассчитывают по формуле:

$$V = \frac{(\pi \cdot d_{\text{ср}}^2 \cdot h_{\text{ср}})}{4} \quad (1.3)$$

где $\pi = 3,14$;

$d_{\text{ср}}$ – средний диаметр цилиндра;

$h_{\text{ср}}$ – средняя высота цилиндра.

Плотность материала вычисляют с точностью до 0,01 г/см³ как среднее значение трёх образцов. Примерные значения средней и истинной плотности некоторых материалов приведены в табл.1.1

Таблица 1.1

Материал	Средняя плотность материала, ρ_0 г/см ³	Истинная плотность материала, ρ г/см ³
Вода	1,0	1,0
Гранит	2,6...2,7	2,7...2,8
Известняк плотный	2,1...2,4	2,4...2,6
Бетон тяжёлый	1,8...2,5	2,7...2,8
Асфальтобетон	2,3...2,4	2,5...2,7
Кирпич	1,6...1,8	2,5...2,7
Древесина сосны	0,5...0,6	1,5...1,6
Сталь	7,80...7,85	7,80...7,85
Стекло	2,4...2,6	2,4...2,6
Минеральная вата	0,1...0,4	2,6...2,7
Пенопласт	0,02...0,06	1,3...1,4

1.1.2. Определение средней плотности образца неправильной формы

Приборы:

- весы технические с погрешностью измерения 0,1г;
- весы для гидростатического взвешивания или мерный цилиндр;
- линейки измерительные или штангенциркуль;
- объёмомер.

Проведение испытания

Образец материала неправильной формы взвешивают на весах с точностью до 0,01 г и определяют его массу m .

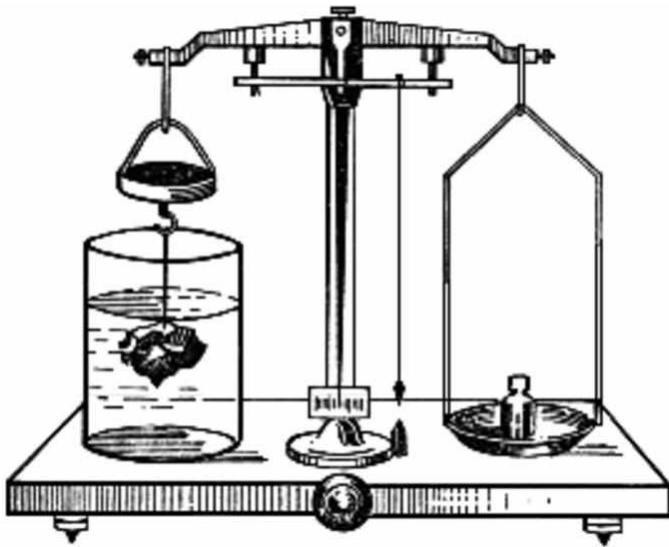


Рис. 1.1. Взвешивание образца гидростатическим способом

Объём образца неправильной формы определяют с помощью гидростатического взвешивания. Во избежание ошибки за счёт проникновения воды в поры образца, его предварительно покрывают слоем парафина. После этого определяют массу образца с покрытием парафина m_1 и вычисляют массу парафина $m_{\text{пар}}$.

$$m_{\text{пар}} = (m_1 - m)$$

Зная плотность парафина ($\rho_{\text{пар}} = 0,93 \text{ г/см}^3$), определяют объём парафина

$V_{\text{пар}} \text{ см}^3$, нанесённого на поверхность образца.

$$V_{\text{пар}} = \frac{m_{\text{пар}}}{\rho_{\text{пар}}}$$

Объём образца с парафином определяют после гидростатического взвешивания (рис. 1.1) по формуле:

$$(V + V_{\text{пар}}) = m_1 - m_2, \quad (1.4)$$

где: $(V + V_{\text{пар}})$ - объём образца, покрытого парафином, см^3 ;

m_1 - масса образца, покрытого парафином, взвешенного на воздухе, г,

m_2 - масса образца, покрытого парафином, взвешенного гидростатически, г.

Объём крупных образцов неправильной формы можно определить также с помощью объёмомера по объёму жидкости, вытесненной образцом, погружённым в объёмомер. Рабочая жидкость V_1 (вода, бензин, керосин) не должна взаимодействовать с образцом. Следует исключить возможность поглощения воды порами материала, покрыв поверхность образца парафином.

Погрузив образец, покрытый парафином в цилиндр с водой, находят объём воды в цилиндре с образцом V_2 .

Объём образца с парафином будет равен:

$$(V + V_{\text{пар}}) = V_2 - V_1, \quad (1.5)$$

где V_1 - объём воды в цилиндре до погружения образца, см^3 ;

V_2 – объём воды в цилиндре после погружения образца, см^3 .
 Зная объём образца с парафином ($V + V_{\text{пар}}$), см^3 , и объём парафина $V_{\text{пар}}$ см^3 , определяют объём образца:

$$V = (V + V_{\text{пар}}) - V_{\text{пар}}, \text{ см}^3 \quad (1.6)$$

1.2. Определение истинной плотности материала

Истинная плотность – это масса вещества в единице объёма в абсолютно плотном состоянии, без пор и пустот.

Чтобы определить истинную плотность материала следует его образец измельчить до степени разрушения структуры и пор.

Приборы:

- ступка с пестиком;
- технические весы;
- пикнометр;
- колба-объёмомер Ле Шателье;
- бюксы.

Проведение испытания:

Масса материала определяется взвешиванием порошка. Объём порошка определяется двумя способами.

Первый способ – с помощью пикнометра.

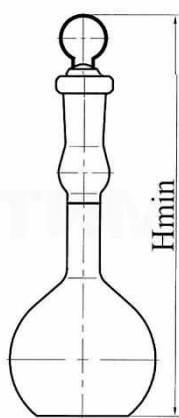


Рис. 1.2. Пикнометр

Навеску материала всыпают с помощью воронки в пикнометр вместимостью 100см^3 , после чего взвешивают

пикнометр с порошком (m_1).

Затем в пикнометр наливают инертную по отношению к порошку жидкость (воду, масло, керосин) и нагревают на песчаной бане в течение 15...20 мин. После этого пикнометр охлаждают до комнатной температуры и доливают жидкость до метки и взвешивают (m_3).

Затем, удалив из пикнометра жидкость и порошок, вновь заполняют пикнометр жидкостью до риски и взвешивают (m_4).

Истинную плотность ($\text{г}/\text{см}^3$) вычисляют по формуле:

$$\rho = \frac{(m_1 - m_2)\rho_{\text{ж}}}{(m_1 - m_2) - (m_3 - m_4)} \quad (1.7)$$

где m_1 – масса пикнометра с навеской порошка, г;

m_2 – масса пустого пикнометра;

m_3 – масса пикнометра с навеской порошка и жидкостью;

m_4 – масса пикнометра с жидкостью;

$\rho_{\text{ж}}$ – плотность жидкости, $\text{г}/\text{см}^3$.

Второй способ определения объёма порошка с помощью прибора Ле Шателье – стеклянной колбы с узким высоким горлом и

уширением в средней части, на котором нанесена метка, выше которой – шкала с ценой деления $0,1 \text{ см}^3$.

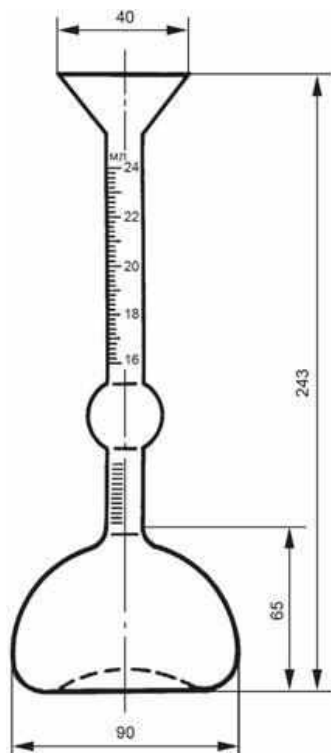


Рис.1.3. Прибор Ле Шателье

Бюкс заполняют порошком материала и взвешивают с точностью до $0,01 \text{ г}$ (m_1). Колбу-объёмомер заполняют жидкостью до метки, находящейся ниже уширения, и отмечают объём $V_1, \text{ см}^3$. Опыт проводится при температуре 20°C . Если температура отличается от требуемого значения, то прибор помещают в сосуд с водой требуемой температуры.

Порошок всыпают через воронку небольшими порциями до тех пор, пока уровень жидкости в приборе не достигнет деления в пределах шкалы $V_2, \text{ см}^3$. Остаток порошка в бюксе взвешивают ($m_2, \text{ г}$).

Для удаления пузырьков воздуха, попавшего в жидкость вместе с порошком, прибор поворачивают под наклоном в течение 10 мин.

Объём вытесненной жидкости есть абсолютный объём высыпаемого порошка

$$V_a = V_2 - V_1. \quad (1.8)$$

Истинную плотность исследуемого материала определяют по формуле:

$$\rho = \frac{(m_1 - m_2)}{V_a}, \text{ г/см}^3 \quad (1.9)$$

1.3. Определение пористости

Пористость – это степень заполнения объёма материала порами и пустотами. Определяется как отношение объёма пор к общему объёму материала.

Объём равен: $V_{\text{пор}} = V_0 - V_a$.

Пористость Π_0 равна:

$$\Pi_0 = \frac{V_{\text{пор}}}{V_0} = \frac{V_0 - V_a}{V_a} \cdot 100\% \quad (1.10)$$

где V_0 – общий объём материала, см^3 ;

V_a – абсолютный объём материала, см^3 .

На практике пользуются другой формулой.

Если естественный объём материала и объём вещества (абсолютный объём) выразить через массу материала и среднюю и истинную плотности по формулам (1.11), то формула для расчёта пористости примет вид (1.12).

$$V_0 = \frac{m}{\rho_0}, \quad V_a = \frac{m}{\rho} \quad (1.11)$$

$$P_0 = \left(1 - \frac{\rho_0}{\rho}\right) \cdot 100\% \quad (1.12)$$

От пористости зависят важнейшие свойства материалов, такие как плотность, прочность, водопоглощение, водонасыщение, водонепроницаемость, морозостойкость, теплопроводность и др.

1.4. Определение влажности

Влажность – процентное содержание влаги в материале по массе в естественном состоянии.

Состав приборов:

- технические весы;
- сушильный шкаф;
- эксикатор.

Проведение испытания

Выбранный образец помещают в стаканчик (бюкс) для взвешивания, масса которого известна и взвешивают вместе с ним.

После этого бюкс с образцом помещают в сушильный шкаф при температуре 105...110С и высушивают до постоянной массы. Перед каждым взвешиванием бюкс с образцом охлаждают, помещая в эксикатор на 30 мин. Масса образца считается постоянной, если два последовательных взвешивания дают одинаковый результат.

Влажность W , %, рассчитывается как отношение массы воды, содержащейся в материале, к массе сухого материала.

$$W = \frac{m_1 - m_2}{m_2} \cdot 100\% \quad (1.13)$$

где: m_1 – масса материала в естественно-влажном состоянии, г;
 m_2 – масса материала, высушенного до постоянной массы, г.

Влажность определяют как среднее арифметическое результатов испытания двух или трёх образцов, отличающихся не более чем на 0,1%.

1.5. Определение водопоглощения

Водопоглощение – это способность материала поглощать и удерживать в себе воду.

Состав приборов:

- технические весы;
- сушильный шкаф;
- ванна с водой.

Проведение испытания

а) испытание щебня (гравия)

Для испытания выбирают пять образцов произвольной формы размером 40...80 мм, очищают металлической щеткой от рыхлых частиц и пыли, промывают и высушивают до постоянной массы m_1 .

Образцы помещают в сосуд с водой комнатной температуры так, чтобы уровень воды в сосуде был выше верха образца не менее чем на 20 мм. В таком положении образцы выдерживают в течение 48 ч., после чего их извлекают, удаляют влагу с поверхности тканью и каждый образец взвешивают (масса воды, вытекающей из зерен щебня на чашу весов, включается в массу пробы) m_2 .

б) испытание бетона, кирпича

Образцы материала высушивают до постоянной массы в сушильном шкафу при температуре 105°C.

Затем определяют массу сухих образцов и их объём. Образцы помещают в ванну на уложенные предварительно стеклянные палочки, чтобы нижняя поверхность образцов не соприкасалась с дном ванны. В ванну наливают воду на 1/3 высоты образцов и выдерживают в течение 1 суток (температура воды 20°C). затем уровень воды поднимают до 2/3 высоты и снова выдерживают 1 сутки. На третий день уровень воды поднимают выше верха образцов на 2 см и в таком положении выдерживают еще сутки.

Постепенное повышение уровня воды обеспечивает свободный выход воздуха из пор материала и способствует более полному заполнению пор водой.

По истечении 3 суток с начала опыта образцы извлекают из ванны, вытирают тканью и взвешивают.

Чтобы проверить, закончилось ли поглощение воды, образец снова погружают в воду на 24 ч. И вновь взвешивают. Разница между результатами предыдущего и контрольного взвешивания не должна превышать 1%.

Водопоглощение определяют как отношение массы поглощенной воды к массе сухого материала – водопоглощение по массе, W_{Π} , %

$$W_{\Pi} = \frac{m_2 - m_1}{m_1} \cdot 100\%, \quad (1.14)$$

Или как отношение объёма поглощённой воды (численно равного его массе, т. к. плотность воды = 1 г/см³) к объёму сухого материала – водопоглощение по объёму, W_V , %

$$W_V = \frac{m_2 - m_1}{V} \cdot 100\%, \quad (1.15)$$

где: m_1 – масса сухого материала, г; m_2 – масса насыщенного водой материала, г; V – объём сухого материала, см³.

1.6. Определение водонасыщения

Водонасыщение – это количество воды, которое может поглотить материал при вакууме или повышенном давлении.

Состав приборов:

- весы лабораторные;
- вакуумная установка;
- термометр с ценой деления 1°С;
- сосуд для термостатирования ёмкостью не менее 3л.

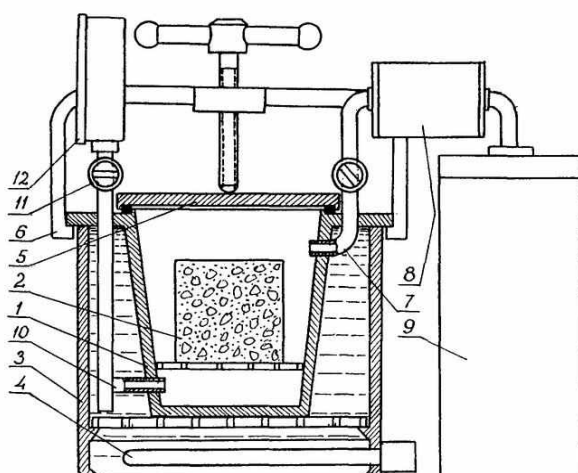


Рис.1.4. Вакуумная установка: 1 – вакуум-сосуд, 2 – образец, 3 – нагреватель, 4 – нагревательный элемент, 5 – крышка, 6 – крепеж, 7 – патрубок, 8 – конденсатор, 9 – насос, 10 – водоспуск, 11 – вентиль, 12 – вакуумметр.

Проведение испытания

Образцы, подготовленные также как в п.1.4 взвешивают (m_1) и помещают в сосуд с водой с температурой 20°С. уровень воды над поверхностью образцов должен быть не менее 3 см. сосуд помещают в вакуумную установку, где создают и поддерживают давление не более 2000 Па (15 мм рт.ст.) в течение, например, для асфальтобетонных образцов 1 ч. Затем давление доводят до атмосферного и образцы выдерживают в том же сосуде с водой с температурой 20°С в течение 30 мин. После этого образцы извлекают

из сосуда и взвешивают (m_2).

Водонасыщение $W_{нас}$, %, вычисляют по той же формуле:

$$W_{нас} = \frac{m_2 - m_1}{m_1} \cdot 100\%, \quad (1.16)$$

1.7. Определение морозостойкости

Морозостойкость – способность насыщенного водой материала сохранять физико-механические свойства при попеременном замораживании и оттаивании.

Морозостойкость строительного материала характеризуется маркой по морозостойкости: числом циклов попеременного замора-

живания и оттаивания образцов бетона, после которых сохраняются первоначальные физико-механические свойства в нормируемых пределах (как правило, потеря массы или прочности).

Существует разница в определении морозостойкости щебня и бетона; в первом случае нормирование по потере массы, во втором – по потере прочности.

Испытание на морозостойкость щебня выполняется в порядке, указанном в межгосударственном стандарте **ГОСТ 8269.0–97 «Щебень и гравий из плотных горных пород и отходов промышленного производства для строительных работ. Методы физико-механических испытаний»** (п. 4.12).

Методы испытания морозостойкости щебня подразделены на базовый и ускоренный.

В настоящее время существует другой нормативный документ для определения морозостойкости щебня – межгосударственный стандарт **ГОСТ 33109–2014 «Дороги автомобильные общего пользования Щебень и гравий из горных пород»**. Испытание проводится аналогично описанному в данном разделе, однако сита используются с квадратной формой ячейки и отличающихся размеров отверстий.

Испытание на морозостойкость бетона проводятся по положениям межгосударственного стандарта **ГОСТ 10060–2012 «БЕТОНЫ. Методы определения морозостойкости»**.

Нормативными документами установлены следующие методы определения морозостойкости:

- ✓ **базовые методы** при многократном замораживании и оттаивании:
 - первый – для всех видов бетонов, кроме бетонов дорожных и аэродромных покрытий и бетонов конструкций, эксплуатирующихся в условиях воздействия минерализованной воды,
 - второй – для бетонов дорожных и аэродромных покрытий и для бетонов конструкций, эксплуатирующихся в условиях воздействия минерализованной воды;
- ✓ **ускоренные методы** при многократном замораживании и оттаивании:
 - второй – для всех видов бетонов, кроме бетонов дорожных и аэродромных покрытий и бетонов конструкций, эксплуатирующихся в условиях воздействия минерализованной воды, легких бетонов марок по средней плотности менее D1500,
 - третий – для всех видов бетонов, кроме легких бетонов марок по средней плотности менее D1500.

Условия испытаний при определении морозостойкости бетона приведены в табл.1.2.

Таблица 1.2

Метод и марка бетона по МРЗ	Условия испытания			Вид бетона
	Среда насыщения	Среда и Т°С замораживания	Среда и Т°С оттаивания	
Базовые методы				
Первый F1	Вода	Воздушная, минус 18°С	Вода, 20°С	Все виды бетонов, кроме бетонов дорожных и аэродромных покрытий и бетонов конструкций, эксплуатирующихся при действии минерализованной воды
Второй F2	5%-ный водный раствор хлорида натрия	Воздушная, минус 18°С	5%-ный водный раствор хлорида натрия, 20°С	Бетоны дорожных и аэродромных покрытий и бетоны конструкций, эксплуатирующихся при действии минерализованной воды
ускоренные методы				
Второй	5%-ный водный раствор хлорида натрия	Воздушная, минус 18°С	5%-ный водный раствор хлорида натрия, 20°С	Все виды бетонов, кроме бетонов дорожных и аэродромных покрытий, бетонов конструкций, эксплуатирующихся при действии минерализованной воды, и легких бетонов марок по средней плотности менее D1500
Третий	5%-ный водный раствор хлорида натрия	5%-ный водный раствор хлорида натрия, минус 50°С	5%-ный водный раствор хлорида натрия, 20°С	Все виды бетонов, кроме легких бетонов марок по средней плотности менее D1500

1.7.1. Определение морозостойкости щебня

Состав приборов:

- камера морозильная, обеспечивающая достижение и поддержание температуры до минус (20±2) °С.
- шкаф сушильный.
- весы настольные циферблатные или лабораторные;
- сита из стандартного набора;
- ванна для насыщения водой и оттаивания щебня (гравия).
- сосуд металлический.

Подготовка к испытанию

Каждую фракцию щебня испытывают на морозостойкость отдельно. Фракции, содержащиеся в щебне в количестве менее 5% по массе, на морозостойкость не испытывают.

Для испытания берут от каждой фракции две аналитические пробы. Масса каждой пробы должна быть не менее:

1,0кг	– для щебня (гравия) размером фракции	5...10 мм
1,5, кг	– для щебня (гравия) размером фракции	10...20 мм
2,5кг	– для щебня (гравия) размером фракции	20...40 мм
5,0кг	– для щебня (гравия) размером фракции	40...80 мм

Зерна крупнее 70(80) мм дробят и испытывают фракцию размером св. 40 до 70(80) мм.

Полученные пробы щебня (гравия) промывают и высушивают до постоянной массы.

Проведение испытания

Аналитическую пробу щебня данной фракции равномерно насыпают в металлический сосуд и заливают водой, имеющей температуру 20°C.

Через 48 ч сливают воду из сосуда, помещают щебень в морозильную камеру и доводят температуру в камере до минус 18°C. Продолжительность цикла замораживания щебня в камере при установившейся температуре не выше минус 16°C должна составлять 4 ч.

После этого сосуд со щебнем помещают в ванну с проточной или сменяемой водой с температурой 20°C и выдерживают в ней при этой температуре до полного оттаивания щебня, но не менее 2 ч. Далее циклы испытания повторяют.

После 15, 25 и каждых последующих 25 циклов попеременного замораживания и оттаивания пробу щебня высушивают до постоянной массы, просеивают через контрольное сито, на котором она полностью оставалась перед испытанием.

Зерна щебня фракции св. 40 до 70(80) мм, имеющие свежую поверхность раскола и оставшиеся на сите с размером отверстий 40 мм, относят к неморозостойким. Их массу не включают в массу остатка на контрольном сите.

Обработка результатов

Потерю массы пробы, %, определяют по формуле

$$\Delta m = \frac{m - m_1}{m} \cdot 100, \quad (1.17)$$

где: m – масса пробы до испытания, г;

m_1 – масса остатка на сите после соответствующего цикла замораживания и оттаивания, г.

За результат испытания принимают среднеарифметическое значение двух параллельных испытаний.

При испытании щебня (гравия), состоящего из смеси фракций, значение Δm вычисляют по соответствующей формуле.

Если потеря массы при данном числе циклов замораживания и оттаивания не превышает допускаемую, испытания продолжают в течение последующих 25 циклов.

Если потеря в массе превысила допускаемый предел, испытание прекращают и морозостойкость данной фракции щебня характеризуют предыдущим числом циклов замораживания и оттаивания, при котором потеря массы щебня не превышает допускаемую.

Ускоренное определение морозостойкости щебня

Морозостойкость щебня определяют по потере массы пробы при погружении в насыщенный раствор сульфата натрия и последующем высушивании.

Состав приборов:

- весы настольные циферблатные лабораторные;
- шкаф сушильный.
- сита из стандартного набора;
- сосуд металлический для насыщения щебня (гравия) раствором сульфата натрия;
- натрий сернокислый (натрия сульфат 10-водный).

Подготовка к испытанию

Каждую фракцию щебня испытывают отдельно. Аналитическую пробу готовят.

Раствор сульфата натрия готовят следующим образом. Отвешивают 185 г безводного сернокислого натрия или 420 г кристаллического сернокислого натрия и растворяют в 1 л подогретой до 40°C дистиллированной воды путем постепенного добавления в нее сульфата натрия при тщательном перемешивании до насыщения раствора, охлаждают раствор до комнатной температуры, сливают в бутылку и оставляют на 2 сут.

Проведение испытания

Аналитическую пробу щебня насыпают в сосуд в один слой, заливают раствором сульфата натрия так, чтобы щебень был погружен полностью в раствор, и выдерживают в нем в течение 20 ч при комнатной температуре.

Затем раствор сливают (используют повторно), а сосуд со щебнем помещают на 4 ч в сушильный шкаф, в котором поддерживают температуру 105°C. После этого щебень охлаждают до комнатной температуры и вновь заливают раствором.

Последующие циклы испытания включают выдерживание щебня в течение 4 ч в растворе сульфата натрия, сушку в течение 4 ч и охлаждение до комнатной температуры.

После 3, 5, 10 и 15 циклов пробу щебня промывают горячей водой для удаления сульфата натрия, высушивают до постоянной массы и просеивают через сито с отверстиями размером .

Зерна щебня фракции св. 40 до 70 мм, имеющие свежую поверхность раскола и оставшиеся на сите с отверстиями диаметром 40 мм, относят к неморозостойким. Их массу не включают в массу остатка на контрольном сите.

Обработка результатов

Остаток на сите взвешивают и определяют потерю массы щебня (гравия), Δm %, по формуле

$$\Delta m = \frac{m - m_1}{m} \cdot 100, \quad (1.18)$$

где m – масса пробы до испытания, г;

m_1 – масса остатка на сите после соответствующего цикла испытания, г.

За результат принимают среднеарифметическое значение двух параллельных испытаний.

При испытании щебня, состоящего из смеси фракции, потерю массы определяют по соответствующей формуле как средневзвешенное значение результатов испытаний отдельных фракций.

1.7.2. Определение морозостойкости бетона (первый базовый метод ГОСТ 10061.0–2012)

Состав приборов:

– оборудование для изготовления, хранения и испытания на прочность образцов бетона;

– морозильная камера, обеспечивающая достижение и поддержание температуры замораживания минус 18°C; Неравномерность температурного поля в воздухе полезного объема камеры не должна превышать 3°C.

– ванна для насыщения образцов водой температурой 20°C;

– ванна для оттаивания образцов, оборудованная устройством, обеспечивающим поддержание температуры воды 20°C;

– деревянные подкладки треугольного сечения высотой 50 мм;

– лабораторные весы с погрешностью взвешивания ± 1 г;

– сетчатый контейнер для размещения основных образцов;

– сетчатый стеллаж для размещения образцов в морозильной камере;

– вода с содержанием растворимых солей не более 2000 мг/л.

Подготовка образцов

Размеры образцов для испытания принимают 100х100х100 или 150х150х150мм. Количество образцов принимают по таблице 1.3.

Таблица 1.3

Метод определения морозостойкости	Минимальное число образцов в серии, шт.	
	контрольных	основных
первый	6	12
второй	6	12
третий	6	6

Образцы для испытания не должны иметь внешних дефектов. Разброс значений плотности отдельных образцов в серии до их насыщения не должен превышать 30 кг/м³.

Массу образцов определяют с погрешностью не более 0,1%.

Контрольные образцы бетона перед испытанием на прочность, а основные образцы перед замораживанием насыщают водой или 5% водным раствором хлорида натрия температурой 20°С.

Для насыщения образцы погружают в воду или раствор хлорида натрия на 1/3 их высоты на 24 ч, затем уровень воды или раствора повышают до 2/3 высоты образцов и выдерживают в таком состоянии еще 24 ч, после чего образцы полностью погружают в воду или раствор на 48 ч так, чтобы уровень жидкости был выше верхней грани образца не менее чем на 20 мм.

Проведение испытаний

Насыщенные водой контрольные образцы извлекают из воды, обтирают влажной тканью и испытывают на сжатие с обработкой результатов.

Насыщенные водой основные образцы извлекают из воды, обтирают влажной тканью и помещают в морозильную камеру в контейнере или устанавливают на сетчатый стеллаж камеры так, чтобы расстояние между образцами, стенками контейнера и расположенными выше стеллажами было не менее 20 мм. Включают камеру и понижают температуру. Началом замораживания считают момент установления в камере температуры минус 16°С.

Число циклов замораживания и оттаивания, после которых определяют прочность при сжатии образцов бетона, принимают по таблице 1.4.

Образцы испытывают по режиму, указанному в табл. 1.5.

Таблица 1.4

**Соотношение между числом циклов испытаний и маркой
морозостойкости**

Методы		Вид бетона	Марки бетона по морозостойкости или и число циклов, после которого проводят промежуточное испытание (над чертой) и число циклов, соответствующее марке бетона по морозостойкости (под чертой)												
Базовый	Первый	Все виды бетонов, <i>кроме бетонов дорожных и аэродромных покрытий</i> и бетонов конструкций, эксплуатирующихся в минерализованной воде	F ₁ 25	F ₁ 35	F ₁ 50	F ₁ 75	F ₁ 100	F ₁ 150	F ₁ 200	F ₁ 300	F ₁ 400	F ₁ 500	F ₁ 600	F ₁ 800	F ₁ 1000
			<u>1</u> <u>5</u> 2 5	<u>2</u> <u>5</u> 3 5	<u>35</u> <u>50</u> 50	<u>50</u> <u>75</u> 75	<u>75</u> <u>100</u> 100	<u>100</u> <u>150</u> 150	<u>150</u> <u>200</u> 200	<u>200</u> <u>300</u> 300	<u>300</u> <u>400</u> 400	<u>400</u> <u>500</u> 500	<u>500</u> <u>600</u> 600	<u>600</u> <u>800</u> 800	<u>800</u> <u>1000</u> 1000
	Второй	Бетоны дорожных и аэродромных покрытий и бетоны конструкций, эксплуатирующихся в минерализованной воде	F ₂ 7 5	F ₂ 10 0	F ₂ 15 0	F ₂ 20 0	F ₂ 30 0	F ₂ 40 0	F ₂ 50 0	F ₂ 60 0	F ₁ 80 0	F ₁ 100 0			
			-	-	-	<u>50</u> 75	<u>75</u> 100	<u>100</u> 150	<u>150</u> 200	<u>200</u> 300	<u>300</u> 400	<u>400</u> 500	<u>500</u> 600	<u>600</u> 800	<u>800</u> 1000
Ускоренный	Второй	Все виды бетонов, <i>кроме бетонов дорожных и аэродромных покрытий</i> , легких бетонов со средней плотностью менее D1500	-	-	F ₁ 5 0	F ₁ 7 5	F ₁ 10 0	F ₁ 15 0	F ₁ 20 0	F ₁ 30 0	F ₁ 40 0	F ₁ 50 0	F ₁ 60 0	F ₁ 80 0	F ₁ 100 0
			-	-	-	-	-	<u>20</u> 30	<u>30</u> 45	<u>45</u> 75	<u>75</u> 110	<u>110</u> 150	<u>150</u> 200	<u>200</u> 300	<u>300</u> 450
	Третий	Все виды бетонов, <i>кроме бетонов дорожных и аэродромных покрытий</i> , и легких бетонов со средней плотностью менее D1500	F ₁ 75	F ₁ 100	F ₁ 150	F ₁ 200	F ₁ 300	F ₁ 400	F ₁ 500	F ₁ 600	F ₁ 800	F ₁ 1000			
			-	-	-	2	3	4	5	8	12	15	19	27	35
		Бетоны дорожных и аэродромных покрытий и бетоны конструкций, эксплуатирующихся в минерализованной воде	F ₂ 100	F ₂ 150	F ₂ 200	F ₂ 300	F ₂ 400	F ₂ 500	F ₂ 600	F ₂ 800	F ₂ 1000				
			-	-	-	-	5	10	20	37	55	80	105	155	205

Таблица 1.5

Режимы испытаний образцов

Размер образца, мм	Режим испытаний			
	Замораживание		Оттаивание	
	время, ч не менее	температура, °С	время, ч не менее	температура, °С
100x100x100	2,5	минус 18	2	20
150x150x150	3,5		3	

Минимальную продолжительность замораживания образцов легких бетонов марок по средней плотности D1500...D1200 увеличивают на 0,5 ч, марок D1200...D1000 - на 1 ч, марок D900 и менее - на 1,5 ч.

Образцы после замораживания оттаивают в ванне с водой температурой 20°С. При оттаивании образцы размещают на расстоянии друг от друга, стенок и днища ванны не менее чем на 20 мм, слой воды над верхней гранью образца должен быть не менее 20 мм.

Воду в ванне для оттаивания образцов меняют через каждые 100 циклов переменного замораживания и оттаивания.

Основные образцы после заданного числа циклов замораживания и оттаивания извлекают из воды, обтирают влажной тканью и испытывают на сжатие.

При появлении в процессе испытаний образцов трещин и (или) сколов, и (или) шелушения ребер испытания прекращают.

Обработка результатов

1. Рассчитывают изменение массы образцов Δm , %, по формуле

$$\Delta m = \frac{m - m_1}{m} \cdot 100, \quad (1.19)$$

где: m – масса образца до замораживания и оттаивания, г;

m_1 – масса образца после замораживания и оттаивания, г.

Среднее максимально допустимое уменьшение массы образцов не должно превышать 2%.

Обработку результатов определения прочности контрольных и основных образцов выполняют в следующем порядке.

2. Рассчитывают среднее значение прочности по формуле

$$X_{\text{ср}} = \frac{\sum X_i}{n} \quad (1.20)$$

где X_i – прочность одного образца, МПа;

i – число образцов.

3. Рассчитывают среднеквадратическое отклонение по формуле:

$$\sigma_n = \frac{W_m}{\alpha} \quad (1.21)$$

где: W_m – размах единичных значений прочности бетона в серии, определяемый как разность между максимальным и минимальным единичными значениями прочности, МПа;

α – коэффициент, зависящий от числа единичных значений прочности бетона в серии, принимают по табл.1.6.

Таблица 1.6

Число единичных значений	2	3	4	5	6
Коэффициент α	1,13	1,69	2,06	2,33	2,5

Коэффициент вариации прочности рассчитывают по формуле

$$V_m = \frac{\sigma_n}{X_{cp}} \quad (1.22)$$

4. Определяют нижнюю границу доверительного интервала для контрольных образцов X_{min}^I по формуле

$$X_{min}^I = X_{cp}^I - t_{\beta} \cdot \sigma_n \quad (1.23)$$

и X_{min}^{II} для основных образцов после замораживания и оттаивания по формуле

$$X_{min}^{II} = X_{cp}^{II} - t_{\beta} \cdot \sigma_n^{II} \quad (1.24)$$

где t_{β} – критерий Стьюдента при доверительной вероятности 0,95, принимаемый по табл.1.7 в зависимости от числа испытываемых образцов.

Таблица 1.7

Критерий Стьюдента

Число образцов	4	5	6
Критерий Стьюдента	3,182	2,776	2,570

5. Образцы считают выдержавшими испытание на морозостойкость, если соблюдается соотношение

$$X_{min}^{II} \geq 0,9X_{min}^I \quad (1.25)$$

Марку бетона по морозостойкости принимают по таблице 1.3 с учетом числа циклов, при котором сохраняется соотношение,

уменьшение массы не превышает 2% и на образцах отсутствуют трещины, сколы, шелушение ребер.

Для бетона покрытий автомобильных дорог и аэродромов не допускается шелушение поверхности образцов.

Для легкого бетона марок по морозостойкости F50 и менее критерием оценки результатов испытания является уменьшение средней прочности на сжатие основных образцов по сравнению со средней прочностью контрольных образцов.

Уменьшение средней прочности легкого бетона не должно превышать 15%, при этом шелушение ребер и поверхности образцов должно отсутствовать.

1.7.3. Определение морозостойкости бетона (второй базовый метод ГОСТ 10061.0–2012)

Испытание по второму базовому методу проводят замораживанием на воздухе образцов, насыщенных раствором хлорида натрия, и последующим их оттаиванием в растворе хлорида натрия (табл.1.2).

Состав приборов:

- средства испытания и вспомогательные устройства по 1.6.1;
- хлорид натрия;

Подготовка к проведению испытания:

Образцы бетона изготавливают в формах.

Основные и контрольные образцы перед испытанием насыщают 5% водным раствором хлорида натрия.

Контрольные образцы извлекают из раствора, обтирают влажной тканью, взвешивают и испытывают на сжатие.

Основные образцы после насыщения подвергают испытаниям на замораживание и оттаивание по режиму, приведенному в табл. 1.5.

Проведение испытаний

Основные образцы помещают в морозильную камеру. Началом замораживания считают момент установления в камере температуры минус 16°C.

Число циклов замораживания и оттаивания, после которых определяют прочность при сжатии образцов бетона, принимают по табл.1.4. Водный раствор хлорида натрия в ванне для оттаивания меняют через каждые 100 циклов.

Основные образцы после проведения заданного числа циклов замораживания и оттаивания осматривают. Материал, отделяющийся от образца, снимают жесткой капроновой щеткой. Образцы обтирают влажной тканью, взвешивают и испытывают на сжатие.

Обработку результатов испытаний проводят по 1.6.2.

Ускоренные методы определения морозостойкости

Второй метод

Испытание по второму ускоренному методу проводят замораживанием на воздухе образцов, насыщенных хлорида натрия, и последующим их оттаиванием в растворе хлорида натрия.

Ускоренные испытания по второму методу проводят по режиму, приведенному в таблице 1.1, 1.4 и подразделе 1.6.1.

Третий метод

Примечание. При испытании по третьему ускоренному методу для насыщения, замораживания и оттаивания образцов применяют водный раствор хлорида натрия (табл. 1.1).

Средства испытания:

Средства испытания и вспомогательные устройства – 1.6.1.

Морозильная камера должна обеспечивать достижение и поддержание температуры воздуха минус 50°С. Неравномерность температурного поля в воздухе полезного объема камеры не должна превышать 3°С.

Емкости из коррозионностойкого материала для замораживания в растворе хлорида натрия каждого образца. Размер емкости должен обеспечивать зазор между гранями образца и стенками емкости не менее 10 мм.

Подготовка к проведению испытаний

Подготовку к проведению испытаний проводят по 1.6.1.

Проведение испытаний

Испытания проводят по 1.6.1 со следующими отличиями:

– основные образцы помещают в морозильную камеру в закрытых сверху емкостях, наполненных 5% водным раствором хлорида натрия, так, чтобы расстояние между стенками емкостей и стенками емкостей и камеры было не менее 50 мм;

– температуру в закрытой камере понижают до минус 50°С и поддерживают в течение не менее 2,5 ч.

– затем температуру в камере повышают до температуры минус 10°С в течение 1,5 ч, после чего образцы размерами 100x100x100 мм оттаивают в 5%-ном водном растворе хлорида натрия температурой 20°С в течение не менее 2,5 ч, образцы размерами 150x150x150 мм – в течение не менее 3,5 ч. Водный раствор хлорида натрия меняют в емкостях через каждые 20 циклов.

После заданного числа циклов основные образцы осматривают. Материал, отделяющийся от образца, снимают жесткой капроновой

щеткой. Образцы обтирают влажной тканью, взвешивают и испытывают на сжатие.

Обработка результатов испытаний:

Обработку результатов испытаний выполняют по 1.6.1.

Марку бетона по морозостойкости принимают по таблице 1.4 с учетом числа циклов, при котором сохраняется соотношение, уменьшение массы образцов не превышает 2%, отсутствуют трещины, сколы и шелушение ребер.

1.8. Определение прочности

В зависимости от условий работы в инженерных конструкциях строительные материалы могут воспринимать воздействие статических и динамических нагрузок. В результате материал может подвергаться сжатию, растяжению, изгибу, срезу, кручению, что обуславливает его деформирование и разрушение.

Для характеристики механических свойств материалов определяют пределы прочности при различных видах напряжённого состояния.

Показатель прочности зависит от формы и размера образца. С увеличением размера образца показатели прочности уменьшаются.

Изменения условий испытаний (снижение скорости нагружения, увлажнение или нагрев) также могут приводить к изменению показателей прочности.

Строительные материалы большей частью хорошо сопротивляются сжимающим напряжениям. Имеет значение направление приложения воздействия. Например, образцы со слоистой структурой изготавливают таким образом, чтобы оси сжатия были перпендикулярны слоям материалов, образцы древесины имеют разную прочность на сжатие вдоль либо поперек волокон.

1.8.1. Определение предела прочности при сжатии

Прочность – это способность материала сопротивляться действию внешних сил, не разрушаясь.

При действии внешних сил в материале возникают напряжения, которые равны нагрузке в кгс (Н), приходящейся на 1см^2 (м^2) первоначальной площади поперечного сечения образца.

Пределом прочности называют напряжение, возникающее при разрушении материала.

Для определения предела прочности при сжатии используют образцы правильной геометрической формы (обычно куб, цилиндр).

Сущность метода определения прочности при сжатии заключается в измерении сжимающего усилия, вызывающего разрушение образца при соответствующих условиях испытания.

Состав приборов:

- гидравлический пресс;
- линейка.

Проведение испытания:

В центре опорной плиты установки для испытания устанавливают испытываемый образец, затем подводят верхнюю плиту прессы. Шкалу силоизмерителя прессы выбирают так, чтобы значение максимального разрушающего усилия находилось в интервале 20...80% максимально допускаемой шкалы.

Убедившись в правильности установки образца, включают насос прессы и прикладывают равномерно распределенное усилие к образцу. Скорость увеличения усилия должна быть 0,1...1,0 МПа/с. При наибольшем усилии в момент разрушения образца стрелка силоизмерителя останавливается, а затем начинает двигаться обратно. Этот момент следует зафиксировать.

Обработка результатов испытания

Предел прочности при сжатии рассчитывают, как отношение максимального разрушающего давления на первоначальную площадь поперечного сечения образца по формуле:

$$R = \frac{P_{max}}{F} \quad (1.26)$$

где: R – предел прочности при сжатии, кгс/см²;

P_{max} – разрушающее давление, кгс (Н);

F - первоначальная площадь поперечного сечения, см² (м²).

Каждый материал испытывают на трёх образцах. За окончательный результат принимают среднее арифметическое значение предела прочности трёх образцов.

1.8.2 Определение предела прочности при изгибе

Состав приборов:

- Пресс гидравлический;
- приспособление для испытания на изгиб;
- Металлическая линейка.

Подготовка к испытанию

Предел прочности при изгибе определяют на образцах-балочках. Для каждого вида материала размеры образцов устанавливаются соответствующими стандартами.

Для определения прочности при изгибе цементных растворов образцы-балочки имеют размер 4x4x16 см, бетонов – 10x10x40 см, 15x15x60 см, 20x20x80 см, древесины – 2x2x30 см.

На нижнюю плиту пресса устанавливают приспособление для испытания на изгиб, имеющее две опоры в виде полуваляков. Пред-

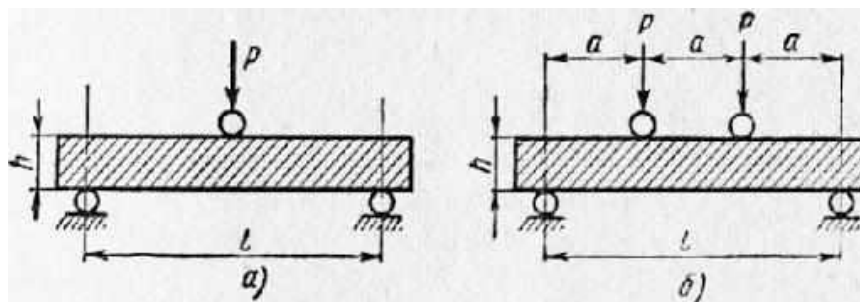


Рис.1.5. Схема испытания для определения предела прочности при изгибе: а) цементного раствора; б) бетона

варительно измеренные и размеченные в местах установки на опоры, образцы устанавливают на опоры и нагружают в зависимости от вида материала одной по середине или двумя сосредоточенными силами, равно отстоящих от опор и одна от другой.

Проведение испытания

Нагружение образца ведётся с определённой скоростью в зависимости от вида материала (например, для бетона со скоростью 0,5 кгс/см² (0,05 МПа) в секунду.

Образец доводят до разрушения, определяют разрушающую нагрузку и вычисляют предел прочности при изгибе:

– при одной сосредоточенной силе по формуле:

$$R_{\text{изг}} = \frac{3 \cdot P_{\text{max}} \cdot l}{2 \cdot b \cdot h^2} \quad (1.28)$$

– при двух сосредоточенных силах по формуле:

$$R_{\text{изг}} = \frac{P_{\text{max}} \cdot l}{b \cdot h^2} \quad (1.29)$$

– при двух сосредоточенных силах по формуле:

$$R_{\text{изг}} = \frac{P_{\text{max}} \cdot l}{b \cdot h^2} \quad (1.30)$$

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

P_{max} – разрушающее давление, кгс (Н);

l – расстояние между опорами, см;

b, h – размеры поперечного сечения, соответственно, ширина, высота, см.

Каждый материал испытывают на трёх образцах. За окончательный результат принимают среднее арифметическое значение предела прочности трёх образцов.

1.9. Определение истираемости

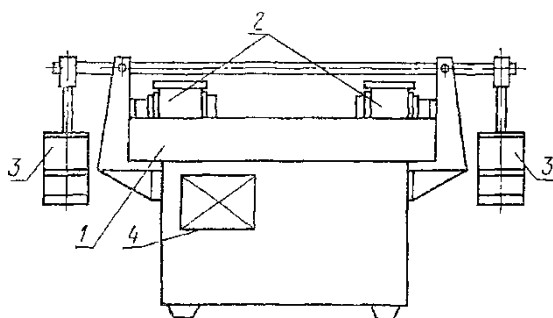
Истираемость – способность материала сопротивляться действию касательных (истирающих) сил. В ходе испытания на истираемость происходит потеря образца материала в объёме и первоначальной массе, отнесённой к площади поверхности истирания.

Материалы, подвергшиеся этому испытанию, применяют для устройства полов, тротуаров, дорожных покрытий. К ним относятся бетоны, природные каменные материалы, растворы, полимерные материалы для устройства полов, керамическая плитка.

Образцы для испытания на истираемость должны иметь правильную геометрическую форму.

Состав приборов:

- круг истирания лабораторный;
- весы технические;
- штангенциркуль;
- абразивный порошок.



*Рис.1.6. Круг истирания ЛКИ:
1 – истреющий диск, 2 – образцы,
3 – нагружающее устройство,
4 – счетчик оборотов*

Круги истирания имеют съёмный вращающийся диск, изготовленный из чугуна. Скорость вращения истреющего диска под нагрузкой должна составлять 30 об/мин. Круг истирания должен быть оборудован приспособлениями для свободной (в вертикальной плоскости) установки образцов и их нагружения вертикальной нагрузкой, а также счётчиком оборотов с автоматическим выключением истреющего диска через каждые 30 м пути истирания.

В качестве абразива применяют шлифовальное зерно 16 или стандартный песок.

Испытание бетона проводят на воздушно-сухих образцах.

Истиранию подвергают нижнюю грань образца. Перед испытанием образцы взвешивают с точностью до 0,1 г и измеряют площадь истираемой грани. Неплоскостность поверхности истираемой грани не должна превышать 0,05 мм на 100 мм длины. Боковые грани об-

Проведение испытания

Для испытания бетона готовят два образца-куба с ребром 70 мм или два цилиндра диаметром и высотой 70 мм. Определяют массу образцов и их размеры с погрешностью не более 0,2%.

Круги истирания имеют съёмный вращающийся диск, изготовленный из чугуна. Скорость вращения истреющего диска под нагрузкой

разцов-кубов, перпендикулярные истираемой грани, перед испытанием нумеруют цифрами 1,2,3 и 4 и в последовательности этой нумерации образец поворачивают при проведении испытаний.

Образцы устанавливают в специальные гнезда круга истирания и проверяют возможность свободного перемещения образцов в вертикальной плоскости. К каждому образцу прикладывают сосредоточенную вертикальную нагрузку величиной 300 Н (30 кгс). На истирающий диск равномерным слоем насыпают первую порцию абразивного материала (20 г), включают привод круга и производят истирание. Через каждые 30 м пути истирания, пройденного образцами (28 оборотов), истирающий диск останавливают. С него удаляют остатки абразивного материала и истёртого в порошок бетона, насыпают новую порцию абразива и снова включают привод круга.

Указанную операцию повторяют 5 раз, что составляет 1 цикл испытания (150 м пути испытания). После каждого цикла испытания образец вынимают из гнезда, поворачивают на 90° в горизонтальной плоскости и проводят следующие циклы испытаний. Всего проводят 4 цикла испытаний для каждого образца (общий путь истирания равен 600 м).

После 4 циклов испытания образец вынимают из гнезда, обтирают сухой тканью и взвешивают.

Истираемость бетона на круге истирания $1, \text{ г/см}^2$, характеризующую потерей массы образца, определяют с погрешностью $0,1 \text{ г/см}^2$ по формуле:

$$G_1 = \frac{m_1 - m_2}{F} \quad (1.30)$$

где: m_1 – масса образца до испытания, г;

m_2 – масса образца после 4-х циклов испытания, г;

F – площадь истираемой грани образца, см^2 .

Для определения истираемости горных пород изготавливают образцы в форме цилиндра диаметром и высотой 40...50 мм или куба с ребром 40...50 мм. Испытания проводятся по такой же методике, но один цикл испытания составляет 510 м пути истирания (17 раз по 30 м). Всего проводят 2 цикла испытания, что составляет примерно 1000 м пути истирания.

За результат принимают среднее арифметическое значение результатов пяти параллельных испытаний.

2. КАМЕННЫЕ МАТЕРИАЛЫ ДЛЯ БЕТОНА

2.1. Щебень (гравий). Общие свойства

Рыхлые каменные материалы, к которым относятся песок, щебень, гравий, играют роль заполнителей в бетоне и являются инертной частью цементобетонной смеси. Их содержание в бетоне может достигать до 95%, поэтому выбору качества заполнителей уделяется большое внимание.

Щебень – строительный материал рыхлый, сыпучий, в виде угловатых зерен размером от 5мм до 150мм, полученный дроблением с последующим рассевом горных пород или искусственных материалов.

Гравий – рыхлая крупнообломочная осадочная горная порода, сложенная окатанными обломками пород, образовавшихся в результате выветривания твердых горных пород. В природе чаще существует в виде гравийно-песчаной смеси (ПГС).

Нормирование свойств щебня и гравия выполняется по значениям, приведенным в **ГОСТ 8267–93 «Щебень и гравий из плотных горных пород для строительных работ. Технические условия»**. (Дата последнего изменения: 21.12.2017).

Важным параметром щебня является гранулометрический (зерновой) состав. Для его определения выполняется рассев образца в виде навески щебня. Рассев выполняется с помощью набора стандартных сит. По действующему стандарту сита имеют круглые отверстия размером 5, 10, 15, 20, 40мм. По действующему стандарту в настоящее время щебень (гравий) выпускается следующих основных фракций: 5(3) ...10 мм; 10...15 мм; 10... 20 мм; 15...20 мм; 20...40 мм; 40...80(70) мм и смеси фракций 5(3) ...20 мм.

Методики испытания щебня для определения значений параметров свойств при ведены в **ГОСТ 8269.0 «Щебень (гравий) для строительных работ. Методы испытания»**.

2.2. Определение зернового состава

Зерновой состав щебня (гравия) определяют путем ссева пробы на стандартном наборе сит.

Состав приборов:

- весы настольные циферблатные или лабораторные;
- шкаф сушильный;
- сита и проволочные круглые калибры с отверстиями, соответствующими номинальным размерам зерен данной фракции: $1,25D$; D , $0,5(D+d)$, d , а также 2,5 и 1,25 мм.

Проведение испытания

Для испытания используют лабораторную пробу без ее сокращения по табл. 2.1, высушенную до постоянной массы.

Таблица 2.1

Наибольший номинальный размер зерен D , мм	Масса пробы, кг
10	5,0
20	10,0
40	20,0
Св. 40	40,0

Пробу просеивают ручным или механическим способом через сита с отверстиями указанных выше размеров, собранные последовательно в колонку, начиная снизу с сита с отверстиями наименьшего размера, при этом толщина слоя щебня (гравия) на каждом из сит не должна превышать наибольшего размера зерен щебня (гравия).

Продолжительность просеивания должна быть такой, чтобы при контрольном интенсивном ручном встряхивании каждого сита в течение 1 мин через него проходило не более 0,1 % общей массы просеиваемой пробы.

При ручном просеивании допускается определять окончание просеивания следующим способом: каждое сито интенсивно трясут над листом бумаги.

Просеивание считают законченным, если при этом не наблюдается падение зерен щебня (гравия).

Обработка результатов испытания:

По результатам просеивания определяют частный остаток на каждом сите a_i , %, по формуле

$$a_i = \frac{m_i}{m} 100 \quad (2.1)$$

где m_i – масса остатка на данном сите, г;

m – масса пробы, г.

Определяют полные остатки на каждом сите в процентах массы пробы, равные сумме частных остатков на данном сите и всех ситах с большими размерами отверстий.

Рассев несортированного щебня (гравия), а также песчано-гравийной смеси производят с применением полного набора стандартных сит.

2.3. Определение содержания дробленых зерен в щебне из гравия

Содержание дробленых зерен в щебне из гравия оценивают количеством зерен, поверхность которых обработана более чем наполовину.

Состав приборов:

- весы настольные циферблатные по ГОСТ 29329;
- лупа минералогическая по ГОСТ 25706.

Проведение испытания:

Из лабораторной пробы от каждой фракции испытываемого щебня берут аналитические пробы массой не менее:

- 0,25 кг – для щебня размером фракции от 5(3) до 10 мм;
- 1,0 кг – то же св. 10 до 20 мм;
- 5,0 кг – » св. 20 до 40 мм;
- 10,0 кг – » св. 40 мм.

Пробу в воздушно-сухом состоянии просеивают через сита с отверстиями размерами, равными D и d , и взвешивают остаток на сите с отверстиями, равными d .

Визуальным осмотром (применяя в необходимых случаях лупу) определяют дробленые зерна, поверхность которых шероховата более чем наполовину.

Обработка результатов испытания:

Дробленые зерна взвешивают и определяют их содержание $Щ$, %, с точностью до 1 % по формуле

$$Щ = \frac{m_1}{m} 100 \quad (2.2)$$

где m_1 – масса дробленых зерен, г;

m – масса остатка на сите с отверстиями, равными d , г.

2.4. Определение содержания пылевидных и глинистых частиц

Метод отмучивания

Содержание пылевидных и глинистых частиц в щебне (гравии) определяют по изменению массы пробы после отмучивания пылевидных и глинистых частиц (размер частиц менее 0,05 мм).

Состав приборов:

- весы настольные циферблатные или лабораторные;
- шкаф сушильный;
- сосуд для отмучивания (рисунок 2.1) или цилиндрическое ведро высотой не менее 300 мм с сифоном.

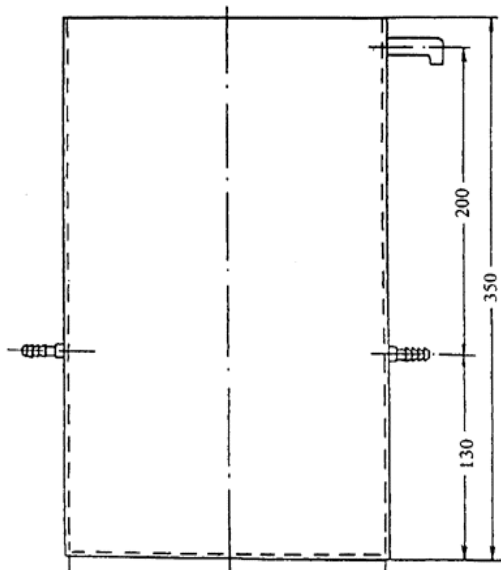


Рис. 2.1. Сосуд для отмучивания

Проведение испытания

Берут аналитическую пробу щебня (гравия) массой не менее 5 кг, высушенную до постоянной массы. При этом для испытания щебня (гравия) фракции от 5(3) до 10 мм используют целиком пробу, применяемую при определении зернового состава.

Пробу щебня (гравия) помещают в сосуд для отмучивания или ведро, заливают водой несколько выше уровня щебня и оставляют в таком состоянии до полного размокания глинистой пленки (определяется визуально) на зернах щебня (гравия) или комков глины, если они имеются в пробе.

После этого в сосуд или ведро со щебнем (гравием) доливают воду в таком количестве, чтобы высота слоя воды над щебнем была 200 мм; содержимое сосуда перемешивают деревянной мешалкой и оставляют в покое на 2 мин. Через 2 мин сливают полученную суспензию. При сливе суспензии необходимо оставлять слой ее над щебнем (гравием) высотой не менее 30 мм.

Затем щебень (гравий) вновь заливают водой до указанного выше уровня. Промывку щебня (гравия) в указанной последовательности повторяют до тех пор, пока вода после промывки не будет оставаться прозрачной.

Воду в сосуд для отмучивания щебня (гравия) наливают до верхнего сливного отверстия. Суспензию сливают через два нижних отверстия.

Из ведра суспензию сливают с помощью сифона, конец которого должен быть на расстоянии не менее 30 мм от поверхности щебня (гравия).

После окончания отмучивания промытую пробу высушивают до постоянной массы.

Обработка результатов испытания:

Содержание в щебне (гравии) пылевидных и глинистых частиц Π , % по массе, определяют с точностью до 0,1 % по формуле

$$n = \frac{m - m_1}{m} 100, \quad (2.3)$$

где m - первоначальная масса пробы, г;

m_1 - масса пробы после отмучивания, г.

2.5. Определение содержания глины в комках

Содержание глины в комках в щебне (гравии) определяют путем отбора из проб каждой фракции частиц, отличающихся пластичностью.

Состав приборов:

- весы настольные циферблатные и лабораторные;
- шкаф сушильный;
- сита с круглыми отверстиями диаметром 5 (3), 10, 20, 40 и 80 (70) мм;
- лупа.

Проведение испытания

Аналитические пробы щебня (гравия) готовят путем отсева лабораторной пробы на ситах стандартного набора или берут из остатков на ситах, полученных отсевом пробы при определении зернового состава. Массу проб принимают от каждой фракции испытываемого щебня массой не менее:

0,25 кг – для щебня размером фракции от 5(3) до 10 мм;

1,0 кг – то же св. 10 до 20 мм;

5,0 кг – » св. 20 до 40 мм;

10,0 кг – » св. 40 мм.

Каждую аналитическую пробу щебня (гравия), высушенную до постоянной массы, насыпают тонким слоем на металлический лист и увлажняют с помощью пипетки. Из пробы выделяют комки глины, отличающиеся пластичностью от зерен щебня (гравия), применяя в необходимых случаях лупу.

Выделенные комки глины высушивают до постоянной массы и взвешивают.

Обработка результатов испытания

Содержание комков глины в каждой пробе щебня (гравия) $\Pi_{\text{гл}}$, %, определяют по формуле

$$\Pi_{\text{гл}} = \frac{m_1}{m} 100 \quad (2.4)$$

где m – масса аналитической пробы щебня (гравия), кг;

m_1 – масса глины в комках, высушенной до постоянной массы, кг.

Содержание комков глины в смеси фракций вычисляют отдельно каждую фракцию и определяют средневзвешенное значение определяемого показателя в соответствии с содержанием фракции в смеси по формуле

$$X = \frac{x_1 a_1 + x_2 a_2 + \dots + x_i a_i}{a_1 + a_2 + \dots + a_i}, \quad (2.5)$$

где x_1, x_2, \dots, x_i – значения определяемого показателя;
 a_1, a_2, \dots, a_i – содержание данной фракции, %.

2.6. Определение содержания зерен пластинчатой (лещадной) и игловатой форм

2.6.1. Метод визуальной разборки

Содержание в щебне (гравии) зерен пластинчатой (лещадной) и игловатой форм оценивают количеством зерен, толщина которых менее длины в три раза и более.

Состав приборов:

- весы настольные циферблатные или лабораторные;
- шаблон передвижной (рис. 2.2) или штангенциркуль;
- сита из стандартного набора.

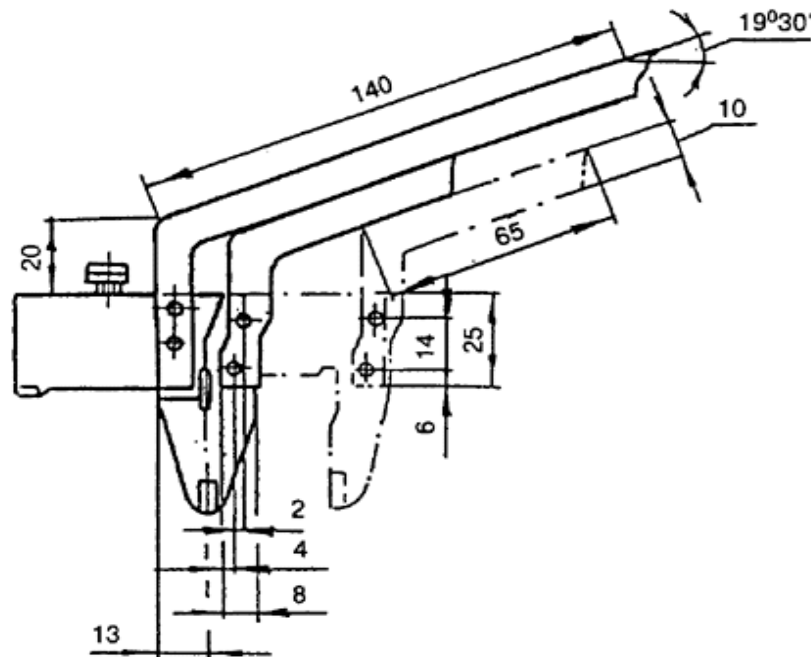


Рис.2.2. Передвижной шаблон

Проведения испытания

Из лабораторной пробы от каждой фракции испытываемого щебня (гравия) берут аналитические пробы.

Содержание зерен пластинчатой (лещадной) или игловатой формы определяют отдельно для каждой фракции щебня (гравия).

При наличии в испытываемом щебне (гравии) какой-либо фракции в количестве менее 5 % по массе содержание зерен пластинчатой (лещадной) и игловатой форм в этой фракции не определяют.

Аналитическую пробу взвешивают и из нее выбирают зерна, толщина которых меньше длины в три раза и более.

Соотношение размеров зерен определяют при помощи передвижного шаблона или штангенциркуля. При использовании шаблона измеряемое зерно вкладывают наибольшим размером между губками, положение шаблона фиксируют стопорным винтом и измеряют размер зерна, затем зерно пропускают наименьшим размером между губками шаблона, установленными на расстоянии в три раза меньшем. Если зерно пройдет между губками, то его относят к зернам пластинчатой или игловатой формы. Зерна пластинчатой и игловатой форм взвешивают.

Обработка результатов испытания

Содержание в каждой фракции щебня (гравия) зерен пластинчатой (лещадной) и игловатой форм $\Pi_{пл}$, %, определяют по формуле:

$$\Pi_{пл} = \frac{m_1}{m} 100, \quad (2.6)$$

где m – масса аналитической пробы, г;

m_1 – масса зерен пластинчатой (лещадной) и игловатой форм, г.

Содержание зерен пластинчатой (лещадной) и игловатой форм в смеси фракций определяют аналогично.

2.6.2. Определение на щелевидных ситах

Метод основан на просеивании щебня (гравия) через щелевидные сита.

Состав приборов:

- весы настольные циферблатные или лабораторные;
- набор щелевидных сит, изготовленных из листового проката на круглых или квадратных обечайках с диаметром или стороной не менее 300 мм.

Проведение испытания:

От каждой фракции испытываемого щебня (гравия) берут аналитическую пробу.

Пробу каждой фракции просеивают через щелевидные сита с отверстиями согласно табл. 2.2.

Таблица 2.2

В миллиметрах

Номинальные размеры зерен щебня (гравия)		Размеры отверстий щелевидных сит	
Наим.	Наиб.	Длина	Ширина
5(3)	10	10	2,5
10	20	20	5,0
7.0	40	40	10,0
40	70	70	20,0
70(80)	120	120	35,0

Зерна, прошедшие через щелевидное сито, относят к пластинчатым и игловатым.

Обработка результатов испытания

Содержание в каждой фракции щебня (гравия) пластинчатых и игловатых зерен $P_{пл}$, %, рассчитывают по формуле.

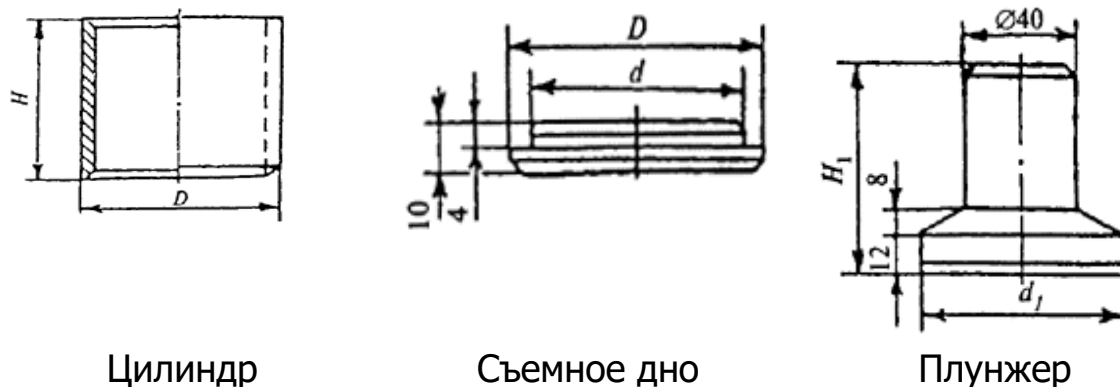
Содержание зерен пластинчатой (лещадной) и игловатой форм в смеси фракций определяют в том же порядке.

2.7. Определение дробимости

Дробимость щебня (гравия) определяют по степени разрушения зерен при сжатии (раздавливании) в цилиндре.

Состав приборов:

- пресс гидравлический с максимальным усилием до 500 кН;
- цилиндры стальные с внутренними диаметрами 75 и 150 мм и высотой соответственно 75 и 150 мм со съемным дном и плунжером (рис. 2.3).
- дробилка щековая лабораторная;
- весы настольные циферблатные или лабораторные;
- сита из стандартного набора;
- сито с сеткой № 2,25;
- шкаф сушильный;
- сосуд для насыщения щебня (гравия) водой.



$D, \text{ мм}$	$d, \text{ мм}$	$d_1, \text{ мм}$	$H, \text{ мм}$	$H_1, \text{ мм}$
87	75	73	75	70
170	150	148	150	120

Рис. 2.3. Цилиндры для определения дробимости

Подготовка к испытанию

При испытании щебня (гравия), состоящего из смеси двух или более смежных фракций, исходный материал рассеивают на стандартные фракции и каждую фракцию испытывают отдельно.

Щебень (гравий) фракции от 5 до 10, св. 10 до 20 или св. 20 до 40 мм просеивают через два сита с отверстиями, соответствующими наибольшей (D) и наименьшей (d) крупности испытываемой фракции.

От остатков на сите с отверстиями размером, равным d , отбирают две аналитические пробы массой не менее 0,5 кг каждая при испытании в цилиндре диаметром 75 мм и не менее 4 кг – при испытании в цилиндре диаметром 150 мм. Щебень (гравий) крупнее 40 мм предварительно дробят и испытывают фракции св. 10 до 20 мм или св. 20 до 40 мм.

При одинаковом петрографическом составе щебня (гравия) фракции св. 20 до 40 мм и св. 40 до 70 мм прочность последней допускается характеризовать результатами испытаний фракции св. 20 до 40 мм. Щебень (гравий) допускается испытывать как в сухом, так и в насыщенном водой состоянии.

Аналитические пробы для испытания в сухом состоянии высушивают до постоянной массы, а для испытания в насыщенном водой состоянии погружают в воду на 2 ч.

После насыщения водой с поверхности зерен щебня (гравия) удаляют влагу мягкой влажной тканью.

Проведение испытания

При определении марки щебня (гравия) применяют цилиндр диаметром 150 мм. Для приемочного контроля качества щебня (гра-

вия) фракции от 5 до 1.0 мм и св. 10 до 20 мм допускается применять цилиндр диаметром 75 мм.

Пробу щебня (гравия) насыпают в цилиндр с высоты 50 мм так, чтобы после разравнивания верхний уровень материала примерно на 15 мм не доходил до верхнего края цилиндра. Затем в цилиндр вставляют плунжер так, чтобы плита плунжера была на уровне верхнего края цилиндра. Если верх плиты на плунжере не совпадает с краем цилиндра, то удаляют или добавляют несколько зерен щебня (гравия). После этого цилиндр помещают на нижнюю плиту прессы.

Увеличивая силу нажатия прессы на 1 - 2 кН (100 - 200 кгс) в секунду, доводят ее при испытании щебня (гравия) в цилиндре диаметром 75 мм до 50 кН (5000 кгс), при испытании в цилиндре диаметром 150 мм - до 200 кН (20000 кгс).

После сжатия испытываемую пробу высыпают из цилиндра и взвешивают. Затем ее просеивают в зависимости от размера испытываемой фракции через сито с отверстиями размером:

- 1,25 мм – для щебня (гравия) размером фракции от 5 до 10 мм;
- 2,5 мм – то же св. 10 до 20 мм;
- 5,0 мм – » св. 20 до 40 мм.

Остаток щебня (гравия) на сите после просеивания взвешивают. При испытании щебня (гравия) в насыщенном водой состоянии навеску на сите тщательно промывают водой и удаляют поверхностную влагу с зерен щебня (гравия) мягкой влажной тканью.

Обработка результатов испытания

Дробимость D_p , %, определяют с точностью до 1 % по формуле

$$D_p = \frac{m - m_1}{m} 100 \quad (2.7)$$

где m – масса аналитической пробы щебня (гравия), г;

m_1 – масса остатка на контрольном сите после просеивания раздробленной в цилиндре пробы щебня (гравия), г.

За результат принимают среднеарифметическое значение двух параллельных испытаний.

При испытании щебня (гравия), состоящего из смеси фракций, дробимость определяют комплексно.

2.8. Определение истираемости в полочном барабане

Истираемость (износ) щебня (гравия) определяют по потере массы зерен при испытании пробы в полочном барабане с шарами.

Состав приборов:

- барабан полочный диаметром 700, длиной 500 мм, снабженный на внутренней поверхности полкой шириной 100 мм (рисунок 2.4);
- шары стальные или чугунные диаметром 48 мм, массой (405 ± 10) г каждый - 12 шт.;
- весы настольные циферблатные или лабораторные;
- шкаф сушильный;
- сита из стандартного набора;
- сито с сеткой № 1,25.

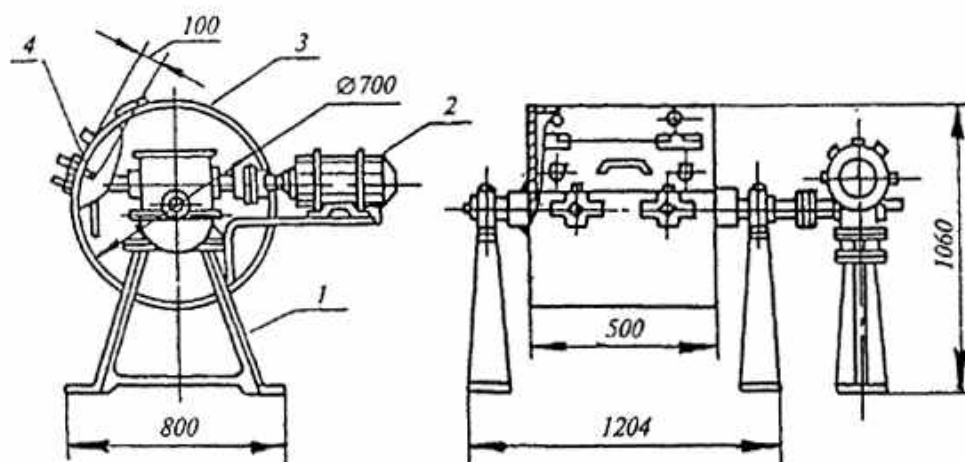


Рис. 2.4. Полочный барабан: 1 – станина; 2 – двигатель; 3 – барабан; 4 – полка барабана

Подготовка к испытанию

Испытываемый щебень (гравий) не должен содержать пылевидных и глинистых частиц более 1 % по массе. В противном случае щебень (гравий) предварительно промывают и высушивают.

Щебень (гравий) фракций от 5 до 10, св. 10 до 20 и св. 20 до 40 мм в состоянии естественной влажности просеивают через два сита с отверстиями размерами, соответствующими наибольшему D и наименьшему d номинальным размерам зерен данной фракции.

Из остатка на сите с отверстиями размером d отбирают две аналитические пробы по 5 кг с предельной крупностью зерен до 20 мм и две пробы по 10 кг фракции св. 20 до 40 мм.

При испытании щебня (гравия), состоящего из смеси двух или более смежных фракций, аналитические пробы готовят рассеиванием исходного материала на стандартные фракции и каждую фракцию испытывают отдельно.

Щебень (гравий) крупнее 40 мм дробят до получения зерен мельче 40 мм и испытывают щебень (гравий) фракции св. 20 до 40 мм.

В случае одинакового петрографического состава фракций щебня (гравия) св. 20 до 40 и св. 40 до 70 мм истираемость последней допускается характеризовать результатами испытаний фракции св. 20 до 40 мм.

Проведение испытания

Подготовленную пробу загружают в полочный барабан вместе с чугунными или стальными шарами, закрепляют крышку барабана и приводят его во вращение со скоростью 30–33 об/мин.

Число чугунных или стальных шаров и общее число оборотов барабана в процессе одного испытания щебня (гравия) принимают по таблице 2.3.

По окончании испытания содержимое барабана просеивают через сито с отверстиями диаметром 5 мм и контрольное сито с сеткой № 1,25. Остатки на ситах соединяют и взвешивают.

Таблица 2.3

Размер фракции щебня (гравия), мм	Число чугунных или стальных шаров, необходимое для испытания пробы, шт.	Число оборотов полочного барабана, необходимое для испытания пробы
От 5 до 10	8	500
Св. 5 до 15	9	500
Св. 10 до 20	11	500
Св. 20 до 40	12	1000

Обработка результатов испытания

Истираемость щебня I , %, определяют по формуле

$$I = \frac{m - m_1}{m} 100 \quad (2.8)$$

где m – масса пробы щебня (гравия), г;

m_1 – суммарная масса остатков на сите с отверстиями диаметром 5 мм и контрольном сите, г.

За результат испытания принимают среднеарифметическое значение двух параллельных испытаний.

При испытании щебня, состоящего из смеси двух и более смежных фракций, истираемость определяют с поправкой.

2.9/ Определение морозостойкости

Морозостойкость щебня (гравия) определяют по потере массы пробы при попеременном замораживании и оттаивании.

Состав приборов:

- камера морозильная, обеспечивающая достижение и поддержание температуры до минус (20 ± 2) °С;
- шкаф сушильный;
- весы настольные циферблатные и лабораторные;
- сита из стандартного набора;
- ванна для насыщения водой и оттаивания щебня (гравия);
- сосуд металлический.

Подготовка к испытанию

Каждую фракцию щебня (гравия) испытывают на морозостойкость отдельно. Фракции, содержащиеся в щебне (гравии) в количестве менее 5 % по массе, на морозостойкость не испытывают.

Для испытания берут от каждой фракции две аналитические пробы. Масса каждой пробы должна быть не менее:

- 1,0 кг – для щебня (гравия) размером фракции от 5 до 10 мм;
- 1,5 кг – то же св. 10 до 20 мм;
- 2,5 кг – » св. 20 до 40 мм;
- 5,0 кг – » св. 40 до 70(80) мм.

Зерна крупнее 70 (80) мм дробят и испытывают фракцию размером св. 40 до 70 (80) мм.

Полученные пробы щебня (гравия) промывают и высушивают до постоянной массы.

Проведение испытания

Аналитическую пробу щебня (гравия) данной фракции равномерно насыпают в металлический сосуд и заливают водой, имеющей температуру 20 °С. Через 48 ч сливают воду из сосуда, помещают щебень (гравий) в морозильную камеру и доводят температуру в камере до минус 18 °С.

Продолжительность цикла замораживания щебня в камере при установившейся температуре не выше минус 16 °С должна составлять 4 ч.

После этого сосуд со щебнем помещают в ванну с проточной или сменяемой водой с температурой 20 °С и выдерживают в ней при этой температуре до полного оттаивания щебня, но не менее 2 ч. Далее циклы испытания повторяют.

После 15, 25 и каждых последующих 25 циклов попеременного замораживания и оттаивания пробу щебня высушивают до постоянной массы, просеивают через контрольное сито, на котором она полностью оставалась перед испытанием.

Зерна щебня фракции св. 40 до 70 (80) мм, имеющие свежую поверхность раскола и оставшиеся на сите с размером отверстий 40 мм, относят к неморозостойким. Их массу не включают в массу остатка на контрольном сите.

Обработка результатов испытания

Потерю массы пробы Δm , %, определяют по формуле

$$\Delta m = \frac{m - m_1}{m} 100 \quad (2.9)$$

где m – масса пробы до испытания, г;

m_1 – масса остатка на сите после соответствующего цикла замораживания и оттаивания, г.

За результат испытания принимают среднеарифметическое значение двух параллельных испытаний.

При испытании щебня (гравия), состоящего из смеси фракций, значение Δm вычисляют комплексно.

Если потеря массы при данном числе циклов замораживания и оттаивания не превышает допускаемую, испытания продолжают в течение последующих 25 циклов.

Если потеря в массе превысила допускаемый предел, испытания прекращают и морозостойкость данной фракции щебня (гравия) характеризуют предыдущим числом циклов замораживания и оттаивания, при котором потеря массы щебня (гравия) не превышает допускаемую.

Ускоренное определение морозостойкости

Морозостойкость щебня (гравия) определяют по потере массы пробы при погружении в насыщенный раствор сульфата натрия и последующем высушивании.

Состав приборов:

- весы настольные циферблатные или лабораторные;
- шкаф сушильный;
- сита из стандартного набора;
- сосуд металлический для насыщения щебня (гравия) раствором сульфата натрия;
- натрий сернокислый (натрия сульфат 10-водный).

Подготовка к испытанию

Каждую фракцию щебня (гравия) испытывают отдельно. Аналитическую пробу готовят.

Раствор сульфата натрия готовят следующим образом. Отвешивают 185 г безводного сернокислого натрия по ГОСТ 4166 или 420 г кристаллического сернокислого натрия по ГОСТ 4171 и растворяют в 1 л подогретой до 40 °С дистиллированной воды путем постепенного добавления в нее сульфата натрия при тщательном перемешивании до насыщения раствора, охлаждают раствор до комнатной температуры, сливают в бутылку и оставляют на 2 сут.

Проведение испытания

Аналитическую пробу щебня (гравия) насыпают в сосуд в один слой, заливают раствором сульфата натрия так, чтобы щебень (гравий) был погружен полностью в раствор, и выдерживают в нем в течение 20 ч при комнатной температуре.

Затем раствор сливают (используют повторно), а сосуд со щебнем (гравием) помещают на 4 ч в сушильный шкаф, в котором поддерживают температуру (105 ± 5) °С. После этого щебень (гравий) охлаждают до комнатной температуры и вновь заливают раствором.

Последующие циклы испытания включают выдерживание щебня (гравия) в течение 4 ч в растворе сульфата натрия, сушку в течение 4 ч и охлаждение до комнатной температуры.

После 3, 5, 10 и 15 циклов пробу щебня (гравия) промывают горячей водой для удаления сульфата натрия, высушивают до постоянной массы и просеивают через сито с отверстиями размером d . Зерна щебня (гравия) фракции св. 40 до 70 мм, имеющие свежую поверхность раскола и оставшиеся на сите с отверстиями диаметром 40 мм, относят к неморозостойким. Их массу не включают в массу остатка на контрольном сите.

Обработка результатов испытания

Остаток на сите взвешивают и определяют потерю массы щебня (гравия) D_t , %, по формуле

$$\Delta m = \frac{m - m_1}{m} 100 \quad (2.10)$$

где m – масса пробы до испытания, г;

m_1 – масса остатка на сите после соответствующего цикла испытания, г.

За результат принимают среднеарифметическое значение двух параллельных испытаний. При испытании щебня (гравия), состоя-

щего из смеси фракции, потерю массы определяют как средневзвешенное значение результатов испытаний отдельных фракций.

2.10. Определение истинной плотности горной породы и зерен щебня (гравия)

Пикнометрический метод

Истинную плотность горной породы и зерен щебня (гравия) определяют путем измерения массы единицы объема измельченного высушенного материала.

Состав приборов:

- пикнометр вместимостью 100 мл;
- весы настольные циферблатные или лабораторные;
- стаканчик для взвешивания или фарфоровая чашка;
- ступка чугунная или фарфоровая;
- эксикатор;
- кислота серная концентрированная;
- кальций хлористый (хлорид кальция) безводный;
- шкаф сушильный;
- баня песчаная или водяная;
- дробилка щековая лабораторная;
- щетка металлическая;
- сито №0125.

Подготовка к испытанию

Для определения истинной плотности горной породы из исходной геологической пробы готовят лабораторную пробу путем дробления горной породы в лабораторной дробилке и дальнейшего рассева продуктов дробления.

Для определения истинной плотности зерен щебня (гравия) отбирают аналитическую пробу.

При использовании кусков камня неправильной формы или зерен щебня (гравия) их очищают металлической щеткой от пыли, измельчают на лабораторной дробилке до крупности менее 5 мм, после чего перемешивают и сокращают пробу примерно до 150 г.

Полученную пробу вновь измельчают до крупности менее 1,25 мм, после чего перемешивают и сокращают до 30 г.

Подготовленную пробу измельчают до порошкообразного состояния (размер зерен менее 0,125 мм) в чугунной или фарфоровой ступке, насыпают в стаканчик для взвешивания или фарфоровую чашку, высушивают до постоянной массы и охлаждают до комнатной температуры в эксикаторе над концентрированной серной кислотой или над безводным хлоридом кальция, после чего отвешивают две навески массой 10 г каждая.

Проведение испытания

Каждую навеску всыпают в чистый сухой пикнометр и наливают дистиллированную воду комнатной температуры в таком количестве, чтобы пикнометр был заполнен не более чем на половину своего объема.

Пикнометр в слегка наклонном положении ставят на песчаную или водяную баню и кипятят его содержимое в течение 15...20 мин для удаления пузырьков воздуха (пузырьки воздуха могут быть удалены путем выдерживания пикнометра под вакуумом в эксикаторе).

После удаления воздуха пикнометр обтирают, охлаждают до комнатной температуры, доливают до метки дистиллированную воду и взвешивают.

Затем пикнометр освобождают от содержимого, промывают, наполняют до метки дистиллированной водой комнатной температуры и взвешивают.

Обработка результатов испытания:

Истинную плотность ρ , г/см³, определяют по формуле

$$\rho = \frac{m\rho_{\text{в}}}{m + m_1 - m_2} \quad (2.11)$$

где m – масса навески порошка, высушенного до постоянной массы, г;

$\rho_{\text{в}}$ – плотность воды, принимаемая равной 1 г/см³;

m_1 – масса пикнометра с дистиллированной водой, г;

m_2 – масса пикнометра с навеской и дистиллированной водой после удаления пузырьков воздуха, г.

Расхождение между результатами двух определений не должно быть более 0,02 г/см³. В случае больших расхождений производят третье определение и принимают для расчета два ближайших значения.

За результат принимают среднеарифметическое значение двух параллельных испытаний.

В случае необходимости определения истинной плотности щебня (гравия), состоящего из смеси фракций, ее значение определяют комплексно.

Ускоренное определение истинной плотности

Истинную плотность горной породы и зерен щебня (гравия) определяют путем измерения массы единицы объема измельченного высушенного материала с использованием прибора Ле Шателье.

Состав приборов:

- прибор Ле Шателье (рис.2.5);
- весы настольные циферблатные или лабораторные;
- стаканчик для взвешивания или фарфоровая чашка;
- эксикатор;
- шкаф сушильный;
- кислота серная;
- хлористый кальций (хлорид кальция) безводный;
- сито с размером отверстий 5 мм;
- щетка металлическая.

Подготовка к испытанию

Пробу готовят.

Подготовленную пробу всыпают в стаканчик для взвешивания или в фарфоровую чашку, высушивают до постоянной массы и охлаждают до комнатной температуры в эксикаторе над концентрированной серной кислотой или над безводным хлоридом кальция.

После этого отвешивают две навески массой по 50 г каждая.

Проведение испытания

Прибор заполняют водой до нижней отметки, уровень воды определяют по нижнему мениску.

Каждую навеску через воронку прибора всыпают небольшими порциями до тех пор, пока уровень жидкости в приборе, определяемый по нижнему мениску, не поднимется до риски с делением 20 мл или с другим делением в пределах верхней градуированной части прибора.

Для удаления пузырьков воздуха прибор рекомендуется слегка встряхнуть.

Обработка результатов испытания:

Остаток измельченной пробы щебня (гравия), не вошедший в прибор, взвешивают и определяют плотность порошка ρ , г/см³, по формуле

$$\rho = \frac{m - m_1}{V} \quad (2.12)$$

где m - масса высушенной навески порошка, г;

m_1 - масса остатка, г;

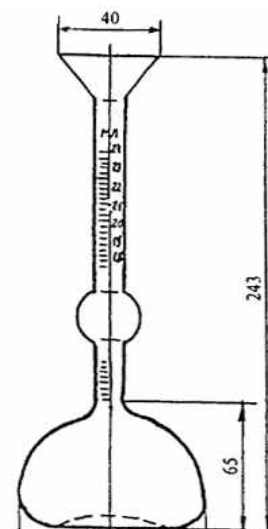


Рис.2.5 Прибор Ле Шателье

V - объем воды, вытесненной порошком, определяемый по градуированной шкале, см³.

Расхождение между результатами двух определений плотности не должно быть более 0,02 г/см³. В случае больших расхождений производят третье определение и принимают для расчета два ближайших значения.

За результат принимают среднеарифметическое значение двух параллельных испытаний.

В случае необходимости определения истинной плотности щебня (гравия), состоящего из смеси фракций, ее значение определяют комплексно.

2.11. Определение средней плотности и пористости горной породы и зерен щебня (гравия)

2.11.1. Определение средней плотности

Среднюю плотность горной породы и зерен щебня (гравия) определяют путем измерения массы единицы объема кусков породы или зерен щебня (гравия) с использованием весов для гидростатического взвешивания.

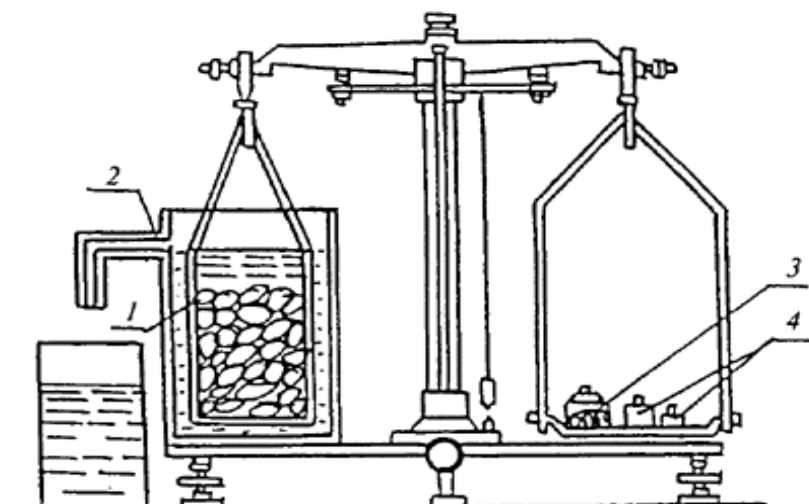
Состав приборов:

- весы настольные циферблатные по ГОСТ 29329;
- весы по с приспособлением для гидростатического взвешивания (рисунок 2.6);
- шкаф сушильный;
- сосуд для насыщения щебня (гравия) и образцов водой или для парафинирования образцов;
- сита из стандартного набора;
- щетка металлическая.

Подготовка к испытанию

Для определения средней плотности горной породы отбирают пять образцов правильной формы или пять кусков произвольной формы размером св. 40 до 70 (80) мм. Каждый образец очищают металлической щеткой от рыхлых частиц, пыли и высушивают до постоянной массы.

Для определения средней плотности зерен щебня (гравия) фракции с наибольшим номинальным размером до 40 мм берут аналитическую пробу массой не менее 2,5 кг. При испытании щебня (гравия) фракции с наибольшим номинальным размером св. 40 мм берут аналитическую пробу массой около 5 кг, зерна крупнее 40 мм дробят до получения частиц размером не более 40 мм и пробу сокращают вдвое.



1 – сетчатый (перфорированный) стакан; 2 – сосуд со сливом для воды; 3 – стаканчик с дробью для уравновешивания массы сетчатого стакана в воде, 4 – разновесы

Рис. 2.6. Весы для гидростатического взвешивания

Пробу высушивают до постоянной массы, просеивают через сито с размером отверстий, соответствующим наименьшему номинальному размеру зерен данной фракции щебня (гравия), и из остатка на сите отвешивают две пробы по 1000 г каждая.

Проведение испытания:

Образцы горной породы произвольной формы или навеску щебня (гравия) насыщают водой, погружая их в воду комнатной температуры на 2 ч так, чтобы уровень воды в сосуде был выше поверхности образцов или щебня (гравия) не менее чем на 20 мм.

Насыщенные образцы породы или пробу щебня (гравия) вынимают из воды, удаляют влагу с их поверхности мягкой влажной тканью и сразу же взвешивают на настольных гирных или циферблатных, а затем на гидростатических весах, помещая пробу в сетчатый (перфорированный) стакан, погруженный в воду.

Образцы горной породы произвольной формы с мелкими открытыми порами вместо насыщения допускается покрывать пленкой парафина толщиной около 1 мм. Для этого высушенный до постоянной массы образец погружают в разогретый парафин и охлаждают на воздухе. В случае обнаружения при остывании на парафиновой пленке пузырьков или повреждений их заглаживают с помощью горячей металлической пластинки, ножа или проволоки.

Подготовленный образец взвешивают на настольных циферблатных или лабораторных, а затем на гидростатических весах.

Для определения средней плотности образцов горной породы правильной формы измеряют их размеры, определяют объем и среднюю плотность.

Обработка результатов испытания

Среднюю плотность образцов горной породы произвольной формы или щебня (гравия) r_k , г/см³, определяют по формуле

$$\rho_k = \frac{m}{m_1 - m_2} \rho_v \quad (2.13)$$

где m – масса образца или пробы в сухом состоянии, г;

m_1 – масса образца или пробы в насыщенном водой состоянии на воздухе, г;

m_2 – масса образца или пробы в насыщенном водой состоянии в воде, г;

ρ_v – плотность воды, принимаемая равной 1 г/см³.

Среднюю плотность парафинированных образцов горной породы произвольной формы ρ_{k1} , г/см³, определяют по формуле

$$\rho_{k1} = \frac{m}{\frac{m'_1 - m'_2}{\rho_v} - \frac{m'_1 - m}{\rho_n}} \quad (2.14)$$

где m – масса образца в сухом состоянии, г;

m_1 – масса парафинированного образца на воздухе, г;

m_2 – масса парафинированного образца в воде, г;

ρ_v – плотность воды, принимаемая равной 1 г/см³;

ρ_n – плотность парафина (может быть принята равной 0,93 г/см³).

Среднюю плотность образцов горной породы правильной формы ρ_{k2} г/см³, определяют по формуле

$$\rho_{k2} = \frac{m}{V}, \quad (2.15)$$

где m – масса образца, г;

V – объем образца, см³.

За результат принимают среднеарифметическое значение результатов испытания пяти образцов горной породы или двух параллельных испытаний проб щебня (гравия). При этом расхождение между результатами двух определений средней плотности не должно превышать 0,02 г/см³. При больших расхождениях проводят третье определение и вычисляют среднеарифметическое двух ближайших значений.

2.11.2. Определение пористости

Пористость горной породы или зерен щебня (гравия) определяют расчетным путем на основании предварительно установленных значений истинной и средней плотности.

Пористость горной породы или зерен щебня (гравия) $V_{\text{пор}}$, % по объему, определяют по формуле

$$V_{\text{пор}} = \left(1 - \frac{\rho_k}{\rho}\right) \cdot 100, \quad (2.16)$$

где ρ_k – средняя плотность горной породы или зерен щебня (гравия), г/см³; ρ – истинная плотность горной породы или зерен щебня (гравия), г/см³.

2.12. Определение насыпной плотности и пустотности

2.12.1. Определение насыпной плотности

Насыпную плотность щебня (гравия) определяют взвешиванием определенного объема щебня (гравия) данной фракции (или смеси фракций), высушенного до постоянной массы.

Состав приборов:

- весы настольные циферблатные или лабораторные;
- шкаф сушильный;
- цилиндры мерные по таблице.

Проведение испытания

Щебень (гравий) в объеме, обеспечивающем проведение испытания, высушивают до постоянной массы. При определении насыпной плотности смеси фракций рассев смеси на соответствующие фракции не допускается.

Щебень (гравий) насыпают в предварительно взвешенный цилиндр с высоты 10 см до образования конуса, который снимают стальной линейкой вровень с краями (без уплотнения) движением к себе, от себя или от середины влево и вправо, после чего цилиндр со щебнем (гравием) взвешивают.

В зависимости от наибольшего номинального размера щебня применяют цилиндры в соответствии с табл. 2.5.

Таблица 2.5

Объем мерного цилиндра, л	Внутренние размеры цилиндра, мм		Фракции щебня (гравия), мм
	диаметр	высота	
5	185	185	От 5 до 10
10	234	234	Св. 10 до 20
20	294	294	Св. 20 до 40
50	400	400	Св. 40

Обработка результатов испытания

Насыпную плотность щебня (гравия) r_n , кг/м³, определяют с точностью до 10 кг/м³ по формуле

$$\rho_n = \frac{m_1 - m}{V} \quad (2.17)$$

где m – масса мерного цилиндра, кг;

m_1 – масса мерного цилиндра со щебнем (гравием), кг;

V – объем мерного цилиндра, м³.

Насыпную плотность определяют два раза, при этом каждый раз берут новую порцию щебня (гравия).

За результат принимают среднеарифметическое значение двух параллельных испытаний.

2.12.2. Определение насыпной плотности для перевода количества щебня (гравия) из единиц массы в объемные

Насыпную плотность определяют путем взвешивания определенного объема щебня (гравия) в воздушно-сухом состоянии.

Состав приборов:

– весы платформенные или почтовые с пределом взвешивания 50 кг, погрешностью - ± 10 г;

– сосуды мерные.

Проведение испытания.:

Щебень (гравий) насыпают с высоты 10 см в предварительно взвешенный мерный сосуд до образования над верхом сосуда конуса, который снимают стальной линейкой вровень с краями сосуда (без уплотнения) движением к себе, от себя или от середины влево и вправо. Сосуд со щебнем (гравием) взвешивают.

В зависимости от наибольшего номинального размера щебня (гравия) применяют мерные сосуды в соответствии с таблицей 2.4.

Таблица 2.4

Мерный сосуд	Объем, л	Внутренние размеры сосуда, мм			Фракция щебня (гравия), мм
		диаметр	сторона основания	высота	
Цилиндр	10	234	-	234	От 5 до 10
	20	294	-	294	Св. 10 до 20
	50	400	-	400	Св. 20 до 40
Ящик	100	-	465	465	Св. 40

Мерные сосуды как нестандартное оборудование разрешается изготавливать силами предприятий. При этом емкости сосудов допускается тарировать путем заполнения водой и определения ее объема в сосуде.

Обработка результатов испытания

Насыпную плотность щебня (гравия) ρ_n , кг/м³, определяют с точностью до 10 кг/м³ по формуле

$$\rho_n = \frac{m_1 - m}{V} \quad (2.18)$$

где m – масса мерного цилиндра, кг;

m_1 – масса мерного цилиндра со щебнем (гравием), кг;

V – объем мерного цилиндра, м³.

Насыпную плотность определяют два раза, при этом каждый раз берут новую порцию щебня (гравия).

За результат принимают среднеарифметическое значение двух параллельных испытаний.

Примечание:

Насыпную плотность песчано-гравийной смеси определяют без предварительного разделения на гравийную и песчаную составляющие, используя мерные сосуды в соответствии с наибольшим номинальным размером гравия.

2.12.3. Определение пустотности

Пустотность щебня (гравия) определяют расчетным путем на основании предварительно установленных значений средней плотности зерен и насыпной плотности щебня (гравия).

Пустотность щебня (гравия) V_n , % по объему, определяют по формуле

$$V_n = \left(1 - \frac{\rho_n}{\rho_k \cdot 1000} \right) \cdot 100 \quad (2.19)$$

где ρ_n – насыпная плотность щебня (гравия), кг/м³;

ρ_k – средняя плотность зерен щебня (гравия), г/см³.

2.13. Определение водопоглощения горной породы и щебня (гравия)

Водопоглощение определяют путем сравнения массы образцов горной породы или проб щебня (гравия) в насыщенном водой состоянии и после высушивания.

Состав приборов:

- весы настольные циферблатные по ГОСТ 29329;
- шкаф сушильный;
- сосуд для насыщения образцов водой;

– щетка металлическая.

Проведение испытания

Для определения водопоглощения горной породы из геологической пробы отбирают пять образцов правильной формы или пять образцов произвольной формы размером от 40 до 70 (80) мм. Образцы очищают металлической щеткой от рыхлых частиц и пыли и высушивают до постоянной массы.

Для определения водопоглощения щебня (гравия) берут аналитическую пробу, которую промывают и высушивают до постоянной массы.

Образцы горной породы или щебня (гравия) укладывают в сосуд с водой комнатной температуры так, чтобы уровень воды в сосуде был выше верха образцов или пробы щебня (гравия) не менее чем на 20 мм. В таком положении образцы или пробу выдерживают в течение 48 ч, после чего их вынимают из сосуда, удаляют влагу с поверхности отжатой влажной мягкой тканью и каждый образец или пробу взвешивают, при этом масса воды, вытекающей из образца или щебня (гравия) на чашку весов, должна включаться в массу образца (пробы).

Обработка результатов испытания

Водопоглощение $V_{\text{погл}}$, % по массе, определяют по формуле

$$V_{\text{погл}} = \frac{m_1 - m}{m} \cdot 100, \quad (2.20)$$

где m – масса образца или пробы в сухом состоянии, г;

m_1 – масса образца или пробы в насыщенном водой состоянии.

Примечание. В необходимых случаях в зависимости от назначения щебня (гравия) образцы выдерживают в воде до насыщения их до постоянной массы.

За результат принимают среднеарифметическое значение пяти параллельных испытаний горной породы и двух параллельных испытаний щебня (гравия).

При испытании щебня (гравия), состоящего из смеси фракций, значение водопоглощения определяют комплексно.

2.14. Определение влажности

Влажность щебня (гравия) определяют путем сравнения массы пробы во влажном состоянии и после высушивания.

Состав приборов:

– весы настольные циферблатные по ГОСТ 29329 или лабораторные по ГОСТ 24104.

– шкаф сушильный.

Проведение испытания

Из щебня (гравия) испытываемой фракции берут аналитическую пробу.

Пробу щебня (гравия) насыпают в сосуд и взвешивают, высушивают до постоянной массы и вновь взвешивают.

Примечание - Влажность горной породы определяют на образцах правильной или произвольной формы.

Обработка результатов испытания

Влажность щебня (гравия) W , % по массе, определяют по формуле

$$W = \frac{m_g - m}{m} 100 \quad (2.21)$$

где m_g – масса пробы во влажном состоянии, г;

m – масса пробы в сухом состоянии, г.

2.15. Определение предела прочности при сжатии горной породы

Прочность горной породы определяют путем сжатия и доведения до разрушения образцов (кубов или цилиндров) на прессе.

Состав приборов:

- пресс гидравлический с усилием от 100 до 500 кН;
- станок сверлильный с алмазным кольцевым сверлом для железобетонных конструкций по ГОСТ 24638 (для изготовления цилиндров);
- станок камнерезный (для изготовления кубов);
- штангенциркуль;
- угольник поверочный;
- сосуд для насыщения образцов водой.

Проведение испытания

Из пробы горной породы, отобранной при геологической разведке и представленной керном или штуфом, при помощи сверлильного или камнерезного станка изготавливают пять образцов в виде цилиндра диаметром и высотой 40–50 мм или куба с ребром 40...50 мм.

Допускается испытывать керны, полученные в процессе разведочного бурения из одного слоя породы, диаметром от 40 до 110 мм и высотой, равной диаметру, с пришлифованными торцами, если керны не имеют внешних повреждений.

Грани образцов, к которым прикладывают нагрузку пресса, обрабатывают на шлифовальном станке (круге), при этом должна быть обеспечена параллельность указанных граней. Правильность формы

образцов проверяют стальным угольником. Отклонение от перпендикулярности смежных граней кубов, а также опорных и боковых поверхностей цилиндров не должно превышать 1 мм на 100 мм длины образца.

Направление приложения нагрузки должно быть нормальным к опорным поверхностям образцов и слоистости породы. В необходимых случаях образцы испытывают при приложении нагрузки параллельно слоистости породы.

Перед определением прочности образцы измеряют штангенциркулем и высушивают до постоянной массы. Допускается испытывать образцы горной породы в насыщенном водой состоянии.

Проведение испытания

Образец устанавливают в центре опорной плиты пресса. Нагрузка на образец при испытании должна возрастать непрерывно и равномерно со скоростью 0,5 МПа (5 кгс/см²) в секунду. Предельная нагрузка пресса должна соответствовать требованиям.

Обработка результатов испытания

Предел прочности при сжатии образца $R_{сж}$, МПа (кгс/см²), определяют с точностью до 1 МПа (10 кгс/см²) по формуле

$$R_{сж} = \frac{P}{F} \quad (2.22)$$

где P – разрушающее усилие, Н (кгс);

F – площадь поперечного сечения образца, см².

За результат принимают среднеарифметическое значение пяти параллельных испытаний.

2.16. Определение реакционной способности горной породы и щебня

Реакционную способность (РС) горной породы, щебня характеризуют наличием минералов, содержащих растворимый в щелочах кремнезем.

Реакционную способность (РС) определяют методами:

- минералого-петрографическим - на стадии разведки месторождения и для оценки горных пород и щебня для использования их в качестве сырья для производства заполнителей бетонов, при этом определяют наличие потенциально реакционноспособных пород и минералов (ПРС);

- химическими - в случае обнаружения наличия ПРС пород и минералов для оценки количественного содержания в них растворимого в щелочах кремнезема;
- ускоренным с измерением деформаций бетонов - для определения возможности проявления щелочной коррозии бетонов в случае, когда количественное содержание растворимого в щелочах кремнезема превышает установленные нормативные значения;
- непосредственным испытанием образцов бетонов - для определения возможности проявления щелочной коррозии бетона в случае, когда относительные деформации расширения образцов бетона, определенные ускоренным методом, превышают установленные значения.

Минералого-петрографический метод

Метод основан на оценке минералогического состава и определении потенциально реакционноспособных модификаций кремнезема по показателю светопреломления.

Состав приборов:

Лупа бинокулярная.

Микроскоп поляризационный.

Проведение испытания:

Для исследования горную породу дробят или изготавливают из нее прозрачные шлифы. Гравийные материалы подвергают петрографической разборке с использованием бинокулярной лупы. Зерна потенциально реакционноспособных минералов, выделенные при минералого-петрографической разборке, взвешивают и определяют их содержание X_1 , % по массе, по формуле

$$X_1 = \frac{m_1}{m} 100 \quad (2.23)$$

Где: m_1 – масса ПРС зерен, г;

m – масса аналитической пробы, взятая в, г.

Содержание зерен ПРС минералов в аналитической пробе щебня (гравия) смеси фракций вычисляют.

Горную породу, щебень (гравий) относят к потенциально реакционноспособным, если при петрографической разборке обнаружено наличие одной или нескольких разновидностей минералов, содержащих реакционноспособный кремнезем в количествах, равных или превышающих значения, указанные в табл.2.6.

Таблица 2.6

Минерал и вид кремнезема	Виды потенциально реакционно-способных пород	min сод. минерала, % по массе, при котором возможна щелочная коррозия бетона
Опал	Базальты и другие лавы. Известняки, роговики, сланцы опаловидные	0,25
Стекло кислое аморфное	Обсидианы, перлиты, липариты, дациты, андезитодациты, андезиты, туфы и аналоги этих пород, имеющие стекловидную основу	3,0
Халцедон крип-томикристаллический	Кремни, известняки, доломиты, песчаники с опалохалцедоновым и халцедонокварцевым цементом, яшмы, роговики	5,0
Кристобалит, тридимит кристаллические	Расплавы, состоящие из кремнезема (материалы, полученные плавлением)	1,0
Кварц выветренный деформированный	Кварцевые витрофиры, кварциты, песчаники, вулканические и метаморфические кислые породы	3,0

Оптические и физические характеристики модификаций кремнезема в шлифах, которые необходимо учитывать при минералого-петрографическом анализе, приведены в табл.2.7.

Таблица 2.7

Модификация кремнезема	Кристаллическая система	Внешние формы	Показатель светопреломления		Истинная плотность, г/см ³
			N_g	N_m	
b-кварц	Тригональная	Призмы	1,553	1,544	2,65
a-кварц	Гексагональная	Бипирамиды	1,540	1,530	2,60
у-тридимит	Ромбическая	Пластинки-двойники	1,473	1,470 1,489	2,27
b-тридимит	Тригональная	-	1,470	-	-

Модификация кремнезема	Кристаллическая система	Внешние формы	Показатель светопреломления		Истинная плотность, г/см ³
			N_g	N_m	
а-кристобалит	Триклиническая	Зерна-двойники	1,487	1,484	2,32
	Кубическая	Октаэдры	1,466	-	2,21
Водный кремнезем	Отсутствует	-	-	-	1,90
Опал	Отсутствует	-	-	1,406	2,30
				1,460	2,55
Халцедон	Не установлена	Кристаллы в виде волокон	1,540	1,532	2,58
				1,530	
Стекло кислое аморфное	Отсутствует	-	-	1,458	2,20

Химические методы

Методы основаны на определении содержания в горной породе, щебне (гравии) реакционноспособного кремнезема, растворимого в 1 М растворе гидроксида натрия.

Содержание растворимого в щелочах кремнезема определяют весовым или фотоколориметрическим методом.

Горную породу, щебень (гравий) считают нереакционноспособными по отношению к щелочам и пригодными к использованию в качестве заполнителя для бетонов, если содержание в них растворимого кремнезема не более 50 ммоль/л.

3. ВОЗДУШНЫЕ ВЯЖУЩИЕ. ГИПС СТРОИТЕЛЬНЫЙ

3.1. Общие сведения

Гипсовые вяжущие вещества это воздушные вяжущие, состоящие из полуводного гипса $\text{CaSO}_4 \cdot 0,5\text{H}_2\text{O}$ или ангидрита CaSO_4 и получаемые путем тепловой обработки тонко измельченного исходного сырья и последующим помолом.

Сырьем для производства гипсовых вяжущих веществ служит природный гипсовый камень, состоящий из минерала гипса $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$, природный ангидрит CaSO_4 и некоторые отходы промышленности, к примеру фосфогипс. Строительный гипс состоит из полуводного гипса $\text{CaSO}_4 \cdot 0,5\text{H}_2\text{O}$.

Гипсовые вяжущие вещества, в зависимости от температуры обработки сырья, подразделяют на две группы: на низкообжиговые и высокообжиговые.

Низкообжиговые гипсовые вяжущие получают тепловой обработкой природного гипса $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ при низких температурах (110–180°C). Они состоят главным образом из тонкоизмельченного полуводного гипса $\text{CaSO}_4 \cdot 0,5\text{H}_2\text{O}$ и характеризуются быстрым твердением. К низкообжиговым гипсовым вяжущим веществам относят: формовочный, строительный и высокопрочный гипс.

Высокообжиговые гипсовые вяжущие вещества изготавливают путем обжига гипсового камня при высоких температурах 600...1000°C, поэтому они состоят из ангидрита CaSO_4 . Высокообжиговый гипс медленно схватывается и твердеет, но имеет высокую водостойкость и высокую прочность при сжатии выше –10...20 МПа в отличие от строительного гипса. К высокообжиговым вяжущим веществам относят: ангидритовое вяжущее (ангидритовый цемент) и высокообжиговый гипс (эстрих-гипс).

Производство строительного гипса выполняют путем обжига в варочных котлах или печах природного гипсового камня $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ с последующим измельчением его в тонкий порошок в шаровой мельнице. При этом происходит дегидратация двуводного гипса по реакции: $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O} = \text{CaSO}_4 \cdot 0,5\text{H}_2\text{O} + 1,5\text{H}_2\text{O}$.

Технические требования к гипсу строительному приведены в **ГОСТ 125–2018 «Гипсовые вяжущие. Технические условия»**. В зависимости от предела прочности на сжатие 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.

Минимальный предел прочности каждой марки гипсового вяжущего должен соответствовать значениям, приведенным в табл. 3.1.

Табл. 3.1

Классификация гипса строительного по прочности

Марка гипсового вяжущего	Предел прочности образцов-балочек размерами 40x40x100 мм в возрасте 2 ч., МПа, не менее	
	при сжатии	при изгибе
Г-2	2	1.2
Г-3	3	1.8
Г-1	4	2.0
Г-5	5	2.5
Г-6	6	3.0
Г-7	7	3.5
Г-10	10	4,5
Г-13	13	5.5
Г-16	16	6.0
Г-19	19	6.5
Г-22	22	7.0
Г-25	25	8.0

В зависимости от сроков схватывания различают виды гипсовых вяжущих, приведенные в табл. 3.2.

Таблица 3.2

Вид гипсового вяжущего	Индекс сроков твердения	Срок схватывания, мин	
		Начало, не ранее	Конец, не позднее
Быстротвердеющий	А	2	15
Нормальнотвердеющий	Б	6	30
Медленнотвердеющий	В	20	Не нормируется

В зависимости от степени помола различают виды гипсовых вяжущих, приведенные в табл. 3.3.

Таблица 3.3

Вид гипсового вяжущего	Индекс степени помола	Максимальный остаток на сите с размерами ячеек 0,8 мм %, не более
Грубого помола	I	23
Среднего помола	II	14
Тонкого помола	III	2

Пример условного обозначения гипсового вяжущего прочностью 5,2 МПа со сроками схватывания: начало — 5 мин. конец — 9 мин и остатком на сите с размером ячеек в свету 0,2 мм 9 %. т. е. гипсового вяжущего марки Г-5, быстротвердеющего, среднего помола:

Г-5 А II ГОСТ 125—2018

Методы испытания гипса строительного приведены в **ГОСТ 23789—2018 «Гипсовые вяжущие. Методы испытания»**

3.2. 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.

Состав приборов:

- сушильный шкаф, обеспечивающий температуру $(50 \pm 5) ^\circ\text{C}$;
- весы с погрешностью взвешивания не более 0,05 г;
- сито с ячейками размером в свету 0,2 мм по ГОСТ 6613;
- термометр со шкалой до температуры $100 ^\circ\text{C}$;
- установка для механического просеивания.

Проведение испытания

Пробу гипсового вяжущего массой 50 г, взвешенную с погрешностью не более 0,1 г и предварительно высушенную в сушильном шкафу в течение 1 ч при температуре $(50 \pm 5) ^\circ\text{C}$, высыпает на сито и проводят просеивание вручную, на механической установке или с помощью прибора-анализатора.

Просеивание считают законченным, если сквозь сито в течение 1 мин при ручном просеивании проходит не более 0,05 г гипсового 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 значение тонкости помола принимают среднее арифметическое результатов двух испытаний.

3.3. Определение стандартной консистенции (нормальной густоты) гипсового теста

Стандартная консистенция (нормальная густота) характеризуется диаметром расплыва гипсового теста, вытекающего из цилиндра при его поднятии.

Состав приборов:

- вискозиметр Суттарда в виде цилиндра из металла с полированной внутренней поверхностью (рис. 3.1)
- стекло с рядом нанесенных концентрических окружностей диаметром 150...220мм через каждые 10мм;
- чашка вместимостью более 500 см³;
- мешалка ручная (рис. 3.2);
- линейку металлическую 250 мм, ценой деления 1 мм;
- весы с допускаемой погрешностью взвешивания $\pm 0,01$ г;
- секундомер.

Проведение испытания

1. Цилиндр Суттарда очистить и поместить строго в центре стеклянной пластины. Круглодонную чашу также очистить, протерев влажной тканью.
2. Отвесить 300 г гипсового вяжущего
3. Влить воду (фиксированная масса которой зависит от свойств гипсового вяжущего) в смесительную чашу, затем всыпать гипсовое вяжущее в течение 2...5 с массу перемешивать ручной мешалкой снизу вверх 30 с, начиная отсчет времени от начала всыпания гипсового вяжущего в воду и до получения однородной массы.
4. После окончания перемешивания цилиндр, удерживая рукой, быстро наполняют гипсовым тестом, излишки которого срезают влажным ножом или линейкой.
5. Через 45 с от начала засыпания гипса в воду, или через 15 с после окончания перемешивания цилиндр быстро поднимают строго вертикально и отводят в сторону.
6. Диаметр расплыва образца измеряют непосредственно после поднятия цилиндра линейкой в двух перпендикулярных направлениях с погрешностью не более 5 мм и вычисляют среднее арифметическое значение.
7. Если диаметр расплыва теста не соответствует диапазону (180 ± 5) мм, испытание повторяют с измененной массой воды.

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.

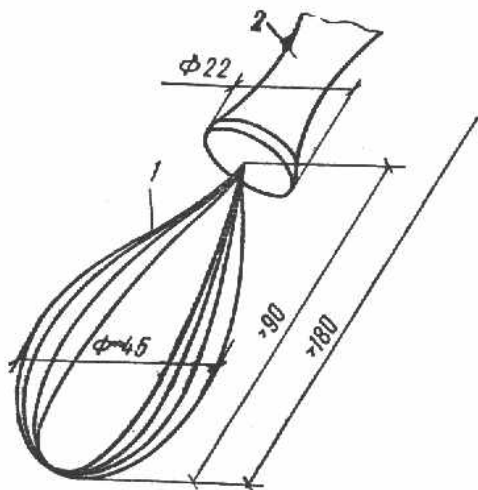


Рис.3.1. Ручная мешалка

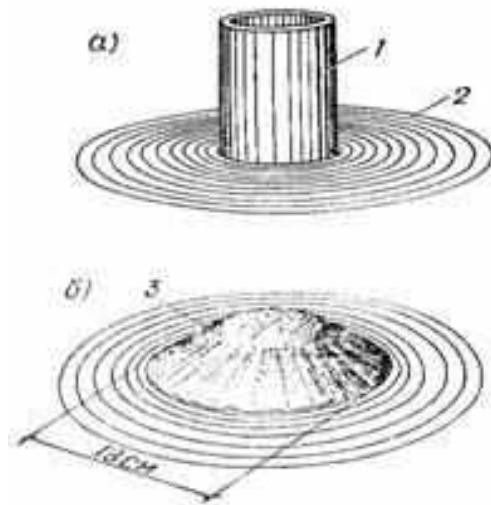


Рис.3.2. Вискозиметр Суттарда;
1–цилиндр; 2 – окружности;
3 – распływ образца гипсового теста

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 диапазону (180 ± 5) мм, испытание повторяют с измененной массой воды.

3.4. Определение сроков схватывания гипсового теста

Сущность метода состоит в определении времени от начала контакта гипсового вяжущего с водой до начала и конца схватывания теста.

Состав приборов:

- секундомер;
- кольцо коническое из коррозионностойкого материала (рис. 3.3);
- прибор Вика с массой подвижной части (300 ± 2) г (рис. 3.3);
- игла с полированной поверхностью, стандартного профиля;
- пластина, полированная, из коррозионностойкого материала размером 100 x 100 мм

Проведение испытания

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

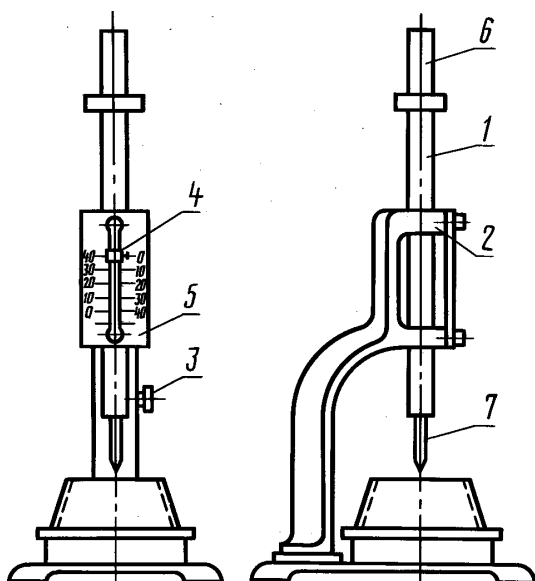
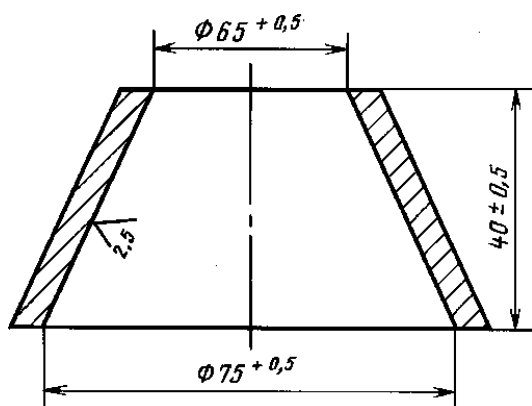


Рис. 3.3. Прибор Вика:

1 – цилиндрический стержень;
2 – обойма станины; 3 – стопор;



Черт. 4

Рис.3.4. Кольцо для образца
гипсового теста

Кольцо, предварительно протертое и смазанное минеральным маслом и установленное на полированную пластинку, заполняют тестом. Для удаления попавшего в тесто воздуха кольцо с пластинкой четыре-пять 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 проводят один раз каждые 30 с, начиная с целого числа минут.

После каждого погружения иглу тщательно вытирают, а пластинку вместе с кольцом передвигают так, чтобы каждое последующее погружение иглы находилось на расстоянии не менее 10 мм от мест предыдущих погружений и края кольца.

Начало схватывания определяют временем, выраженным в минутах, истекших от момента добавления гипсового вяжущего к воде до момента, когда свободно опущенная игла после погружения в тесто первый раз не доходит до поверхности пластинки.

Конец схватывания — когда свободно опущенная игла погружается на глубину не более 1 мм.

Время начала и конца схватывания выражают в минутах.

3.5. Определение предела прочности на растяжение при изгибе

Прочность на растяжение при изгибе и сжатии определяют на образцах-призмах размером 160 x 40 x 40 мм, изготовленных из гипсового теста стандартной консистенции.

Состав приборов:

- чаша;
- мешалка ручная;
- форма разъемная для изготовления образцов-призм размером 160 x 40 x 40 мм;
- цилиндр мерный вместимостью 1 л ценой деления 1 мл;
- весы с диапазоном взвешивания не менее 500 г и пределом допускаемой погрешности взвешивания $\pm 0,1$ г;
- прибор для испытания на изгиб образцов-призм;
- установка для определения прочности при сжатии с предельной нагрузкой 100 кН;
- камера для выдерживания образцов, обеспечивающая твердение образцов при температуре $(23 \pm 2)^\circ\text{C}$ и относительной влажности воздуха $(50 \pm 5)\%$;
- смеситель.

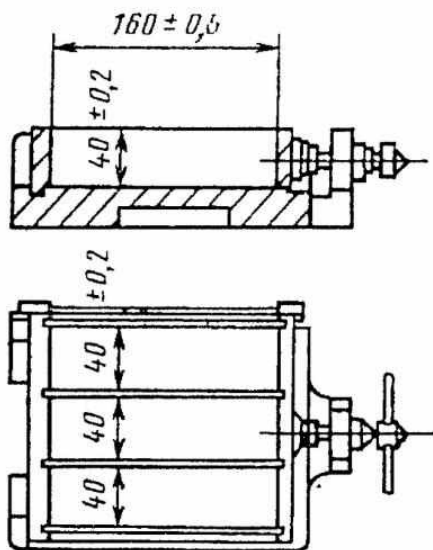


Рис. 3.5. Форма для изготовления образцов-балочек 4x4x16 см

относительно оси чаши должны осуществляться в противоположных направлениях со скоростью вращения вокруг собственной оси (140 ± 5) мин⁻¹; при планетарном перемещении относительно оси чаши – (62 ± 5) мин⁻¹.

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

Подготовка образцов

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 смесителя с водой, взятой в количестве, необходимом для получения теста стандартной консистенции, предварительно протертую влажной тканью.

Гипсовое тесто перемешивают в течение 60 с в смесителе до получения однородного теста, которым заливают форму. При работе смесителя вращение лопасти вокруг собственной оси и ее планетарное перемещение

Для изготовления образцов требуемых размеров используют разборную форму (рис. 3.5).

Внутреннюю поверхность стенок формы и поддон предварительно смазывают тонким слоем машинного масла.

Приготовленное тесто укладывают в форму. 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) %.

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

Проведение испытания

Для определения предела прочности на растяжение при изгибе образец устанавливают на опоры прибора для испытания на изгиб (рис. 3.6). Расстояние между опорами должно быть $(100 \pm 0,152)$ мм. Скорость нарастания нагрузки – (50 ± 10) Н/с.

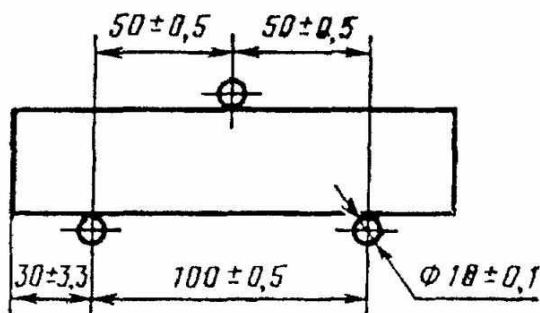


Рис.3.6. Схема устройства для испытания на растяжение при изгибе

Испытание проводят в соответствии с инструкцией, прилагаемой к прибору.

Обработка результатов

Предел прочности на растяжение при изгибе одного образца $R_{изг}$ МПа (Н/мм², кгс/см²), вычисляют по формуле:

$$R_{изг} = 0,00234F \quad (3.1)$$

где F – разрушающая нагрузка, Н.

За результат испытания принимают среднее арифметическое результатов трех испытаний, вычисленное с точностью $\pm 0,1$ МПа.

3.6. Определение предела прочности при сжатии

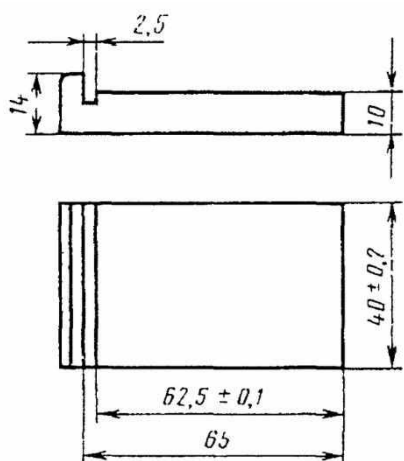


Рис. 3.7. Пластины-вкладыши для испытания половинок балочек на сжатие

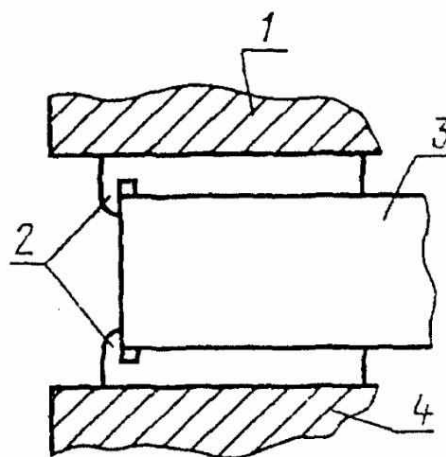


Рис. 3.8. Схема испытания на сжатие половинок образцов-балочек

Состав приборов:

Для испытания используют дополнительно пластины-вкладыши, через которые передаётся нагрузка на образец (рис.3.7)

Подготовка образцов

Предел прочности при сжатии определяют испытанием шести половинок образцов-призм, полученных после испытания на изгиб.

Проведение испытания

Половинку образца-призмы помещают между двумя пластинками для передачи нагрузки на образец так, чтобы боковые грани, которые при формовании образцов находились в вертикальном положении, находились в плоскостях пластинок, а упоры пластинок плотно прилегали к торцевой гладкой грани образца. Схему размещения образцов между станинами прессы см. рис. 3.8.

Скорость нарастания нагрузки при испытании — (50 ± 10) Н/с.

Предел прочности при сжатии одного образца $R_{сж}$, МПа, вычисляют по формуле

$$R_{сж} = \frac{F}{S} \quad (3.2)$$

где S – площадь рабочей поверхности пластинки, равная – 25см^2 .

Обработка результатов

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

3.7. Определение содержания гидратной воды

Состав приборов:

- печь муфельная;
- тигель фарфоровый;
- весы (с точностью взвешивания 0,0001 г);
- щипцы, шпатель;
- эксикатор с силикагелем;
- часы с таймером.

Проведение испытания

Навеску массой около 2 г, высушенную до постоянной массы при температуре 50°C, помещают в предварительно прокаленный взвешенный фарфоровый тигель и нагревают в муфельной печи при температуре 400°C в течение 1 ч. После прокаливания тигель с навеской охлаждают в эксикаторе и взвешивают с погрешностью до 0,0002 г.

Обработка результатов

Содержание гидратной воды, W %, вычисляют по формуле

$$W = \frac{G_1}{G} \cdot 100 \quad (3.3)$$

где G_1 – разность в массе тигля с навеской до и после прокаливания, г; G – масса навески гипса, г.

3.8. Определение объемного расширения

Состав приборов:

Прибор для определения объемного расширения (рис.3.9) состоит из штатива, на котором укреплен индикатор, и разъемного металлического цилиндра, скрепляемого при сборке кольцами.

Внутренний диаметр цилиндра – 50 мм, наружный – 56 мм, высота – 100 мм.

Проведение испытания

Прибор устанавливают на жестком основании 12, исключая возможность вибрации. Цилиндр 10 прибора ставят на стеклянную пластину 12, заполняют гипсовым тестом нормальной густоты.

Для удаления попавшего в тесто воздуха кольцо 9 с пластинкой четыре-пять раз встряхивают путем поднятия и опускания одной из сторон пластины примерно на 10 мм. После этого излишки теста срезают линейкой, заполненную форму закрывают крышкой 8 и устанавливают на опорной плите прибора.

Время затворения гипсового вяжущего водой и заполнения им цилиндра не должно превышать 2 мин

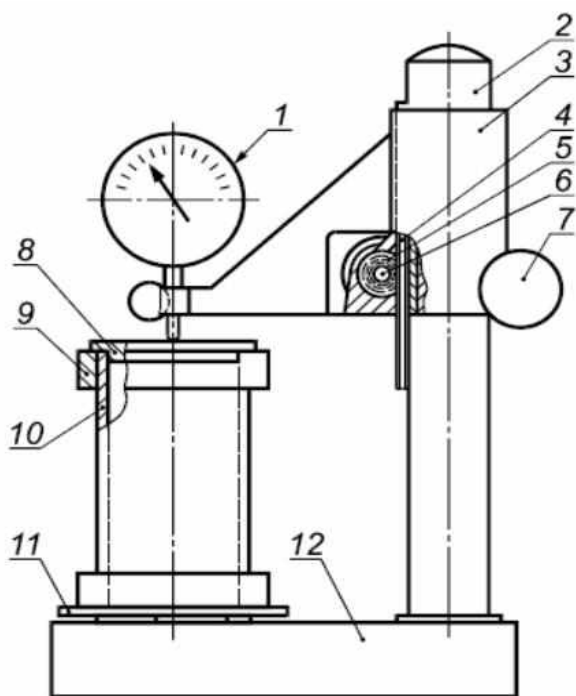


Рис. 3.9. Прибор для определения объемного расширения:
 1 – индикатор; 2 – стойка; 3 – кронштейн; 4 – рейка; 5 – зубчатое колесо; 6 – ось; 7 – винт; 8 – крышка; 9 – кольцо; 10 – цилиндр; 11 – стекло; 12 – основание

Стержень индикатора 1 поворотом винта 7 приводят в соприкосновение с углублением в крышке цилиндра 10. Дополнительно проводят еще один оборот винта 7 для установки индикатора 1 на нулевое значение и приступают к фиксации движения стрелки, вызываемого расширением гипсового раствора при его твердении.

Началом отсчета расширения следует считать момент появления положительных деформаций, концом определения – момент прекращения движения стрелки.

Значение объемного расширения, выраженного в процентах, численно равно значению деформации, выраженной в миллиметрах.

3.9. Определение водопоглощения

Состав приборов:

- шкаф сушильный, обеспечивающий температуру $(50 \pm 5)^\circ\text{C}$;
- весы с погрешностью взвешивания не более 0,01 г.

Проведение испытания

Водопоглощение гипса определяют на трех образцах-балочках. Образцы перед испытанием высушивают при температуре от 45°C до 55°C до постоянной массы. Массу образца считают постоянной, если результаты двух последовательных взвешиваний отличаются друг от друга менее чем на 0,1%.

Образцы взвешивают с точностью до 0,01 г, после чего помещают в горизонтальном положении в ванну и заливают до половины водой.

Через $2 \text{ ч} \pm 2 \text{ мин}$ их заливают водой полностью и выдерживают еще в течение $2 \text{ ч} \pm 2 \text{ мин}$. После этого образцы извлекают из воды, обтирают влажной тканью и взвешивают с точностью до 0,01 г.

Массу воды, вытекшую из пор образца на чашку весов, следует включать в массу насыщенного образца.

Водопоглощение гипса W_M отдельного образца по массе, %, вычисляют с погрешностью до 0,1% по формуле

$$W_M = \frac{m_c - m_b}{m_c} \cdot 100 \quad (3.4)$$

где m_c - масса высушенного образца, г;

m_b - масса водонасыщенного образца, г.

Водопоглощение гипса W_0 отдельного образца по объему, %, вычисляют с погрешностью до 0,1% по формуле

$$W_0 = \frac{W_M \rho_0}{\rho_b} \quad (3.5)$$

где ρ_0 – плотность гипсового камня в сухом состоянии, кг/м³;

ρ_b – плотность воды, принимаемая равной 1 г/см³.

Значения водопоглощения определяют как среднее арифметическое результатов трёх определений.

4. ГИДРАВЛИЧЕСКИЕ ВЯЖУЩИЕ. ПОРТЛАНДЦЕМЕНТ

4.1. Общие сведения

Портландцемент – гидравлическое вяжущее вещество, способное после затворения водой (смешивания с водой) образовывать подвижное тесто, схватываться, твердеть и набирать прочность как на воздухе, так и в воде, получаемое тонким измельчением портландцементного клинкера с необходимым количеством двуводного гипса $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ и специальных и технологических добавок. Измельченный клинкер после затворения водой схватывается в течение нескольких минут, что затрудняет изготовление изделий. Для замедления схватывания (до 3...5 часов) в состав клинкера вводят гипсовый камень $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ или другие материалы, содержащие сульфат кальция (фосфогипс, фторогипс и др.).

Портландцементный клинкер – продукт, получаемый путем обжига до спекания (т. е. частичного плавления) при температуре 1450°C сырьевой смеси, состоящей из кальциево-карбонатных (известняк, мел, мрамор) и алюмосиликатных (глина) горных пород или из природных смесей известняка и глины (наз. мергели) при соотношении 3:1 по массе.

Внешне клинкер представляет собой спекшуюся сырьевую массу в виде зерен размером 10...60 мм.

Качество клинкера определяет все технические характеристики портландцемента. Вводимые добавки лишь регулируют эти характеристики. Качество клинкера зависит от его химического и минералогического состава. Допускается введение в цемент при его помоле специальных пластифицирующих или гидрофобизирующих поверхностно-активных добавок в количестве не более 0,3% массы цемента в пересчете на сухое вещество добавки

Химический состав портландцементного клинкера: CaO – 60...67%; SiO_2 – 19...24%; Al_2O_3 – 4...8%; Fe_2O_3 – 2...6%; MgO – не более 5%; SO_3 – 1...4%; свободный CaO – не более 1%.

Эти оксиды находятся в составе клинкера в виде сложных соединений – клинкерных минералов.

Минералогический состав портландцементного клинкера, т. е. содержание основных клинкерных минералов определяется расчетным путем на основе данных химического анализа:

$3\text{CaO} \cdot \text{SiO}_2$ или C_3S (алит) – 40...65%;

$2\text{CaO} \cdot \text{SiO}_2$ или C_2S (белит) – 15...40%;

$2\text{CaO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3$ или C_3A (трехкальциевый алюминат) – 5...15%.

$2\text{CaO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot \text{Fe}_2\text{O}_3$ или C_4AF (алюмоферрит) – 10...20%.

В результате взаимодействия минералов, содержащихся в цементе, с водой образуются новые соединения – гидраты (гидросиликаты, гидроалюминаты, гидросульфоферриты кальция), которые придают в дальнейшем прочность цементному каню за счет кристаллизации новообразований.

Классификация марок и классов портландцемента и требования к параметрам свойств приведены в следующих нормативных документах:

ГОСТ 10178–85 «Портландцемент и шлакопортландцемент. Технические условия»;

ГОСТ 30515–2013 «Цементы. Общие технические условия»;

ГОСТ 31108–2003 «Цементы общестроительные. Технические условия»;

ГОСТ 30744–2001 «Цементы. Методы испытаний с использованием полифракционного песка».

По **ГОСТ 10178** условное обозначение цемента состоит из:

- наименования типа цемента - портландцемент, сокращенное обозначение ПЦ и ШПЦ;
- марки цемента;
- обозначения максимального содержания добавок в портландцементе Д0, Д5, Д20;
- обозначения быстротвердеющего цемента - Б;
- обозначения пластификации и гидрофобизации цемента - ПЛ, ГФ;
- обозначения цемента, полученного на основе клинкера нормированного состава, - Н;
- обозначения стандарта.

Пример условного обозначения

- * портландцемент марки 400, с добавками до 20%, быстротвердеющий, пластифицированный:

ПЦ 400-Д20-Б - ПЛ ГОСТ 10178–85

К важнейшим техническим характеристикам цемента относятся истинная и насыпная плотность, тонкость помола, водопотребность, сроки схватывания, равномерность изменения объема при твердении, прочность.

Предел прочности при изгибе и сжатии должен быть не менее значений табл. 4.1.

Таблица 4.1

Обозначение цемента	Гарантированная марка	Предел прочности, МПа (кг/см ²)			
		при изгибе в возрасте сут.		при сжатии в возрасте сут.	
		3	28	3	28
ПЦ-Д0, 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)	21,5(220)	39,2(400)

- по ГОСТ 30515 и ГОСТ 31108 по вещественному составу цементы подразделяют на пять **типов** (табл.4.2):

- ЦЕМ I - портландцемент;
- ЦЕМ II - портландцемент с минеральными добавками;
- ЦЕМ III - шлакопортландцемент;
- ЦЕМ IV - пуццолановый цемент;
- ЦЕМ V - композиционный цемент.

По содержанию портландцементного клинкера и добавок цементы типов ЦЕМ II ... ЦЕМ V подразделяют на **подтипы** А, В и С.

По прочности на сжатие в возрасте 28 сут цементы подразделяют на **классы**: 32,5; 42,5 и 52,5.

По прочности на сжатие в возрасте 2 (7) сут цементы подразделяют на **подклассы**:

- Н (нормальнотвердеющие);
- Б (быстротвердеющие);
- М (медленнотвердеющие).

Подкласс М применяют только для цементов ЦЕМ III/B и ЦЕМ III/C.

Условное обозначение цементов должно состоять:

- из наименования цемента;
- сокращенного обозначения цемента, включающего обозначение типа и подтипа цемента и вида добавки;
- класса прочности;
- обозначения подкласса;
- обозначения стандарта.

Примеры условных обозначений:

Портландцемент типа ЦЕМ I класса 42,5 быстротвердеющий:

Портландцемент
ЦЕМ I 42,5Б ГОСТ 31108

Портландцемент типа ЦЕМ II, подтипа В со шлаком (Ш) от 21% до 35%, класса прочности 32,5, нормальнотвердеющий:

Портландцемент со шлаком
ЦЕМ II/В-Ш 32,5Н ГОСТ 31108

Основные показатели цемента оцениваются с помощью образцов, которые изготовлены из цементного раствора специального состава.

Для определения прочности цемента предусмотрено использование полифракционного песка по ГОСТ 6139–2003, требования к которому соответствуют СТБ EN 195-1-2007.

Методы испытания портландцемента регламентированы **ГОСТ 30744–2001 «ЦЕМЕНТЫ. Методы испытаний с использованием полифракционного песка»**. ГОСТ 30744 не отменяет ГОСТ 310.1–76, ГОСТ 310.2–76, ГОСТ 310.3–76, ГОСТ 310.4–81.

Таблица 4.2

Типы цемента в зависимости от вещественного состава

тип цемента	наименование цемента	обозначение цемента	вещественный состав цемента, % от массы							
			основные компоненты							
			портландцементный клинкер (Кл)	доменный гранулированный шлак (Ш)	Пуццоланы (П)	Золы-уноса (З)	глиеж (Г)	микрокремнезем (МК)	известняк (И)	вспомогательные компоненты
ЦЕМ I	портландцемент	ЦЕМ I	95...100	-	-	-	-	-	-	0,5
ЦЕМ II	портландцемент с минеральными добавками: шлак	ЦЕМ II/A-Ш	80...94	6...20	-	-	-	-	-	0...5
		ЦЕМ II/B-Ш	65...79	21...35	-	-	-	-	-	0...5
		ЦЕМ II/A-П	80...94	-	6...20	-	-	-	-	0...5
	пуццоланы	ЦЕМ II/A-З	80...94	-	-	6...20	-	-	-	0...5
	золы уноса	ЦЕМ II/A-Г	80...94	-	-	-	6...10	-	-	0...5
	глиеж	ЦЕМ II/A-МК	80...94	-	-	-	-	6...10	-	0...5
	микрокремнезем	ЦЕМ II/A-И	80...94	-	-	-	-	-	6...20	0...5
известняк	ЦЕМ II/A-И	80...94	80...94	6...20						
композиционный портландцемент	ЦЕМ II/A-И	80...94	6...20							
ЦЕМ III	шлакопортландцемент	ЦЕМ III/A	35...64	35...65	-	-	-	-	-	0...5
ЦЕМ IV	пуццолановый портландцемент	ЦЕМ IV/A	65...79	-	21...35				-	0...5
ЦЕМ V	композиционный цемент	ЦЕМ V/A	40...78	11...30	11...30		-	-	-	0...5

4.2. Определение тонкости помола цемента

Состав приборов:

- сито с контрольной сеткой № 009 с подситной тарелкой и крышкой;
- прибор для механического или пневматического просеивания.
- весы с погрешностью не более 0,01 г;
- колба;
- стержень;
- лупа типа ЛП.

Проведение испытания

От пробы отбирают необходимое количество цемента, помещают в стеклянную колбу, закрывают пробкой и встряхивают вручную в течение 2 мин для дезагрегирования, после чего оставляют в покое на 2 мин, а затем перемешивают чистым сухим стержнем для равномерного распределения мелких частиц.

При ручном просеивании навеску цемента массой 10 г, высыпая на сито, установленное на подситной тарелке. Сито закрывают крышкой и встряхивают вручную.

Операцию просеивания считают законченной, если при контрольном просеивании сквозь сито проходит не более 0,01 г цемента. Контрольное просеивание выполняют вручную при снятой подситной тарелке на бумагу в течение 1 мин.

Обработка результатов

Остаток на сите взвешивают и выражают в процентах к первоначальной массе цемента.

За тонкость помола по остатку на сите принимают среднеарифметическое значение результатов двух определений, расхождение между которыми не должно быть более 1% среднеарифметического значения. Если расхождение более 1%, проводят третье определение и за тонкость помола принимают среднеарифметическое значение результатов трех определений.

Результат вычисления округляют до 0,1%.

4.3. Определение нормальной плотности цементного теста

Цементным тестом называют однородную пластичную подвижную смесь цемента с водой. Пластичность цементного теста характеризуется его нормальной плотностью.

Нормальной плотностью цементного теста считают такую его консистенцию, при которой пестик Прибора Вика, погруженный в заполненное цементным тестом кольцо, не доходит на 6 ± 2 мм до пластинки, на которой установлено кольцо.

За нормальную густоту цементного теста принимают количество воды затворения, выраженное в процентах от массы цемента, при котором достигается нормированная консистенция цементного теста.

Нормальная густота цементного теста (НГЦТ) характеризует водопотребность цемента, но надо иметь в виду, что водопотребность также могут связывать с консистенцией стандартной растворной смеси.

Нормальная густота зависит от вещественного состава клинкерной части цемента, вида и количества добавок.

Состав приборов:

- прибор Вика с пестиком (рис. 4.1);
- кольцо коническое цилиндрическое к прибору Вика;
- мешалка для приготовления теста;
- лопатка для перемешивания цементного теста;
- весы с разновесами;
- цилиндр для отмеривания воды с точностью измерения до 1%;
- нож;
- вода дистиллированная.

Проведение испытания

Испытание проводится согласно **ГОСТ 310.3–76**. Перед испытанием проверяют, свободно ли опускается стержень прибора Вика, нулевое показание прибора, приводят пестик в соприкосновение с пластинкой, на которой установлено коническое кольцо.

Кольцо и пластинку перед испытанием смазывают машинным маслом.

Готовят пробу цемента.

Воду в количестве, необходимом (ориентировочно) для получения цементного теста нормальной густоты, выливают в чашу смесителя, предварительно протертую влажной тканью, затем осторожно

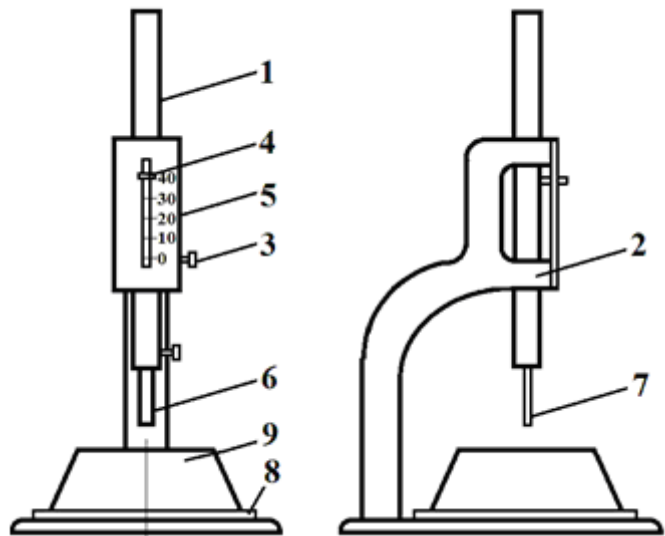


Рис. 4.1. Прибор Вика для определения НГЦТ:

- 1 – подвижный стержень; 2 – станина; 3 – стопорный винт; 4 – индикаторная стрелка; 5 – шкала с ценой деления 1 мм; 6 – пестик; 7 – игла; 8 – пластинка; 9 – кольцо.

в течение 5–10 с высыпают 500 г цемента и включают смеситель на малую скорость. Время окончания высыпания цемента в воду считают началом затворения.

Через 90 с смеситель останавливают на 15 с, в течение которых скребком снимают тесто, налипшее на стенках чаши, сдвигая его в середину чаши. Затем вновь включают смеситель на малую скорость и продолжают перемешивание еще в течение 90 с.

Суммарное время перемешивания цементного теста должно составлять 3 мин, не считая времени остановки.

Приготовленное цементное тесто быстро за один прием переносят в кольцо, установленное на пластинке, заполняя его с избытком, но без уплотнения или вибрации.

Избыток цементного теста срезают ножом, протертым влажной тканью, вровень с краями кольца до получения ровной поверхности. Кольцо с пластинкой устанавливают на основание станины прибора Вика, опускают пестик до соприкосновения с поверхностью цементного теста в центре кольца и в этом положении закрепляют стержень стопорным устройством.

Через 1–2 с освобождают стержень, предоставляя пестик свободно погружаться в цементное тесто. Время от начала затворения до начала погружения пестика в цементное тесто должно составлять 4 мин.

Через 30 с после освобождения стержня фиксируют по шкале прибора глубину погружения пестика в цементное тесто. В течение всего времени испытания кольцо с цементным тестом не должно подвергаться толчкам или сотрясениям.

Обработка результатов

Нормальной густотой цементного теста считают такую консистенцию, при которой пестик прибора, погруженный в заполненное цементным тестом кольцо, не доходит на (6 ± 1) мм до пластинки, на которой установлено кольцо.

Если глубина погружения пестика окажется меньше или больше указанной, испытания повторяют, соответственно увеличивая или уменьшая количество воды затворения до погружения пестика на требуемую глубину.

За нормальную густоту цементного теста принимают количество воды затворения в процентах массы цемента, при котором достигается нормированная консистенция цементного теста.

Результат вычисления округляют до 0,25%.

4.4. Определение сроков схватывания цементного теста

Схватывание цемента – процесс загустевания цементного теста нормальной густоты вследствие взаимодействия с водой (гидратации). Схватывание определяют на цементном тесте нормальной густоты по глубине погружения иглы прибора Вика с нагрузкой 300 ± 2 г.

Определение начала схватывания

Проведение испытания

В нижний конец стержня прибора Вика вставляют длинную иглу и проверяют готовность прибора к проведению испытания, чистоту поверхности и отсутствие искривлений иглы.

Готовят цементное тесто нормальной густоты. Цементное тесто переносят в кольцо прибора.

Иглу опускают до соприкосновения с поверхностью цементного теста и в этом положении закрепляют стержень стопорным устройством. Через 1–2 с освобождают стержень, предоставляя игле свободно погружаться в цементное тесто.

В начале испытания, пока цементное тесто находится в пластичном состоянии, во избежание сильного удара иглы о пластинку допускается ее слегка задерживать при погружении в тесто для исключения повреждения иглы. Как только цементное тесто загустеет настолько, что опасность повреждения иглы будет исключена, игле дают свободно опускаться.

Через 30 с после освобождения стержня фиксируют по шкале прибора глубину погружения иглы в цементное тесто. Затем иглу погружают в цементное тесто через каждые 10 мин, передвигая кольцо после каждого погружения таким образом, чтобы каждое последующее погружение иглы находилось на расстоянии не менее 10 мм от мест предыдущих погружений и от края кольца. После каждого погружения иглу протирают.

В промежутках между погружениями иглы кольцо с цементным тестом на пластинке помещают в камеру (шкаф) влажного хранения.

Началом схватывания считают интервал времени от начала затворения цемента до момента, когда игла при проникновении в цементное тесто не доходит до пластинки на (4 ± 1) мм.

Результат определения записывают с округлением до 5 мин.

Определение конца схватывания

Длинную иглу в приборе Вика заменяют на короткую иглу с кольцеобразной насадкой. Проверяют чистоту поверхности и отсутствие искривлений иглы.

Кольцо с цементным тестом, использованное для определения начала схватывания, переворачивают таким образом, чтобы определение конца схватывания проводить на поверхности, контактировавшей с пластинкой.

Иглу осторожно опускают до соприкосновения с поверхностью цементного теста, погружение иглы выполняют с интервалом 30 мин. При приближении конца схватывания интервалы времени между погружениями могут быть сокращены.

Концом схватывания считают время от начала затворения цемента до момента, когда игла проникает в цементное тесто не более чем на 0,5 мм, что соответствует положению иглы, при котором кольцеобразная насадка впервые не оставляет отпечатка на поверхности цементного теста.

4.5. Определение равномерности изменения объема

Равномерность изменения объема цемента – это свойство цементного теста нормальной густоты образовывать в процессе твердения цементный камень, деформация которого не превышает допустимых пределов, установленных нормативным документом, и не вызывает разрушения образцов.

Равномерность изменения объема характеризуют величиной расширения образца из цементного теста нормальной густоты в кольце Ле Шателье (рис. 4.2) при кипячении. Значение верхнего предела расширения – 10 мм.

Причины, вызывающие неравномерность изменения объема цемента, формируются в ходе технологического процесса производства цемента. Одна из них связана с присутствием в клинкере несвязанного (свободного) оксида кальция (CaO). В результате высокотемпературного обжига (1450°C) CaO становится мало реакционно-способным, при затворении цемента гидратирует медленно. И вызывает позднее расширение с разрушением цементного камня. Содержание CaO стараются ограничивать 1%.

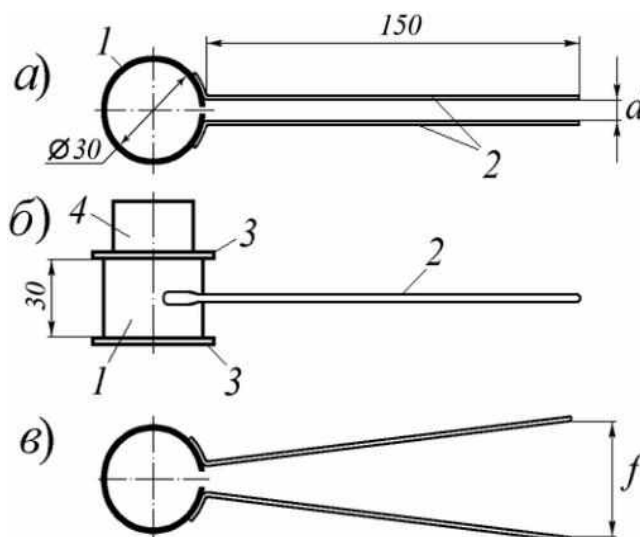


Рис. 4.2 Кольцо Ле Шателье

а) вид сверху, б) вид сбоку, в) после расширения образца; 1 – кольцо с прорезью, 2 – индикаторная игла; 3 – стеклянная пластинка; 4 – пригруз.

Неравномерности изменения объема также способствует медленная гидратация и увеличение объема продуктов гидратации оксида магния MgO. Содержание его ограничивают 5%.

Передозировка гипса также способствует неравномерности изменения объема цемента. Превышение содержания вызывает позднее образование этtringита и расширение объема цементного камня.

Состав приборов:

- кольца Ле Шателье в комплекте с пластинками и пригрузом;
- бачок для кипячения, имеющий подставку для размещения колец Ле Шателье;
- камера (шкаф) влажного хранения;
- штангенциркуль.

Проведение испытания

Кольца и пластинки перед началом испытания смазывают тонким слоем машинного масла.

Готовят цементное тесто нормальной густоты. Кольца устанавливают на пластинки и наполняют в один прием цементным тестом с избытком, но без уплотнения или вибрации. При заполнении колец исключают случайное раскрытие прорези осторожным сдавливанием кольца пальцами или резиновой лентой. Избыток цементного теста срезают ножом, протертым влажной тканью, вровень с краями кольца. Для одного испытания заполняют два кольца из одного замеса цементного теста.

Кольца, заполненные цементным тестом, накрывают сверху пластинками, на которые устанавливают пригруз, и помещают в камеру влажного хранения, где выдерживают в течение $(24 \pm 0,5)$ ч.

После предварительного твердения кольца извлекают из камеры, измеряют штангенциркулем расстояние между концами индикаторных игл с точностью до 0,5 мм (начальное измерение), освобождают от пластинок и пригруза и помещают в бачок для кипячения индикаторными иглами вверх. Воду в бачке доводят до кипения за (30 ± 5) мин и выдерживают кольца в кипящей воде в течение (180 ± 5) мин. Уровень воды в бачке должен быть выше размещенных на подставке колец на 4...6 см в течение всего времени кипячения.

После окончания кипячения кольца извлекают из воды, дают им остыть до температуры помещения, после чего измеряют расстояние между концами индикаторных игл (конечное измерение).

Обработка результатов

Вычисляют разность между значениями конечного и начального измерений для каждого кольца.

За расширение образцов в кольце Ле Шателье принимают среднеарифметическое значение результатов двух вычисленных определений. Результат вычисления округляют до 0,5 мм.

4.6. Определение прочности цемента

Прочность портландцемента является основной характеристикой его качеств. В зависимости от величины предела прочности при сжатии (активности цемента) и предела прочности при изгибе стандартных образцов-балочек через 28 сут. Твердения портландцемент подразделяют на марки и классы.

Марка цемента – это гарантированная величина его активности, округленная в меньшую сторону до целого значения. Для быстротвердеющих портландцементов (БПЦ) и шлакопортландцементов (ШПЦ), кроме того, нормируется предел прочности в сроки твердения 2...3 сут.

Состав приборов:

– трехгнездовые разъемные формы размером 40х40х160 мм для изготовления образцов-балочек (рис. 4.3);

– приспособления для укладки цементного раствора в форму: лопатки и линейка;

– встряхивающий стол для уплотнения раствора в форме (рис. 4.4),

– прибор для испытания на изгиб образцов-балочек, обеспечивающий возможность приложения нагрузки по заданной схеме (рис. 4.5)

– машина для испытания на сжатие половинок образцов-балочек с предельной нагрузкой до 500 кН, обеспечивающая нагружение образца в режиме чистого сжатия (рис. 4.6);

– нажимные пластинки из нержавеющей стали, размерами: 40 х 62,5 мм;

– камера влажного хранения;

– ванна для водного хранения образцов;

– весы с погрешностью не более 2 г;

– цилиндр мерный с ценой деления не более 1 мл.

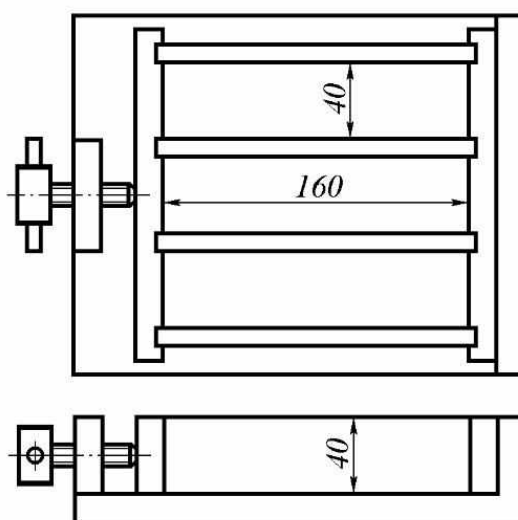


Рис. 4.3. Форма для изготовления образцов-балочек

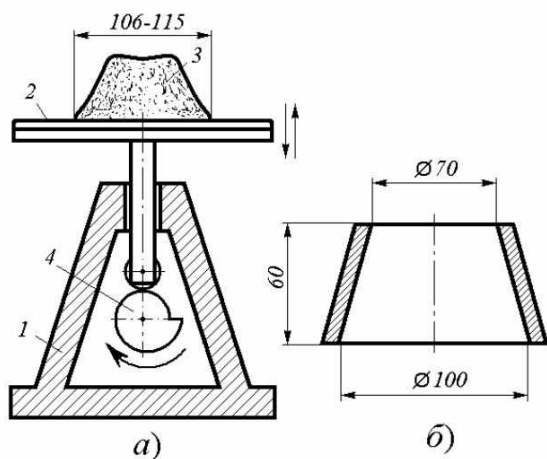


Рис. 4.4 Встряхивающий столик (а) и форма-конус (б): 1 – станина, 2 – стеклянный диск, 3 – растворная смесь, 4 – кулачок.

Изготовление образцов

По ГОСТ 310.4–81 для определения прочности изготавливают образцы из цементного раствора следующего состава: монофракционный стандартизованный песок и цемент в соотношении 3:1; количество воды по водоцементному отношению равному 0,4, подтвержденному консистенцией растворной смеси на встряхивающем столе по распылу конуса не менее 106 мм. Стандартизованный песок применяют потому, что качество песка (размер зерен и состав) может влиять на консистенцию раствора.

Для приготовления одного замеса цементного раствора, необходимого для изготовления трех образцов-балочек, взвешивают 450 г цемента, полифракционного песка массой 1350 г и отмеривают или взвешивают 225 г воды.

Всыпают в дозирующее устройство смесителя песок, цемент и вливают воду, после чего смеситель включают на малую скорость.

Внутреннюю поверхность стенок формы и опорной плиты смазывают слоем машинного масла.

На подготовленную форму устанавливают насадку, форму устанавливают на платформу встряхивающего стола и закрепляют зажимами.

От приготовленного цементного раствора непосредственно из чаши смесителя лопаткой отбирают поочередно три порции цементного раствора массой около 300 г каждая и заполняют первым слоем отсеки формы.

Цементный раствор выравнивают лопаткой для первого слоя, которую в вертикальном положении помещают плечиками на стенки насадки и перемещают по одному разу туда и обратно вдоль каждого отсека формы. Затем включают встряхивающий стол и уплотняют первый слой цементного раствора за рабочий цикл из 60 ударов.

После уплотнения первого слоя отсеки формы равномерно заполняют оставшимся в чаше цементным раствором и выравнивают

его лопаткой для второго слоя, перемещая ее аналогично выравниванию первого слоя. Снова включают встряхивающий стол и уплотняют второй слой цементного раствора за рабочий цикл из 60 ударов.

По окончании уплотнения с формы снимают насадку и ребром металлической линейки, расположенной перпендикулярно к поверхности образцов, удаляют излишек цементного раствора пилообразными движениями вдоль формы по одному разу туда и обратно. Затем выравнивают поверхность образцов той же линейкой, наклоненной почти до горизонтального положения, и производят их маркировку (ставят номер образца). Для каждого установленного срока испытаний изготавливают по три образца-балочки.

Форму с образцами накрывают пластинкой и помещают на полку в камеру (шкаф) влажного хранения.

Через (24 ± 1) ч с момента изготовления формы с образцами вынимают из шкафа и осторожно расформовывают. Для проверки качества выполнения операций перемешивания и уплотнения, а также контроля содержания воздуха в цементном растворе рекомендуется взвешивать расформованные образцы. Образцы, подлежащие испытанию в суточном возрасте, расформовывают не ранее чем за 20 мин до испытания.

После расформовки образцы укладывают на решетки в ванну с водой в горизонтальном положении заглаженной поверхностью вверх так, чтобы они не соприкасались друг с другом и уровень воды был выше образцов не менее чем на 2 см. Температура воды при хранении образцов должна быть 20 ± 1 °С.

Через каждые 14 сут половину объема воды в ванне меняют на свежую воду.

По истечении срока хранения образцы испытывают.

Перед испытанием с поверхности образцов должны быть удалены капли воды.

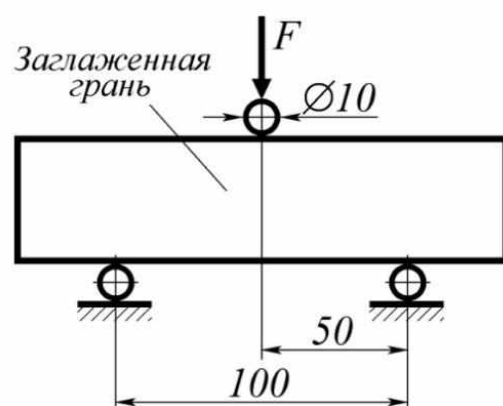


Рис. 4.5. Прибор для испытания на изгиб

Определение прочности при изгибе

Проведение испытания

Образец устанавливают на опорные элементы прибора таким образом, чтобы его грани, горизонтальные при изготовлении, находились в вертикальном положении, а поверхность с маркировкой была обращена к испытателю (рис. 4.5.).

Средняя скорость нарастания нагрузки на образец должна быть (50 ± 10) Н/с.

Определение прочности на сжатие

Проведение испытания

Полученные после испытаний на изгиб половинки образцов-балочек сразу же испытывают на сжатие.

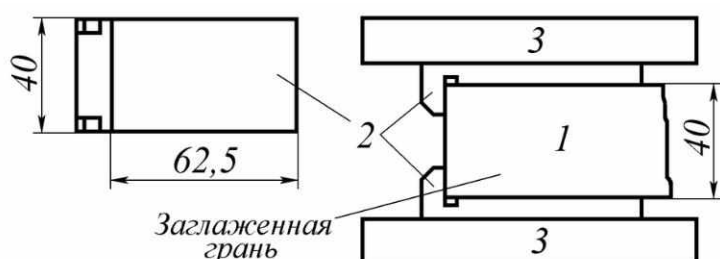


Рис. 4.6. Схема испытания на сжатие:
1 - половина образца, 2 - нажимные пластины, 3 - станина пресса

Половинку образца-балочки помещают между нажимными пластинками таким образом, чтобы его грани, горизонтальные при изготовлении, находились в вертикальном положении, а поверхность с маркировкой была обращена к испытателю (рис. 4.6).

В продольном направлении расположение половинки образца-балочки должно быть таким, чтобы ее торец выступал из нажимных пластинок размером 40x40 мм примерно на 10 мм.

Средняя скорость нарастания нагрузки на образец должна быть (2400 ± 200) Н/с.

Обработка результатов испытаний

Прочность при изгибе

$R_{изг}$ МПа, отдельного образца-балочки вычисляют по формуле:

$$R_{изг} = \frac{1,5 \cdot F \cdot l}{b^3}, \text{ МПа} \quad (4.1)$$

где: F – разрушающая нагрузка, Н;

b – размер стороны квадратного сечения образца-балочки, 40 мм.

l – расстояние между осями опор, 100 мм.

За прочность при изгибе принимают среднеарифметическое значение результатов испытаний трех образцов.

Результат вычисления округляют до 0,1 МПа.

Прочность при сжатии

Значение показателя $R_{сж}$, МПа, отдельной половинки образца-балочки вычисляют по формуле:

$$R_{сж} = \frac{F}{S} \text{ МПа} \quad (4.2)$$

где F – разрушающая нагрузка, Н;

S – площадь рабочей поверхности нажимной пластинки, 25 см².

За прочность на сжатие принимают среднеарифметическое значение результатов испытаний шести половинок образцов-балочек. Результат вычисления округляют до 0,1 МПа.

Если один из шести результатов отличается более чем на 10% от среднеарифметического значения, этот результат следует исключить и рассчитывать среднеарифметическое значение для оставшихся пяти результатов.

Полученное таким образом фактическое значение предела прочности при сжатии половинок образцов-балочек называют активностью цемента.

По результатам вычисления предела прочности при изгибе и при сжатии определяют марку цемента.

Ориентировочно марку портландцемента можно определить в более раннем возрасте, но не менее 3 суток, по логарифмической зависимости прочности цементного раствора от времени его твердения:

$$R_{28} = R_n \cdot \frac{\lg 28}{\lg n} \quad (4.3)$$

где: R_{28} – предел прочности цементного раствора при изгибе или сжатии в возрасте 28 суток твердения, МПа;

R_n – предел прочности цементного раствора при изгибе или сжатии в возрасте n суток твердения, МПа;

n – возраст образца к моменту испытания, сут. (не менее 3 сут).

5. ЦЕМЕНТОБЕТОН. ПОДБОР СОСТАВА ТЯЖЕЛОГО ЦЕМЕНТОБЕТОНА

5.1. Общие сведения о бетоне и бетонных смесях

Бетон – это искусственный камневидный строительный материал, получаемый в результате формования и твердения рационально подобранной и уплотненной бетонной смеси.

Бетонная смесь – это готовая к применению перемешанная однородная смесь вяжущего, заполнителей и воды с добавлением или без добавления химических и минеральных добавок, которая после уплотнения, схватывания и твердения превращается в бетон.

Бетонная смесь заданного нормированного состава – это бетонная смесь заданного состава, который определен конкретным стандартом или техническим документом, например, производственными нормами.

Минеральное вяжущее вещество и вода – активные составляющие в бетоне, мелкий и крупный заполнитель – пассивные.

Бетонные смеси в зависимости от степени готовности подразделяют на следующие разновидности: смеси готовые к употреблению и сухие смеси. Смесь сухих компонентов без воды называется сухой бетонной смесью.

Бетонные смеси подразделяют на типы:

- бетонные смеси тяжелого бетона (БСТ);
- бетонные смеси мелкозернистого бетона (БСМ);
- бетонные смеси легкого бетона (БСЛ).

А также на группы: жесткие (Ж), подвижные (П) и растекающиеся (Р). Группы подразделяют на марки по удобоукладываемости (табл. 5.1). Условное обозначение бетонной смеси должно состоять из сокращенного обозначения бетонной смеси, класса бетона по прочности, марки бетонной смеси по удобоукладываемости и, других нормируемых показателей качества: марки по морозостойкости, марки по водонепроницаемости, средней плотности бетона и др.

Пример условного обозначения:

1. Бетонной смеси тяжелого бетона класса по прочности на сжатие В25, марки по удобоукладываемости П1, марок бетона по морозостойкости F200 и водонепроницаемости W4:

БСТ В25 П1 F200 W4 ГОСТ 7473–2010;

2. Бетонной смеси легкого бетона класса по прочности на сжатие В12,5, марки по удобоукладываемости П2, марок бетона по морозостойкости F200, водонепроницаемости W2, средней плотности D900:

БСЛ В12,5 П2 F200 W2 D900 ГОСТ 7473–2010

Нормативные требования к показателям свойств бетонных смесей приведены в **ГОСТ 7473–2010 СМЕСИ БЕТОННЫЕ Технические условия**.

Описание методик испытания бетонных смесей приведены в **ГОСТ 10181.0–10181.4–2014 СМЕСИ БЕТОННЫЕ Методы испытаний**.

Таблица 5.1

Марки удобоукладываемости бетонных смесей

Марка	Расплыв конуса, см	Осадка конуса, см	Жесткость, с
P1	менее 35	-	-
P2	35...41	-	-
P3	42...48	-	-
P4	49...55	-	-
P5	56...62	-	-
P6	более 62	-	-
П1	-	1...4	-
П2	-	5...9	-
П3	-	10...15	-
П4	-	16...20	-
П5	-	более 20	-
Ж1	-	-	5...10
Ж2	-	-	11...20
Ж3	-	-	21...30
Ж4	-	-	31...50
Ж5	-	-	более 50

Нормируют следующие свойства бетонных смесей:

- удобоукладываемость (оценивают по подвижности и жесткости);
- средняя плотность;
- устойчивость к расслоению – расслаиваемость;
- пористость;
- температура;
- сохраняемость свойств во времени;
- объем вовлеченного воздуха.

Учитывая широкое применение бетона в строительстве, существуют разные виды бетона по прочности, плотности, виду вяжущего и другим показателям свойств. Общая классификация бетонов по ГОСТ 26633-2015 Бетоны тяжёлые и мелкозернистые приведена на рис. 5.1.

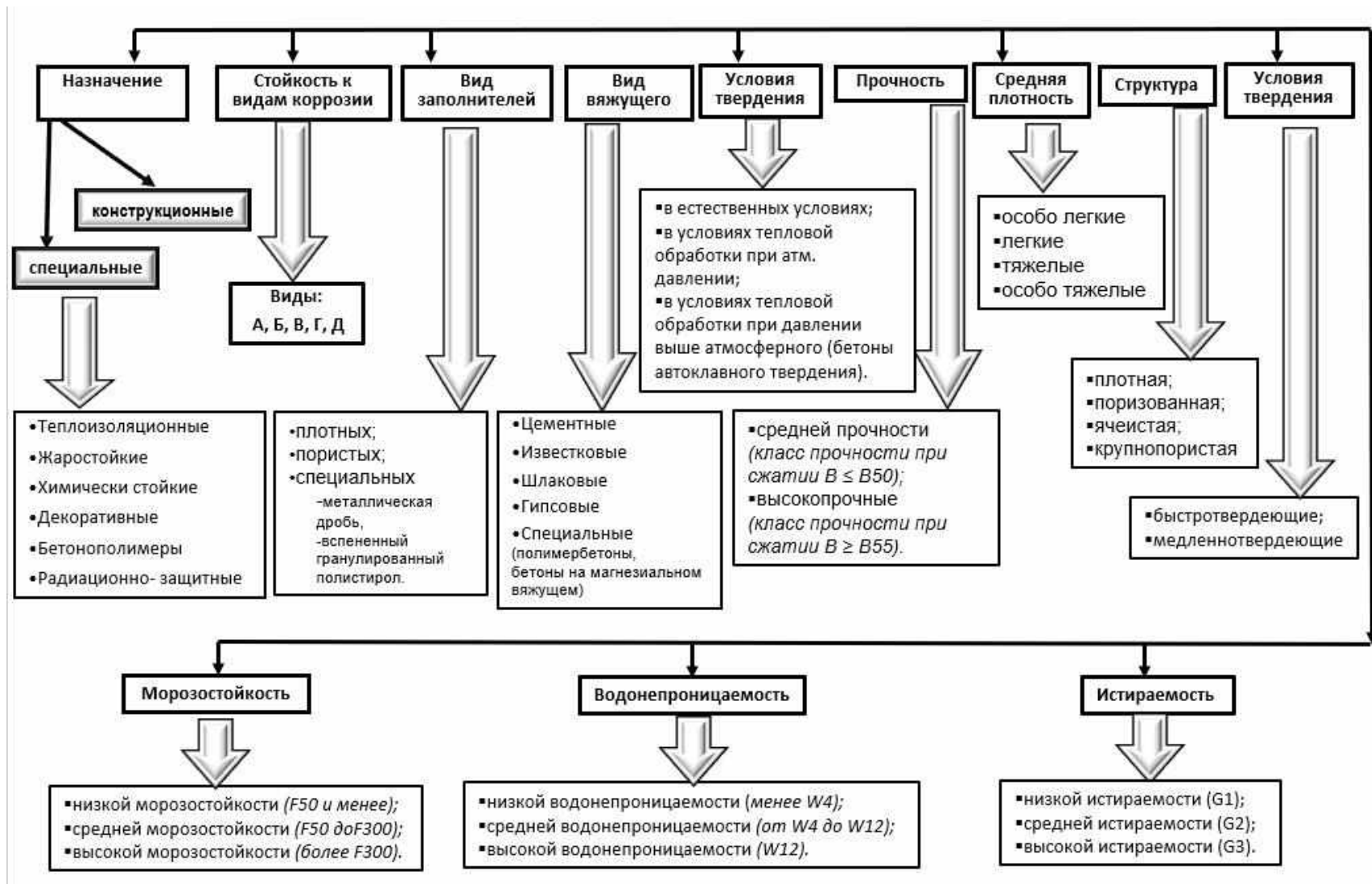


Рис. 5.1. Классификация бетонов

Наименование бетона определенного типа (вида) должно включать в себя, как правило, все классификационные признаки, установленные стандартом. Признаки, не являющиеся определяющими для бетона данного типа (вида), допускается не включать в его наименование. Для несущих бетонных и железобетонных конструкций наиболее применяемыми являются бетоны следующих видов: тяжелый бетон, мелкозернистый бетон, легкий бетон.

В транспортном строительстве наибольшее распространение нашёл тяжелый бетон – бетон плотной структуры, на плотных заполнителях, крупно и мелкозернистый, на цементном вяжущем, средней плотностью не менее 2200...2500 кг/см³.

Наиболее значимые свойства бетона – это прочность, плотность, морозостойкость. В их ряду главной прочностной характеристикой является **класс бетона**.

Бетон, являясь гетерогенным материалом, имеет прочностные характеристики, которые могут меняться от партии к партии в связи с изменчивостью свойств природных материалов, используемых для его приготовления, а также с такими технологическими параметрами как точность дозирования, неоднородность перемешивания и условий твердения. Гарантированная прочность бетона обеспечивается показателем **класс бетона**.

В соответствии с ГОСТ 26633–2015 бетоны подразделяют:

- ✓ на **классы** по видам прочности:
 - По прочности на сжатие: В3,5; В5; В7,5; В10; В12,5; В15; В20; В22,5; В25; В27,5; В30; В35; В40; В45; В50; В55; В60; В70; В75; В80; В90; В100; В110; В120.
 - По прочности на осевое растяжение: В_t 0,8; В_t 1,2; В_t 1,6; В_t 2,0; В_t 2,4; В_t 2,8; В_t 3,2; В_t 3,6; В_t 4,0; В_t 4,4; В_t 4,8.
 - По прочности на растяжение при изгибе: В_{tb} 1,2; В_{tb} 1,6; В_{tb} 2,0; В_{tb} 2,4; В_{tb} 2,8; В_{tb} 3,2; В_{tb} 3,6; В_{tb} 4,0; В_{tb} 4,4; В_{tb} 4,8; В_{tb} 5,2; В_{tb} 5,6; В_{tb} 6,0; В_{tb} 6,4; В_{tb} 6,8; В_{tb} 7,2; В_{tb} 7,6; В_{tb} 8,0; В_{tb} 8,4; В_{tb} 8,8; В_{tb} 9,2; В_{tb} 9,6; В_{tb} 10,0.
- ✓ на **марки**:
 - марки морозостойкости (по первому базовому методу): F₁50; F₁75; F₁100; F₁150; F₁200; F₁300; F₁400; F₁500; F₁600; F₁800; F₁1000;
 - марки морозостойкости (по второму базовому методу): F₂100; F₂150; F₂200; F₂300; F₂400; F₂500;
 - марки по водонепроницаемости: W2, W4, W6, W8, W10, W12, W14, W16, W18, W20;
 - марки по истираемости при испытании на круге истирания: G1, G2, G3.

5.2. Требования к материалам для бетона

1. Цемент

Требования к цементу для тяжёлого бетона изложены в п. 4.6 ГОСТ 26633–2015 и п. 6.4.1 ГОСТ 31384–2019.

В качестве вяжущих материалов применяют портландцемент с минеральными добавками либо шлакопортландцемент, соответствующие требованиям ГОСТ 10178-85, сульфатостойкий и пуццолановые цементы по ГОСТ 22266-2013, глиноземистые цементы по ГОСТ 969-2019, цементы общестроительные по ГОСТ 31108-2016 и для дорог по ГОСТ 33174-2014. В агрессивных условиях эксплуатации изделий и конструкций вид цемента следует выбирать по ГОСТ 31384-2017. Для всех видов конструкций при необходимости применяются пластифицированные и гидрофобные цементы.

Для бетонов класса по прочности на сжатие В60 (а также для дорожных и аэродромных покрытий) и выше следует применять портландцемент без минеральных добавок марки не ниже ПЦ 500 или класса не ниже ЦЕМ I 42,5 с содержанием С₃А не более 8%.

Вид и марку цемента назначают в соответствии с условиями эксплуатации сооружения, требуемого класса бетона по прочности, марок по морозостойкости, водонепроницаемости, а также воздействия агрессивной вредной среды либо вредных примесей в заполнителях бетона.

При производстве сборных конструкций, подвергающихся тепловой обработке, применяют цементы I и II групп эффективности при пропаривании.

ГОСТ 26633 устанавливает минимальный расход цемента для тяжёлого бетона (табл. 5.2).

Таблица 5.2

Минимальный расход цемента для тяжелых бетонов

Вид конструкции	Расход цемента вида (типа), кг/м		
	ПЦ-Д0, ПЦ-Д5, ЦЕМ I, ЦЕМ I СС	ПЦ-Д20, ЦЕМ II, ЦЕМ II СС	ШПЦ, ЦЕМ III АСС, ЦЕМ III, ЦЕМ IV, ЦЕМ V
Неармированные, условия эксплуатации без замораживания	Не нормируется		
Армированные с ненапрягаемой арматурой	150	170	180
Армированные с предварительно напряженной арматурой	220	240	270

Минимальный расход цемента для тяжелых бетонов, предназначенных для изготовления изделий и конструкций, эксплуатируемых в агрессивных средах, принимают по ГОСТ 31384.

2. Крупный заполнитель

Требования к цементу для тяжёлого бетона изложены в **ГОСТ 26633–2015** (п. 4.7) и **ГОСТ 31384–2019** (п. 6.4.2).

В качестве крупных заполнителей для бетонов применяют:

- щебень,
- щебень из гравия и гравий из плотных горных пород,
- щебень из отсевов дробления плотных горных пород,
- щебень из доменных и ферросплавных шлаков черной металлургии,
- щебень из дробленого бетона и железобетона,
- щебень из шлаков ТЭЦ.

В качестве мер защиты от внутренней коррозии заполнителя за счет потенциально реакционноспособных пород необходимо предусматривать:

- 1) подбор состава бетона при минимальном расходе цемента;
- 3) изготовление бетона на портландцементе с минеральными добавками, пуццолановом портландцементе и шлакопортландцементе;
- 4) введение в состав бетона гидрофобизирующих и газовыделяющих добавок;
- 5) введение добавок солей лития;
- 6) разбавление заполнителя реакционноспособной породы заполнителем, не содержащим реакционноспособный компонент.

Заполнители для бетона выбирают по зерновому составу, прочности, морозостойкости, плотности, содержанию пылевидных и глинистых частиц, наличию и содержанию вредных и посторонних загрязняющих примесей, радиационно-гигиенической характеристике и другим показателям качества по **ГОСТ 8267** и **ГОСТ 8736**.

Средняя плотность крупного заполнителя должна быть в пределах от 2000 до 3000 кг/м³ включительно.

Щебень из дробленого бетона и железобетона не следует применять в бетонах класса по прочности на сжатие выше В35.

Наибольшая крупность зерен заполнителя должна быть установлена в стандартах, технических условиях или иных нормативных и технических документах на бетонные и железобетонные изделия и конструкции, утвержденных в установленном порядке.

Крупный заполнитель следует применять в виде отдельно дозируемых фракций при приготовлении бетонной смеси. Допускается

применение крупного заполнителя в виде смеси двух смежных фракций, соответствующих требованиям, приведенным в табл. 5.3.

В качестве крупного заполнителя бетона классов по прочности на сжатие В60 и выше следует применять щебень из плотных горных пород марки по дробимости не ниже 1200.

Содержание зерен слабых пород в щебне для бетона классов В60 и выше не должно превышать 5% массы.

Содержание пылевидных и глинистых частиц в щебне из изверженных и метаморфических пород, щебне из гравия и в гравии для бетонов классов по прочности на сжатие В25 и выше не должно превышать 1,0% массы.

Таблица 5.3

Содержание отдельных фракций крупного заполнителя в бетоне

Наибольшая крупность заполнителя, мм	Содержание фракций в крупном заполнителе, %				
	От 5 до 10 мм	Св.10 до 20 мм	Св. 20 до 40 мм	Св. 40 до 80 мм	Св. 80 до 120 мм
10	100	-	-	-	-
20	25–40	60–75	-	-	-
40	15–25	20–35	40–65	-	-
80	10–20	15–25	20–35	35–55	-
120	5–10	10–20	15–25	20–30	25–35

Содержание пылевидных и глинистых частиц в щебне из осадочных пород для бетонов класса В25 и выше не должно превышать 2,0% массы.

Содержание зерен пластинчатой (лещадной) и игловатой форм в крупном заполнителе не должно превышать 35% массы.

Содержание зерен пластинчатой (лещадной) и игловатой форм в щебне для бетонов классов по прочности на сжатие В60 и выше не должно превышать 15% массы.

При проектных требованиях к бетону марки по морозостойкости F₁₂₀₀ (F₂₁₀₀) и выше должен применяться крупный заполнитель из изверженных и метаморфических пород с водопоглощением не более 1,0%, из осадочных пород – с водопоглощением не более 2,5%.

Марка по морозостойкости крупного заполнителя в зависимости от температуры эксплуатации конструкций и изделий, кроме покры-

тий и оснований автомобильных дорог и аэродромов, заглубленных конструкций бетонных подготовок и фундаментов, гидротехнических сооружений, должна быть не ниже указанной в табл. 5.4.

Таблица 5.4

Марка по морозостойкости крупного заполнителя с учетом температуры эксплуатации конструкций

Среднемесячная температура наиболее холодного месяца, °С	От 0°С до -10°С	От -10°С до -20°С	Ниже -20°С
Марка по морозостойкости щебня и гравия	F100	F200	F300

3. Песок

В качестве мелкого заполнителя для бетонов применяют:

- природный песок класса I по ГОСТ 8736,
- пористый песок по ГОСТ 32496,
- песок из отсевов дробления горных пород по ГОСТ 31424, их смеси,
- песок из доменных и ферросплавных шлаков черной металлургии по ГОСТ 5578,
- мелкозернистые золошлаковые смеси по ГОСТ 25592.

Истинная плотность мелкого заполнителя должна быть в пределах от 2000 до 2800 кг/м³ включительно.

Содержание пылевидных и глинистых частиц в мелком заполнителе не должно быть более 3% по массе.

Содержание пылевидных и глинистых частиц в мелком заполнителе бетона класса В60 и выше не должно быть более 2% по массе.

4. Вода затворения

Вода для затворения бетонной смеси и приготовления растворов химических добавок должна соответствовать требованиям ГОСТ 23732-2011.

Вода не должна содержать примесей, нарушающих сроки схватывания и твердения, снижающих прочность и морозостойкость бетона.

Для затворения бетонной смеси применяют водопроводную питьевую воду, а также природную воду (рек, естественных водоёмов), имеющую водородный показатель рН не менее 4, содержащую не более 5000 мг/л минеральных солей, в том числе сульфатов не более 2700 мг/л (в пересчёте на SO₃). Не допускается применять болотные, а также сточные воды без их очистки.

5. Добавки

Добавки применяют в бетонах для регулирования и улучшения свойств бетонной смеси и бетона, для снижения расхода цемента, повышения качества и энергетических затрат. Вид и количество вводимых добавок уточняют опытным путём в зависимости от вида и качества исходных материалов, применяемых для приготовления бетонной смеси и режимов твердения. Добавки должны соответствовать требованиям **ГОСТ 24211–2008 «Добавки для бетонов. Общие технические требования»**, а также стандартам и техническим условиям, по которым они выпускаются.

В Российской Федерации – требования отдельно **ГОСТ Р 56178–2014 «Модификаторы органо-минеральные типа МБ для бетонов, строительных растворов и сухих смесей. Технические условия»**, **ГОСТ Р 56592-2015 «Добавки минеральные для бетонов, строительных растворов. Общие технические условия»**.

Зола-унос, применяемая в качестве добавки, должна соответствовать **ГОСТ 25818–2017**.

При применении добавок, в том числе содержащих хлористые соли, следует выполнять требования, установленные в пункте 6.4.3 **ГОСТ 31384–2017**.

Для повышения стойкости бетона железобетонных конструкций, эксплуатируемых в агрессивных средах, следует использовать добавки, снижающие проницаемость бетона или повышающие его химическую стойкость и морозостойкость, повышающие защитную способность бетона по отношению к арматуре, а также повышающие стойкость бетона в условиях воздействия биологически активных сред.

Общее количество химических добавок при их применении для приготовления бетона не должно составлять более 5% массы цемента, если отсутствуют надежные подтверждения обеспечения долговечности бетона при повышенных дозировках добавок.

Добавки, применяемые при изготовлении железобетонных изделий и конструкций, не должны оказывать коррозионного воздействия на бетон и арматуру.

В состав бетона, в том числе в составы вяжущего, заполнителей и воды затворения, не допускается введение хлористых солей при изготовлении следующих железобетонных конструкций:

- 1) с напрягаемой арматурой;
- 2) с ненапрягаемой проволочной арматурой класса В-I диаметром 5 мм и менее;
- 3) эксплуатируемых в условиях влажного или мокрого режима;
- 4) с автоклавной обработкой;
- 5) подвергающихся электрокоррозии.

Не допускается введение хлористых солей в состав бетонов и растворов для инъектирования каналов предварительно напряженных конструкций, а также для замоноличивания швов и стыков сборных и сборно-монолитных железобетонных конструкций.

Возможность применения в составе бетонов добавок нитратов, нитритов, а также в защитных составах, используемых для ремонта и восстановления железобетонных конструкций, эксплуатирующихся в условиях воздействия агрессивных сред, должна быть проверена в специализированных лабораториях.

При наличии в заполнителях потенциально реакционноспособных пород не допускается введение в бетон в качестве добавок солей натрия или калия.

Количество вводимых в бетон минеральных добавок должно определяться, исходя из требований обеспечения необходимой долговечности бетона на уровне не ниже, чем у бетона без таких добавок.

5.3. Расчет состава бетонной смеси

Расчёт предварительного состава

Из существующих методов расчета наиболее широко применяемый – метод абсолютных объемов. В основе метода заложена гипотеза, что наибольшая плотность материала обеспечивается при условии, что сумма абсолютных объемов исходных материалов, взятых для приготовления 1 куб. м бетонной смеси соответствует 1000 л. исходя из этих условий, сумма абсолютных объемов составляющих будет равна 1000 л.

$$V_{\text{щ}} + V_{\text{ап}} + V_{\text{ац}} + V_{\text{в}} = 1000, \text{ л} \quad (5.1)$$

где $V_{\text{щ}}$, $V_{\text{ап}}$, $V_{\text{ац}}$ - соответственно, абсолютные объемы щебня, песка, цемента, $V_{\text{в}}$ - объем воды.

Расчет позволяет определить количество составляющих (цемента, воды, заполнителей и песка) для получения бетонной смеси заданной удобоукладываемости и затем бетона с заданными значениями показателей прочности, морозостойкости и долговечности. При этом обеспечивается минимальный расход цемента, и максимальная плотность бетона.

Основание для проектирования состава – Задание на расчёт состава бетонной смеси, в котором в соответствии с требованиями **ГОСТ 27006–2019** должны быть указаны:

- 1) назначение бетона (изготовление сборных изделий, монолитных конструкций, товарный бетон);
- 2) условия твердения (до достижения промежуточного или проектного возраста);
- 3) нормируемые технологические показатели качества бетонных смесей по ГОСТ 7473;
- 4) нормируемые показатели качества бетона по ГОСТ 26633;
- 5) ограничения по составу бетона и применяемых материалов;
- 6) параметры оптимизации;
- 7) технологические характеристики бетонных смесей;
- 8) физико-механические характеристики бетона;
- 9) технико-экономические показатели производства.

На первом этапе выполняется сбор исходных данных, в состав которых входят:

- назначение бетона и условия службы в сооружении,
- класс бетона,
- требования по морозостойкости, водонепроницаемости, тепловыделению,
- марка бетонной смеси по удобоукладываемости,
- допустимая наибольшая крупность зерна щебня и прочее.

Основываясь на данных Задания, выбирают или назначают составляющие бетон материалы.

Ввиду того, что в расчете используют значения прочности цемента и бетона, от заданной нормативной прочности бетона (класса) переходят к его прочности. Состав бетона подбирают исходя из среднего уровня прочности R_y .

Для этого используют значение коэффициента вариации. Если данных о фактическом коэффициенте вариации нет, то разрешается использовать нормативное значение – 13,5%.

Средний уровень прочности определяют по формуле:

$$R_y = R_T = 1,1 \cdot B_{\text{норм}} / K_6 \quad (5.2)$$

где K_6 – коэффициент, принимаемый равным 0,78 (при нормативном коэффициенте вариации 13,5%).

Если фактический коэффициент вариации известен, то требуемую прочность бетона определяют по формуле:

$$R_T = K_T \cdot B_{\text{норм}}, \quad (5.3)$$

где коэффициент K_T определяют по табл. 5.5.

Таблица 5.5

V_n %	6	7	8	9	10	11	13	15	16
K_T	1,07	1,08	1,09	1,11	1,14	1,18	1,28	1,38	1,43

Средний уровень прочности бетона, по которому выполняется расчет, определяют по формуле:

$$R_y = K_{мп} \cdot R_T \quad (5.4)$$

где $K_{мп}$ (коэффициент межпартионной однородности) определяют по табл. 5.6.

Таблица 5.6

V_n %	6	6...7	7...8	8...10	10...12	12...14	от 114
$K_{мп}$	1,03	1,04	1,05	1,07	1,09	1,12	1,15

Водоцементное отношение В/Ц определяют из формул:

$$R_6 = AR_{ц} (\frac{Ц}{В} - C), \text{ при } \frac{Ц}{В} \leq 2,5 (\frac{В}{Ц} \geq 0,4),$$

$$R_6 = AR_{ц} (\frac{Ц}{В} + C), \text{ при } \frac{Ц}{В} > 2,5 (\frac{В}{Ц} < 0,4),$$

где: R_6 – прочность бетона при сжатии или изгибе, МПа;

$R_{ц}$ – прочность цемента при сжатии или изгибе, соответствующая марке (активность) МПа;

A – коэффициент, зависящий от вида крупного заполнителя, В/Ц и применения воздухововлекающих добавок (табл.5.7, 5.8);

C – коэффициент (при расчете по сжатию 0,5; по изгибу 0,1).

$$\frac{В}{Ц} = \frac{A \cdot R_{ц}}{R_y \pm C \cdot A \cdot R_{ц}} \quad (5.5)$$

Где: R_y – средний уровень прочности бетона, МПа;

Знак «+» – при $\frac{В}{Ц} \geq 0,4$; знак «-» при $\frac{В}{Ц} < 0,4$.

Таблица 5.7

Заполнители	Значение коэффициента А при:	
	$\frac{В}{Ц} < 0,4$	$\frac{В}{Ц} \geq 0,4$
Высококачественные	0,43	0,65
Рядовые	0,40	0,60
Пониженного качества	0,37	0,55

При применении для дорожных и аэродромных бетонов воздухововлекающих добавок коэффициент А принимают по табл.5.8.

Таблица 5.8

Назначение бетона	Вид добавки	Коэффициент А
Для однослойного и верхнего слоя двухслойных покрытий	Воздухововлекающая	0,34
	Газообразующая	0,36
Для нижнего слоя двухслойных покрытий	Воздухововлекающая	0,36
	Газообразующая	0,37

Для дорожных и аэродромных однослойных и верхнего слоя двухслойных покрытий водоцементное отношение в бетонной смеси должно быть не более 0,50, для нижнего слоя двухслойных покрытий – не более 0,60.

Бетонные смеси мостовых покрытий должны изготавливаться с В/Ц, не превышающем значений, приведенных в табл. 5.9.

Таблица 5.9

Бетон	Максимальное В/Ц при марке по морозостойкости бетона конструкций:						
	ж/б и тонкостенных бетонных			массивных бетонных			
	≤ F100	F150... F200	F300	≤ F75	F100... F150	F200	F300
Подводный	0,60	-	-	0,60	-	-	-
Подземный	0,65	-	-	0,65	-	-	-
Переменного уровня воды	-	0,45	0,42	-	0,55	0,50	0,45
Надводный (наземный)	-	0,50	0,45	-	0,55	0,55	-

Если по расчёту значение показателя В/Ц больше значений, указанных выше, то по условиям морозостойкости принимают максимально допустимое В/Ц для данной конструкции.

Количество воды (В) приближённо находят по табл.5.6 с учётом заданно марки бетонной смеси по удобоукладываемости и характеристик исходных материалов.

При применении пластифицирующих добавок расход воды может быть уменьшен на 10...15%.

Таблица 5.10

Марка смеси	Жёсткость, с	Подвижность, см	Расход воды, л/м ³ при крупности, мм							
			гравия				щебня			
			10	20	40	80	10	20	40	80
Ж4	31...60	-	150	135	125	120	160	150	135	130
Ж3	21...30	-	160	145	130	125	170	160	145	14
Ж2	11...20	-	165	15	135	130	175	165	150	145
Ж1	5...10	-	175	16	145	140	185	175	160	155
П1	-	1...4	190	175	160	155	200	190	175	170
П2	-	5...9	200	190	127	165	210	200	185	180
П3	-	10...15	215	205	190	180	225	215	200	190
П4	-	16...20	225	220	205	195	230	230	215	205
П5	-	≤21	230	225	210	200	245	240	225	210

Примечание. Данные справедливы при использовании цемента с нормальной плотностью 26...28% и песка с $M_{кр} = 2,0$.

При изменении нормальной плотности цементного теста на каждый процент в меньшую сторону расход воды следует уменьшить на 3...5 л/м³, а в большую – увеличить на 3...5 л/м³. В случае изменения модуля крупности песка в меньшую сторону на каждые 0,5 расход воды увеличивают на 3...5 л/м³, а в большую – соответственно, уменьшают на 3...5 л/м³.

Расход цемента (Ц) на кг на 1м³ бетонной смеси вычисляют по формуле:

$$Ц = \frac{В}{В/Ц} \quad (5.6)$$

Минимальный расход цемента принимают в соответствии с табл. 5.11 в зависимости от вида конструкций и условий их эксплуатации.

Если рассчитанный расход цемента окажется ниже допустимого, то его увеличивают, соответственно, увеличивая расход воды так, чтобы сохранить рассчитанное В/Ц.

Таблица 5.11

Вид конструкции	Условия эксплуатации	Вид минимальный расход цемента, кг/м ³		
		ПЦ-Д0, ПЦ-Д5, ССПЦ-Д0	ПЦ-Д20, ССПЦ-Д20	ШПЦ, ССПЦ, ПЦЦПЦ
Неармированные	без атмосферных воздействий	не нормируют		
	при атмосферных воздействиях	150	170	170
Армированные с ненапрягаемой арматурой	без атмосферных воздействий			200
	при атмосферных воздействиях	240		
Армированные с преднапряжённой арматурой	без атмосферных воздействий	220	240	270
	при атмосферных воздействиях	240	270	300

Расчёт расхода заполнителей (песка и крупного заполнителя) выполняют, решая совместно два уравнения, характеризующие строение бетонной смеси.

Первое уравнение, основное для расчёта: объём 1м³ (1000л), плотно уложенной бетонной смеси, складывается из суммы абсолютных объёмов составляющих:

$$Ц/\rho_c + В + П/\rho_p + К/\rho_k = 1000 \quad (5.7)$$

Второе уравнение характеризует такую структуру бетона, когда пустоты между зёрнами крупного заполнителя должны быть заполнены растворной смесью с учётом некоторой раздвижки зёрен крупного заполнителя. Величина раздвижки зерен характеризуется коэффициентом α :

$$Ц/\rho_c + П/\rho_p + В = \alpha V_{\text{пуст}} К/\rho_{\text{нас}}^k \quad (5.8)$$

где: Ц, В, П, К – расходы, соответственно, цемента, воды, песка, крупного заполнителя, кг/м³;

ρ_c, ρ_p, ρ_k – истинные плотности цемента, песка, крупного заполнителя, кг/м³;

$\rho_{\text{нас}}^k$ – насыпная плотность крупного заполнителя, кг/м³;

$V_{\text{пуст}}$ – пустотность крупного заполнителя;

α – коэффициент раздвижки зёрен по табл.5.12.

Решая совместно приведённые выше уравнения, получают формулы для определения расходов:

- Крупного заполнителя (в кг на 1м³ бетонной смеси):

$$K = \frac{1000}{\frac{V_{\text{пуст}} \cdot \alpha}{\rho_{\text{Нас}}^k} + 1}} \quad (5.9)$$

где $V_{\text{пуст}} = \left(1 - \frac{\rho_{\text{Нас}}^k}{\rho_k}\right)$ (5.10)

- Песка (в кг на 1м³ бетонной смеси):

$$\Pi = \left[1000 - \left(\frac{Ц}{\rho_{Ц}} + В + \frac{К}{\rho_k}\right)\right] \rho_{\Pi}; \quad (5.11)$$

Если применяются воздухововлекающие добавки, то формула принимает вид:

$$\Pi = \left[1000 - \left(\frac{Ц}{\rho_{Ц}} + В + \frac{К}{\rho_k} + V_{\text{возд}}\right)\right] \rho_{\Pi}; \quad (5.12)$$

где $V_{\text{возд}}$ – объём вовлечённого воздуха, л на 1000л бетонной смеси.

Таблица 5.12

Расход цемента, кг/м ³	Коэффициент α для пластичных смесей при В/Ц				
	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8
250	-	-	1,26	1,32	1,38
300	-	1,30	1,36	1,42	-
350	1,32	1,38	1,44	-	-
400	1,40	1,40	-	-	-

Примечание: для жёстких бетонных смесей коэффициент принимают в пределах 1,05...1,15, в среднем 1,1.

Таким образом получают расчётный состав в виде расходов материалов Ц, В, П, К (кг) для получения 1м³ бетонной смеси.

При необходимости в соответствии с рекомендациями назначают дозировки различных добавок, для дорожных и аэродромных бетонов – комплексных ПАВ: воздухововлекающих и пластифицирующих. Пластифицирующую добавку ЛСТ вводят в количестве 0,2...0,3% от массы цемента (в расчёте на сухое вещество).

Воздухововлекающую добавку СНВ вводят в количестве 0,02...0,03% от массы цемента, обеспечивающем требуемый объём

вовлечённого воздуха в бетонной смеси тяжёлого бетона (табл. 5.13).

Таблица 5.13

Конструктивный слой покрытия	Объём вовлечённого воздуха в бетонной смеси, % (л/м ³ смеси)
Однослойные и верхний слой двухслойных покрытий	5...7 (50...70)
Нижний слой двухслойных покрытий	3...5 (30...50)

5.4. Приготовление пробного замеса, проверка удобоукладываемости и корректировка состава бетонной смеси

Пробный замес

Запроектированный состав бетонной смеси проверяют, и при необходимости, корректируют на пробном замесе. Объём пробного замеса составляет 10 и более в зависимости от крупности заполнителя.

Для приготовления пробного замеса отвешивают рассчитанные количества цемента, песка и крупного заполнителя, отмеряют воду.

Порядок приготовления бетонной смеси для пробного замеса следующий: песок и цемент помещают в форму-боёк и перемешивают до однородной массы. Добавляют крупный заполнитель и смесь снова перемешивают. Затем в середине сухой смеси делают углубление, куда вливают половину отмеренной воды и осторожно перемешивают. Далее вливают остальную воду и окончательно перемешивают. Общая продолжительность перемешивания составляет около 5 минут.

5.4.1. Определение подвижности бетонной смеси

Определение удобоукладываемости бетонной смеси выполняют в соответствии с требованиями ГОСТ 10181.0–2014 «Смеси бетонные. Методы испытаний».

Состав приборов:

- нормальный или увеличенный конус для определения подвижности (рис. 5.2; табл. 5.14);
- металлическую линейку;
- загрузочную воронку;
- кельму типа КБ;
- секундомер;

- гладкий жесткий лист размерами не менее 700x700 мм из водонепроницаемого материала (металл, пластмасса и т. п.);
- прямой металлический гладкий стержень диаметром 16 мм, длиной 600 мм с округленными концами.

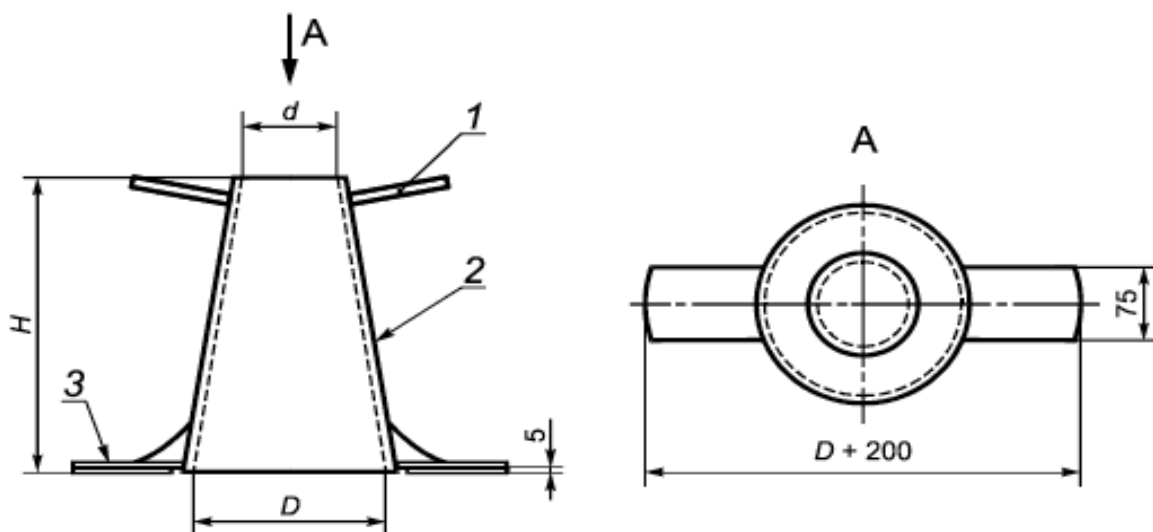


Рис. 5.2. Конус для определения подвижности бетонной смеси:
1 – ручка; 2 – корпус; 3 – упоры

Таблица 5.14

Наименование модели конуса	Внутренний размер конуса, мм		
	d	D	H
Нормальный	100	200	300
Увеличенный	150	300	450
Конус для определения жесткости по методу Скрамтаева	100	194	300

Порядок подготовки и проведения испытания

Для определения подвижности бетонной смеси с зернами заполнителя наибольшей крупностью до 40 мм включительно применяют нормальный конус, с зернами наибольшей крупностью более 40 мм – увеличенный.

При подготовке конуса все соприкасающиеся с бетонной смесью поверхности следует очистить и увлажнить.

Конус устанавливают на гладкий лист и заполняют бетонной смесью марок П1, П2 или П3 через воронку в три слоя одинаковой высоты. Каждый слой уплотняют штыкованием металлическим стержнем в нормальном конусе 25 раз, в увеличенном – 56 раз.

Бетонной смесью марок П4 и П5 конус заполняют в один прием и штыкуют в нормальном конусе 10 раз, в увеличенном – 20 раз. Конус во время заполнения и штыкования должен быть плотно прижат к листу.

После уплотнения бетонной смеси снимают загрузочную воронку, избыток смеси срезают кельмой вровень с верхними краями конуса и заглаживают поверхность бетонной смеси. Время от начала заполнения конуса до его снятия не должно превышать 3 мин.

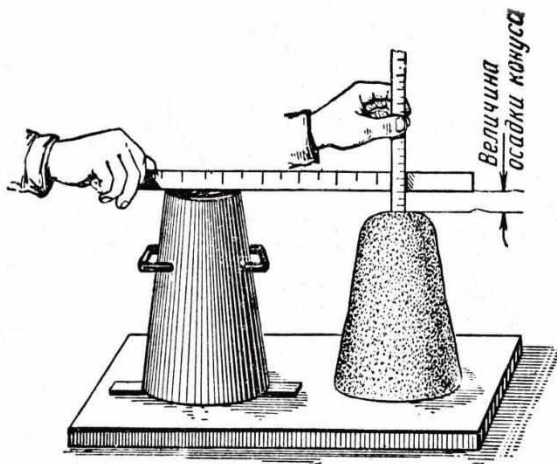


Рис.5.3 Схема выполнения испытания

Конус плавно снимают с отформованной бетонной смеси в строго вертикальном направлении и устанавливают рядом с ней. Время, затраченное на подъем конуса, должно составлять 5...7 с.

Осадку конуса бетонной смеси, определенную в увеличенном конусе, приводят к осадке, определенной в нормальном конусе, умножением осадки увеличенного конуса на коэффициент 0,67.

Осадку конуса бетонной смеси определяют, укладывая гладкий стержень на верх конуса и измеряя расстояние от нижней поверхности стержня до поверхности бетонной смеси (рис.5.2) с погрешностью не более 0,5 см.

Обработка результатов

Осадку конуса бетонной смеси определяют два раза.

Общее время испытания с начала заполнения конуса бетонной смесью при первом определении и до момента измерения осадки конуса при втором определении не должно превышать 10 мин.

Осадку конуса бетонной смеси одной пробы вычисляют с округлением до 1,0 см как среднеарифметическое значение результатов двух определений, отличающихся между собой не более чем:

- на 1 см при осадке конуса до 9 см включительно;
- на 2 см при осадке конуса от 10 до 15 см;
- на 3 см при осадке конуса от 16 см и выше.

При большем расхождении результатов испытание повторяют на новой порции бетонной смеси, той же пробы.

5.4.2. Определение жёсткости бетонной смеси

Жёсткими называют бетонные смеси, которые при определении подвижности с помощью формы-конуса не дают усадки.

Жесткость бетонной смеси характеризуют временем вибрации в секундах, необходимым для выравнивания бетонной смеси и появления цементного теста в отверстиях прибора по методам Вебе и Красного или по выравниванию поверхности бетонной смеси по методу Скрамтаева.

Состав приборов:

- прибор Вебе (рис. 5.4);
- прибор Красного (рис. 5.5) и форма ФК-150 или ФК-200;
- конус для метода Скрамтаева (табл.5.9) и форма ФК-200;
- лабораторная виброплощадка;
- секундомер, загрузочная воронка, металлический стержень.

Определение жесткости бетонной смеси на приборе Вебе

Прибор собирают и закрепляют на виброплощадке.

Заполняют конус прибора бетонной смесью, уплотняют смесь и снимают строго вертикально конус. Поворотом штатива 5 диск 8 устанавливают над отформованным конусом бетонной смеси и плавно опускают его до соприкосновения с поверхностью смеси. Включают виброплощадку и секундомер и наблюдают за выравниванием бетонной смеси. Смесь вибрируют до тех пор, пока не начнется выделение цементного теста из любых двух отверстий диска 8. В этот момент выключают секундомер и вибратор. Время, измеренное в секундах, характеризует жесткость бетонной смеси.

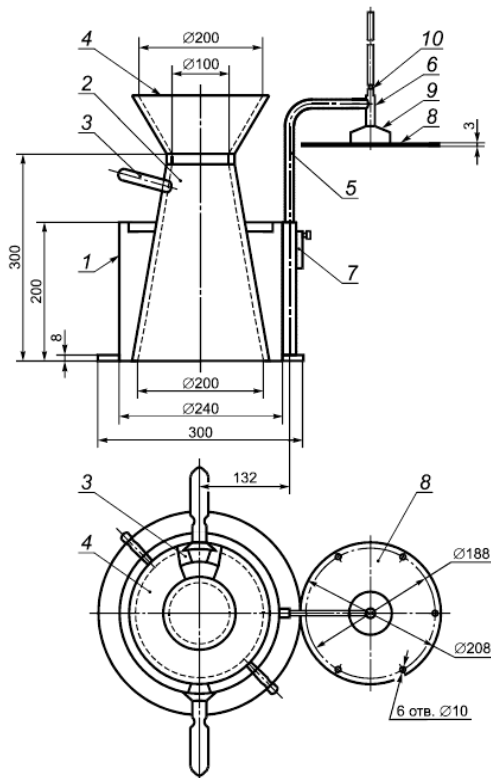


Рис. 5.4 Прибор Вебе

1 – цилиндр; 2 – конус; 3 – кольцо-держатель с ручками, 4 – загрузочная воронка; 5 – штатив; 6-направляющая втулка; 7-фиксирующая втулка; 8 – диск отверстиями; 9 – стальная шайба; 10 – штанга.

Определение жесткости бетонной смеси по методу Красного

При определении жесткости бетонной смеси прибор Красного (рис. 5.5) устанавливают в форму:

- ФК-150 – при наибольшей крупности зерен заполнителя до 40 мм,
- ФК-200 – при наибольшей крупности зерен заполнителя более 40 мм.

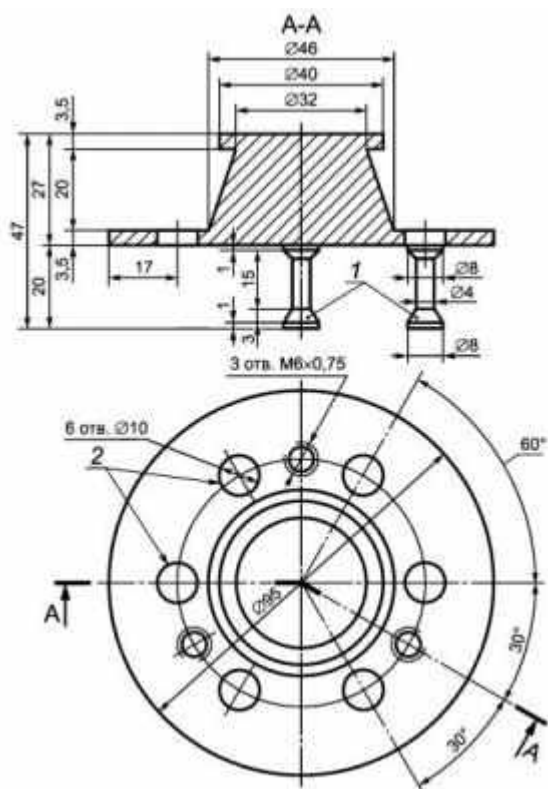


Рис. 5.5 Прибор Красного:
1 – ножки; 2 – отверстия 10 мм.

Установленную на виброплощадку форму заполняют бетонной смесью доверху с помощью штыкования без виброуплотнения. Избыток смеси срезают кельмой вровень с верхними краями формы.

Прибор Красного погружают в бетонную смесь ножками вниз до соприкосновения нижней поверхности диска с поверхностью смеси.

Включают одновременно виброплощадку и секундомер и вибрируют смесь до тех пор, пока не начнется выделение цементного теста из любых двух отверстий диска прибора. В этот момент выключают секундомер и виброплощадку.

Полученное время в секундах характеризует жесткость бетонной смеси.

Переходный коэффициент к прибору Вебе устанавливают экспериментально.

Допускается переходный коэффициент принимать равным 1.

Определение жесткости бетонной смеси по методу Скрамтаева

Жесткость бетонной смеси по методу Скрамтаева определяют в формах ФК-200.

Для определения жесткости бетонной смеси в закрепленную на виброплощадке форму помещают конус Скрамтаева и заполняют его бетонной смесью.

Затем конус плавно снимают и одновременно включают виброплощадку и секундомер. Смесь вибрируют до тех пор, пока поверхность бетонной смеси не станет горизонтальной.

Время в секундах, необходимое для выравнивания поверхности бетонной смеси в форме, характеризует жесткость смеси.

Переходный коэффициент от метода Скрамтаева к методу Вебе устанавливают экспериментально.

Допускается принимать переходный коэффициент равным 0,7.

Обработка результатов испытания

Жесткость бетонной смеси одной пробы определяют два раза. Общее время испытания с начала заполнения формы при первом определении и до окончания вибрирования при втором определении не должно превышать 10 мин.

Жесткость бетонной смеси вычисляют с округлением до 1 с как среднеарифметическое значение результатов двух определений, отличающихся между собой не более чем на 20% среднего значения. При большем расхождении результатов испытание повторяют на новой пробе.

5.4.3. Определение распыла бетонной смеси

Распыл бетонной смеси определяют путем измерения величины распыла на встряхивающем столе.

Состав приборов:

Для определения распыла бетонной смеси требуются:

- встряхивающий стол (рис. 5.6), состоящий из верхней металлической подвижной плиты 1 размерами в плане 700x700 мм, толщиной не менее 2 мм, шарнирно прикрепленной к нижней плите-основанию 4, на которую верхняя плита 1 может падать с фиксированной высоты 40 мм; масса верхней плиты 16,0 кг.

- конусная форма (рис.5.7)
- уплотняющий брус,
- металлическая линейка длиной 700 мм, ценой деления 5 мм;
- контейнер для повторного перемешивания;

- лопатка шириной (100±10) мм;
- таймер с точностью измерения до 1 с.

Проведение испытания

Встряхивающий стол устанавливают на плоскую горизонтальную поверхность.

Стол и конусную форму очищают и увлажняют до испытания.

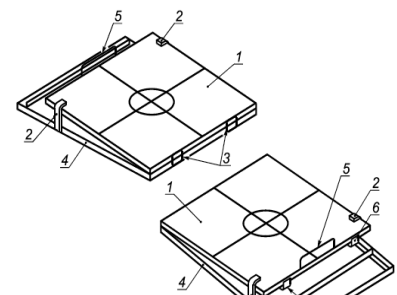


Рис. 5.6. Встряхивающий стол

Помещают форму в центре стола и фиксируют ее положение с помощью фиксаторов.

Форму наполняют бетонной смесью совком двумя равными слоями. Каждый слой уплотняют 10 легкими ударами уплотняющего бруса.

После наполнения с помощью уплотняющего бруса срезают излишек массы вровень с краями формы, поверхность стола очищают от остатков смеси.

Через 30 с от момента срезки излишка смеси форму поднимают за ручки вертикально вверх за время 3...6 с.

Верхнюю плиту стола плавно поднимают до верхнего блока-останова так, чтобы плита не стукнулась о блок-установ.

Дают возможность верхней плите стола свободно упасть на нижний блок-останов. Повторяют цикл 15 раз, проводя каждый цикл в течение 2...5 с.

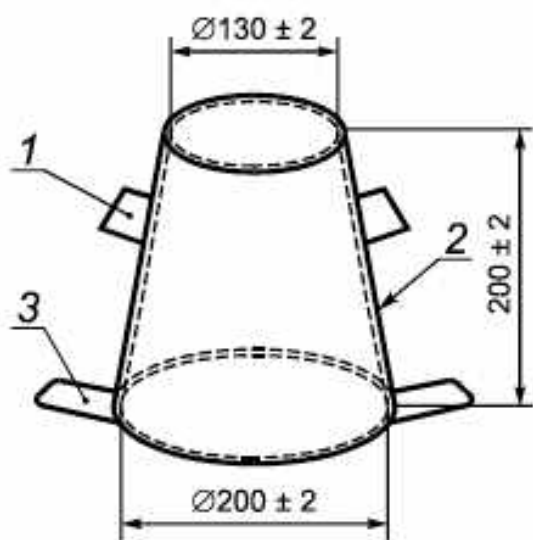


Рис. 5.7 - Конусная форма:
1 - ручка; 2 - корпус; 3 - упоры

Линейкой измеряют максимальные размеры расплыва бетонной смеси с точностью до 10 мм в двух направлениях (рис.5.8), параллельных краям стола.

Визуально проверяют расплывшуюся смесь на расслоение. Если образовалось расслоение, его регистрируют, а испытание считают неудовлетворительным.

Величину расплыва $D_{распл}$, мм, определяют с точностью до 10 мм по формуле

$$D_{распл} = \frac{d_1 + d_2}{2} \quad (5.13)$$

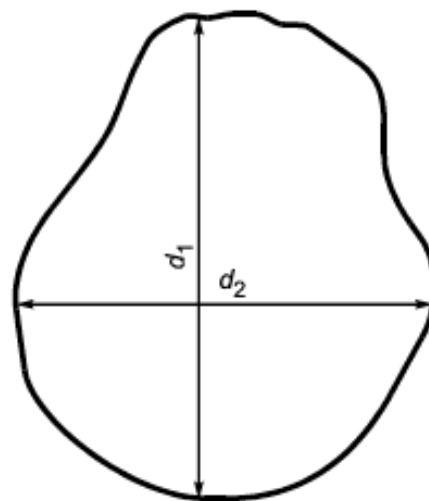


Рис.5.8 Измерение расплыва бетонной смеси

Регистрация результатов испытания должна включать в себя:

- условное обозначение бетонной смеси;
- место проведения испытания;
- дату и время проведения испытания;
- температуру пробы бетонной смеси на момент испытания;
- наличие расслоения бетонной смеси;
- результат испытания.

Примечание. Разность между значениями расплыва и при одном определении не должна превышать 15% среднего значения.

Обработка результатов испытания

Расплав бетонной смеси одной пробы определяют два раза.

Общее время испытания не должно превышать 15 мин.

Расплав бетонной смеси вычисляют с округлением до 10 мм как среднеарифметическое значение результатов двух определений расплыва одной пробы бетонной смеси, отличающихся между собой не более чем на 20% среднего значения.

При большем расхождении результатов испытание повторяют на новой пробе.

6. ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПРОЧНОСТИ И КЛАССА БЕТОНА

Перед испытанием определяют среднюю плотность образцов по ГОСТ 12730.1.

Все образцы одной серии должны быть испытаны в расчетном возрасте в течение не более 1 ч.

Перед установкой образца в испытательную машину удаляют частицы бетона, оставшиеся от предыдущего испытания на опорных плитах испытательной машины.

Шкалу силоизмерителя испытательной машины выбирают из условия, что ожидаемое значение разрушающей нагрузки должно быть в интервале от 20 % до 80 % максимальной нагрузки, допускаемой выбранной шкалой.

Нагружение образцов проводят непрерывно с постоянной скоростью нарастания нагрузки до его разрушения. При этом время нагружения образца до его разрушения должно быть не менее 30 с.

Максимальное усилие, достигнутое в процессе испытания, принимают за разрушающую нагрузку.

6.1. Определение прочности и класса бетона при сжатии

Состав приборов:

- гидравлический пресс,
- линейки металлические,
- секундомер.

Основная характеристика бетона – это его класс по прочности при сжатии.

Класс бетона определяется по прочности при осевом сжатии кубов размером 15х15х15 см, изготовленных из рабочей смеси и испытанных через 28 суток твердения в нормальных условиях (температура 20°С и относительная влажность воздуха не менее 95%) с учётом статистической изменчивости 0,95.

Для тяжёлого бетона установлены следующие классы по прочности при сжатии: В3,5; В5; В7,5; В10; В12,5; В15; В20; В22,5; В25; В27,5; В30; В35; В40; В45; В50; В55; В60; В70; В75; В80; В90; В100; В110; В120.

Испытание бетонных кубов производят на гидравлическом прессе. Образцы перед испытанием взвешивают для определения их средней плотности и измеряют с точностью до 1 мм.

Мощность пресса, на котором производят испытания, должна быть не менее чем на $\frac{1}{4}$ больше ожидаемого общего давления на образец.

Например, если ожидаемая прочность бетона 400 кгс/см^2 (40 МПа), площадь поперечного сечения куба 100 см^2 , то разрушающее усилие составит 40000 кгс . Следовательно, нужно проводить испытания на прессе мощностью не менее 50000 кгс (50 т).

Образец устанавливают на плиту пресса строго посередине так, чтобы слои, горизонтальные при укладке бетона, были вертикальны, т. е. испытание ведут параллельно слоям укладки.

Нагрузка при испытании должна возрастать со скоростью $0,6 \text{ МПа}$ в 1 с . образец доводят до разрушения, и вычисляют предел прочности при сжатии по формуле:

$$R = \frac{P}{F} \cdot \text{МПа} \quad (6.1)$$

где: P - разрушающее давление, Н (кгс);

F - площадь поперечного сечения, см^2 .

Прочность бетона на сжатие рассчитывают с точностью до $0,1 \text{ МПа}$ (1 кгс/см^2).

Предел прочности определяется как среднее арифметическое значение в серии:

- из двух образцов – по двум образцам;
- из трёх образцов – по двум наибольшим значениям;
- из четырёх образцов – по трём наибольшим значениям;
- из шести образцов – по четырём наибольшим значениям.

Если прочность бетона определяли не через 28 суток, а через n дней, то его прочность на 28 сутки можно приблизительно рассчитать по формуле:

$$R_{28} = \frac{R_n \cdot \lg 28}{\lg n} \quad (6.2)$$

где R_{28} – прочность бетона после 28 сут твердения, кгс/см^2 (МПа);

R_n – прочность бетона после n сут твердения, кгс/см^2 (МПа);

n – число суток твердения;

\lg – десятичный логарифм.

При испытании кубов с размером ребра больше или меньше 15 см их прочность следует привести к прочности кубов с размером $15 \times 15 \times 15 \text{ см}$, вводя переводной коэффициент α , принимаемый по табл. 6.1.

Таблица 6.1

Форма и размеры образца, мм	Масштабные коэффициенты при испытании				
	на сжатие α	на растяжение			
		при раскалывании γ		при изгибе δ	осевое, β
		тяжёлый бетон	м.з. бетон		
куб, призма					
70	0,85	0,78	0,87	0,86	0,85
100	0,95	0,88	0,92	0,92	0,92
150	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00
200	1,05	1,10	1,05	1,15	1,08
250	1,08	-	-	1,25	-
300	1,10	-	-	1,34	-
цилиндр (d x h)					
100x200	1,16	0,98	0,99	-	-
150x300	1,20	1,13	1,13	-	-
200x400	1,24	-	-	-	-
250x500	1,26	-	-	-	-
300x600	1,28	-	-	-	-

Определение класса бетона В по известной кубиковой прочности, МПа, и коэффициенту вариации выполняют по формуле:

$$B \leq R_{\text{гарант}} = \bar{R}_{\text{сж}} (1 - 1,64V) \quad (6.3)$$

где: $R_{\text{гарант}}$ – минимальная гарантированная прочность с обеспеченностью 0,95, МПа.

При нормативном коэффициенте вариации $V = 13,5\% \rightarrow B \leq \bar{R} \cdot 0,78$.

6.2. Определение прочности и класса бетона при изгибе

Состав приборов:

- гидравлический пресс;
- приспособление для испытания на изгиб;
- линейки;
- торговые весы.

Проведение испытания

Прочность бетона на изгиб определяется на образцах-призмах квадратного сечения 100x100, 150x150, или 200x200мм, длиной в четыре раза большей размера сечения (табл. 6.1) (рис.6.1).

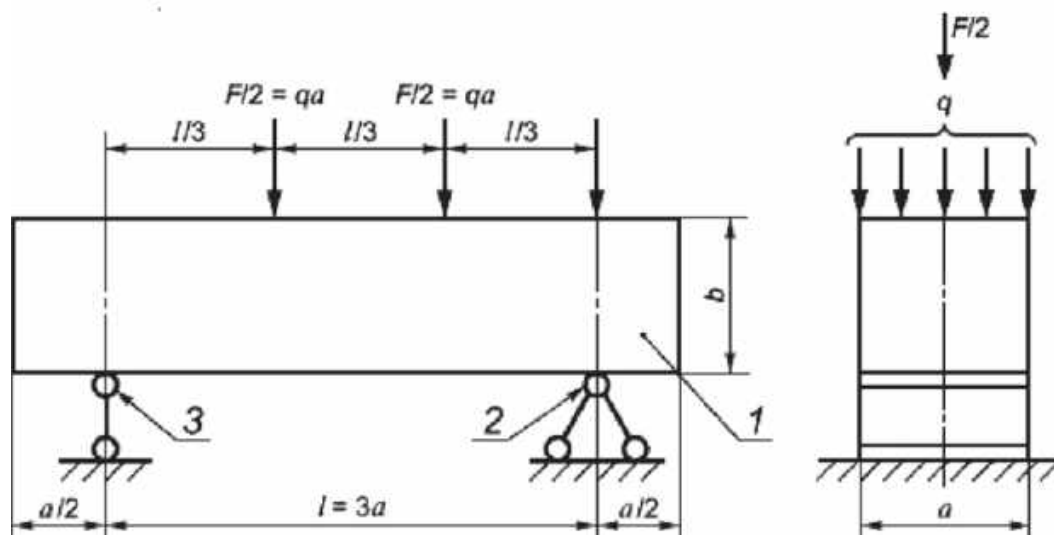


Рис. 6.1. Схема испытания бетона на прочность при изгибе: 1– ширина и высота образца; F – нагрузка; q – распределённая нагрузка; l – пролёт; 1– образец; 2 – шарнирно-неподвижная опора; 3 – шарнирно-подвижная

Одна из опор, на которую образец 1 устанавливают в испытательную машину (установку), является шарнирно-неподвижной, обеспечивающей только поворот образца, а вторая — шарнирно-подвижной, обеспечивающей поворот образца и его смещение в плоскости изгиба.

Шарнирно-неподвижная опора выполнена в виде шара 2, устанавливаемого центрально относительно поперечной оси образца между опорными подушками 3 со сферическими поверхностями, что обеспечивает поворот образца как в плоскости изгиба, так и в плоскости, перпендикулярной к ней, без перемещения образца и исключает косой изгиб, который может быть вызван неплоскостностью опорных граней образца.

Шарнирно-подвижная опора выполнена в виде качающейся призмы 4, опирающейся на верхнюю сегментную 5 и нижнюю плоскую 6 опорные подушки, и установлена центрально относительно поперечной оси образца, что обеспечивает как поворот, так и смещение образца в плоскости изгиба и исключает возникновение усилия распора вследствие прогиба образца.

Нагрузка от испытательной машины (установки) передается на образец через распределительную траверсу 7, выполненную в виде однопролетной балки. Длина траверсы должна быть не менее половины длины образца, а ее прогиб под нагрузкой – не более $1/500$ ее пролета.

Траверсу устанавливают на образец центрально относительно его осей и опирают на образец в двух сечениях в третях пролета.

Шарнирно-неподвижная опора 8 траверсы выполнена так же, как и соответствующая опора образца. Шарнирно-подвижная опора 9 траверсы выполнена в виде цилиндрического катка, устанавливаемого между опорными пластинами, размеры которых должны соответствовать размерам опорных подушек.

Длина опорных пластин и подушек должна быть не менее размера поперечного сечения образца.

Нагрузка от испытательной машины (установки) на траверсу должна передаваться центрально через шаровой шарнир 10, в качестве которого может быть использован верхний шарнир испытательной машины.

При испытании нагрузка должна возрастать равномерно, соответственно изменению напряжений в пределах 0,05 МПа в 1 секунду до разрушения образца.

Предел прочности $R_{p,и.}$, МПа, для принятой схемы испытания рассчитывают по формуле:

$$R = Pl/a^3 \quad (6.4)$$

Прочность бетона на растяжение при изгибе рассчитывают с точностью до 0,01 МПа (0,1 кгс/см²). Предел прочности определяют как среднее арифметическое значение в серии:

- из двух образцов – по двум образцам;
- из трёх образцов – по двум наибольшим результатам;
- из четырёх образцов – по трём наибольшим результатам;
- из шести образцов – по четырём наибольшим результатам.

Эталонным считается образец 150x150x600 мм. При испытании призм размером 200x200x800 мм или 100x100x400 мм результат нужно умножить соответственно, на 1,1 или 0,95.

Класс бетона по прочности на растяжение при изгибе определяется по формуле:

$$B \leq R_{\text{гарант}} = \bar{R}_{p,и.} (1 - 1,64 \cdot V) \quad (6.5)$$

где: $R_{\text{гарант}}$ – минимальная гарантированная прочность с обеспеченностью 0,95, МПа.

По прочности на растяжение при изгибе тяжёлый бетон подразделяется на классы:

$B_{tb} 1,2; B_{tb} 1,6; B_{tb} 2,0; B_{tb} 2,4; B_{tb} 2,8; B_{tb} 3,2; B_{tb} 3,6; B_{tb} 4,0; B_{tb} 4,4; B_{tb} 4,8; B_{tb} 5,2; B_{tb} 5,6; B_{tb} 6,0; B_{tb} 6,4; B_{tb} 6,8; B_{tb} 7,2; B_{tb} 7,6; B_{tb} 8,0; B_{tb} 8,4; B_{tb} 8,8; B_{tb} 9,2; B_{tb} 9,6; B_{tb} 10,0.$

7. КЕРАМИЧЕСКИЕ МАТЕРИАЛЫ. КЕРАМИЧЕСКИЙ КИРПИЧ

Кирпич керамический – штучное изделие, предназначенное для устройства кладок на строительных растворах и кладочных смесях.

Основные параметры кирпича и требования к его свойствам приведены в межгосударственном стандарте **ГОСТ 530–2012 «Кирпич и камень керамические. Общие технические условия»**.

7.1. Основные понятия

Сырьём для производства керамического кирпича служат природные глинистые породы. Производство керамического кирпича осуществляют несколькими способами:

- способом пластического формования;
- жестким способом формования;
- способом полусухого прессования;
- сухим способом;
- шликерным способом.

В результате кирпичи отличаются по внешнему виду.

Кирпич пластического формования имеет шероховатую поверхность, на нём видны следы формования и резки. Кирпич полусухого прессования имеет плотную, гладкую поверхность, более ровные грани и рёбра, точные размеры, коническую форму пустот.

Полусухой и сухой способы производства имеют преимущества перед пластическим: они требуют меньших затрат теплоты на сушку изделий, позволяют использовать малопластичные глины, требуют меньше рабочей силы и производственной площади.

Ввиду необходимости требований к свойствам кирпича, выпускают разные его виды по размеру, форме, плотности и прочности.

Кирпич нормального формата (одинарный) имеет размеры 250x120x65мм. Внешний вид кирпича представлен на рис.7.1.

По плотности выпускают полнотелый (с пустотностью менее 13%) и пустотелый (имеющий пустоты разного размера и формы) разновидности кирпича.

По форме различают фасонный кирпич, доборный кирпич - элемент специальной формы, удобной для завершения кладки, а также кирпич с пазогребневой системой – он предназначен для безрастворной кладки. Бывает также клинкерный (дорожный) кирпич.

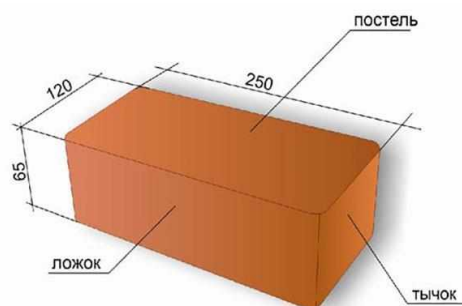


Рис. 7.1. Внешний вид кирпича и его размеры

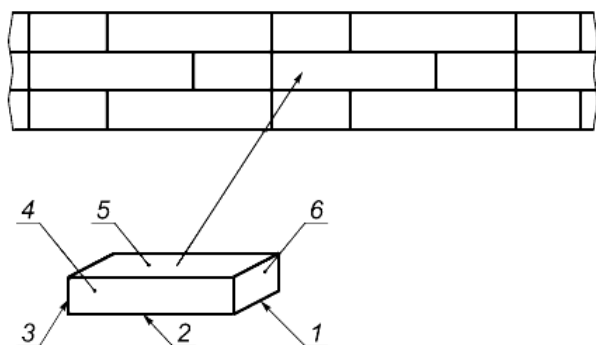


Рис. 7.2. Фрагмент кирпичной кладки: 1 – ширина, 2 – длина, 3 – толщина, 4 – ложок, 5 – постель, 6 – тычок.

Различают:
рабочий размер кирпича – размер изделия между гладкими вертикальными гранями (без выступов для пазогребневого соединения), формирующий толщину стены при кладке в один камень;

нерабочий размер (длина) камня: размер изделия между вертикальными гранями с выступами для пазогребневого соединения, формирующий при кладке длину стены.

К кирпичу предъявляют следующие требования:

- по прочности кирпич подразделяют на марки:
 - * стандартный кирпич М100, М125, М150, М175, М200, М250, М300;
 - * клинкерный кирпич – М300, М400, М500, М600, М800, М1000;
 - * кирпич с горизонтальными пустотами – М25, М35, М50, М75, М100;
- по морозостойкости изделия подразделяют на марки: F25, F35, F50, F75, F100, F200, F300;
- по показателю средней плотности изделия подразделяют на классы 0,7; 0,8; 1,0; 1,2; 1,4; 2,0; 2,4.

Обозначение кирпича имеет следующий вид:

Кирпич рядовой (лицевой), полнотелый, размерами 250x120 x 65 мм, формата 1НФ, марки по прочности М200, класса средней плотности, 2,0, марки по морозостойкости F50:

КР-р-по (КР-л-по) 250x120x65 / 1НФ / 200 / 2,0 / 50 / ГОСТ 530–2012

Номинальные размеры кирпича приведены в табл.7.1.

Таблица 7.1

Вид изделия	Обозн. вида	Номинальные размеры			Обозн. размера изделия
		Длина	Ширина	Толщина	
Кирпич	КР	250	120	65	1НФ
		250	85	65	0,7НФ
		250	120	88	1,4НФ
		250	60	65	0,5НФ
		288	138	65	1,3НФ
		288	138	88	1,8НФ
		250	120	55	0,8НФ
Кирпич с горизонтальными пустотами	КРГ	250	120	88	1,4НФ
		250	200	70	1,8НФ

Условное обозначение вида кирпича должно содержать следующие позиции: Условное обозначение керамических изделий должно состоять из:

- 1) обозначения вида изделия в соответствии с табл. 7.1;
- 2) Буквенных обозначений: р - для рядовых, л - для лицевых, кл - для клинкерных, пг - для камней с пазогребневой системой, ш - для шлифованных камней;
- 3) обозначения размера кирпича,
- 4) номинальных размеров камня
- 5) рабочего размера камня с пазогребневой системой
- 6) обозначений: ПО - для полнотелого кирпича, ПУ - для пустотелого кирпича, марок по прочности, класса средней плотности;
- 7) марки по морозостойкости и обозначения стандарта.

7.2. Оценка дефектов внешнего вида и отклонений от номинального размера кирпича

Состав приборов:

- линейка измерительная металлическая;
- штангенглубиномер;
- лупа измерительная;
- угольник металлический поверочный.

Проведение испытания

Размеры изделий, толщину наружных стенок, диаметр цилиндрических пустот, размеры квадратных и ширину щелевидных пустот, радиус закругления смежных граней и глубину фаски на ребрах измеряют металлической линейкой или штангенциркулем, соблюдая правила, приведенные ниже.

Погрешность измерения – ± 1 мм.

Длину l , ширину b и толщину h каждого изделия измеряют по краям (на расстоянии 15 мм от угла) и в середине ребер противоположных граней. За результат измерений принимают среднеарифметическое значение результатов единичных измерений.

Толщину наружных стенок измеряют минимум в трех местах по середине каждой грани изделия. За результат измерения принимают наименьшее значение.

Размеры пустот измеряют внутри пустот не менее чем на трех пустотах. За результат измерения принимают наибольшее значение.

Отклонение от перпендикулярности граней определяют, прикладывая металлический угольник к смежным граням изделия и измеряя металлической линейкой наибольший зазор между угольником и гранью. За результат измерений принимают наибольший из всех полученных результатов.

Отклонение от плоскости изделия определяют, прикладывая одну сторону металлического угольника к ребру изделия, а другую вдоль каждой диагонали грани и измеряя щупом или линейкой наибольший зазор между поверхностью и ребром угольника. За результат измерения принимают наибольший из всех полученных результатов.

Результаты измерений геометрических параметров образцов, отобранных для контроля, записывают в таблицу (табл. 7.2) и сравнивают с предельными отклонениями.

Образец рабочей таблицы см. табл.7.2.

Таблица 7.2

Геометрические параметры, мм	номер образца			точность параметра	
	1	2	3	лицевой	рядовой
предельные отклонения от номинальных размеров: по длине по ширине по толщине				±4	±4
				±3	±3
				±2	±3
толщина наружных стенок пустотелого кирпича				±2	±3
диаметр вертикальных пустот				не менее 12	
ширина щелевидных пустот				не более 16	
радиус закругления смежных граней				не более 15	
глубина фаски на горизонтальных рёбрах				не более 3	
отклонение от плоскостности граней				не более 3	

Обработка результатов

Оценку соответствия внешнего вида керамического кирпича требованиям ГОСТ 530 производят осмотром с целью обнаружения наличия или отсутствия следующих дефектов:

- трещин (разрывов изделия без разрушения его на части, шириной раскрытия более 0,5 мм);
- сквозных трещин (проходящих через всю толщину и протяженностью до половины и более ширины изделия);
- посечек (трещин шириной раскрытия не более 0,5 мм);
- отбитостей (механических повреждений граней, ребер, углов изделия);
- высолов (водорастворимых солей, выходящих на поверхность обожженного изделия при контакте с влагой в виде налета);
- отколов (дефектов изделия, вызванных наличием карбонатных или других вспучивающихся включений).
- ширину раскрытия трещин измеряют при помощи измерительной лупы; погрешность измерения – ± 0,1 мм;
- длину посечек и длину отбитостей измеряют металлической линейкой или штангенциркулем; погрешность измерения – ± 1 мм;

– глубину отбитостей углов и ребер измеряют при помощи угольника и металлической линейки по перпендикуляру от вершины угла или ребра, образованного угольником, до поврежденной поверхности; погрешность измерения – ± 1 мм;

– для определения наличия высолов половинку изделия погружают отбитым торцом в сосуд, заполненный дистиллированной водой, на глубину 1-2 см и выдерживают в течение 7 сут (уровень воды в сосуде должен оставаться постоянным); по истечении 7 сут образцы высушивают в сушильном шкафу при температуре 100 °С до постоянной массы, а затем сравнивают со второй половинкой образца, не подвергавшейся испытанию;

– наличие отколов, вызванных карбонатными или другими включениями в сырьевую смесь (дутиков) определяют после пропаривания изделий в сосуде; образцы, не подвергавшиеся ранее воздействию влаги, укладывают на решетку, помещенную в сосуд с крышкой; налитую под решетку воду нагревают до кипения; кипячение продолжают в течение 1 ч; затем образцы охлаждают в закрытом сосуде в течение 4 ч, извлекают из сосуда и осматривают.

Таблица 7.3

Результаты оценки внешнего вида кирпича

Вид дефекта	Образец		Допускаемые значения	
	1	2	лицевой	рядовой
Трещины, шт			не доп.	4
Отдельные посечки суммарной длиной менее 6 мм			40	не регламентируют
Отбитости углов, отбитости граней и ребер более 15 мм, шт			не доп.	4
Отбитости углов, отбитости граней и ребер до 15 мм, шт			2	не регламентируют
Отколы глубиной до 3мм вследствие вспучивания включений			<0,2% площади лиц. граней	<1% площади верт. граней
Отклонение от плоскостности граней			не доп.	не регламентируют

Решение о соответствии внешнего вида партии керамического кирпича требованиям ГОСТ 530 принимают на основании сравнения полученных данных с соответствующими требованиями, приведенными в таблице 7.3.

7.3. Определение предела прочности при изгибе

Предел прочности кирпича при изгибе определяют на целом кирпиче по методике **ГОСТ 8462–85(2021) «Материалы стеновые. Методы определения пределов прочности при сжатии и изгибе»**.

Образцы, отобранные во влажном состоянии, перед испытанием выдерживают не менее 3 сут в закрытом помещении при температуре $(20 + 5) ^\circ\text{C}$ или подсушивают в течение 4 ч при температуре $(105 \pm 5) ^\circ\text{C}$.

В случае испытания кирпича пластического формования его поверхность предварительно выравнивают цементным или гипсовым раствором в местах опирания и приложения нагрузки, либо шлифуют или применяют прокладки (из технического войлока, резиноканевых пластин, картона).

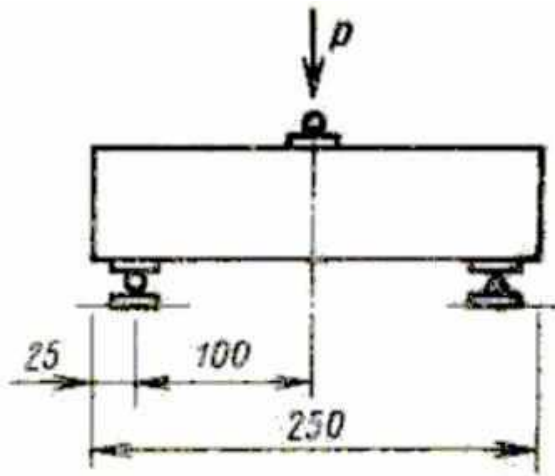


Рис. 7.2. Схема испытания кирпича на изгиб

Образцы измеряют с погрешностью до 1 мм.

Каждый линейный размер образца вычисляют как среднее арифметическое значение результатов измерений двух средних линий противоположащих поверхностей образца.

Образец устанавливают на двух опорах приспособления для испытания кирпича на прочность при изгибе, расположенного на нижней плите гидравлического пресса.

Кирпич с несквозными пустотами устанавливают на опорах так, чтобы пустоты располагались в растянутой зоне образца.

Нагрузку прикладывают в середине пролета и равномерно распределяют по ширине образца согласно схеме, показанной на рис. 7.2.

Нагрузка на образец должна возрастать непрерывно со скоростью, обеспечивающей его разрушение через 20...60 с после начала испытаний.

Обработка результатов:

Предел прочности при изгибе R_t , МПа ($\text{кгс}/\text{см}^2$), отдельного образца вычисляют по формуле:

$$R_t = \frac{3Pl}{2bh^2} \quad (7.1)$$

где: Р - наибольшая нагрузка, установленная при испытании образца, Н (кгс);

l - расстояние между осями опор, мм (см);

b - ширина образца, мм (см);

h - толщина образца посередине пролета, мм (см).

Предел прочности при изгибе образцов в партии вычисляют с точностью до 0,05 МПа (0,5 кгс/см²) как среднее арифметическое значение результатов испытаний пяти образцов.

При вычислении предела прочности при изгибе образцов в партии не учитывают образцы, пределы прочности которых имеют отклонение от среднего значения предела прочности всех образцов более чем на 50 % и не более чем по одному образцу в каждую сторону.

7.4. Определение предела прочности при сжатии

Предел прочности изделий при сжатии определяют по методике **ГОСТ 8462 «МАТЕРИАЛЫ СТЕНОВЫЕ. Методы определения пределов прочности при сжатии и изгибе»** с учетом дополнений ГОСТ 530.

Состав приборов:

- пресс гидравлический;
- линейка измерительная металлическая;
- линейка поверочная;
- штангенциркуль;
- щуп по нормативно-технической документации;
- сито с сеткой 1,25 К;
- пластина металлическая или стеклянная размерами 270x150x5 мм; отклонение от плоскостности пластин не более 0,1 мм.
- войлок технический толщиной 5...10 мм;
- пластина резинотканевая толщиной 5...10 мм;
- картон толщиной 3...5 мм по нормативно-технической документации, утвержденной в установленном порядке;
- бумага оберточная.

Проведение испытания

Образцы испытывают в воздушно-сухом состоянии.

Испытываемый образец состоит из двух целых кирпичей или двух его половинок, уложенных постелями друг на друга.

Половинки размещают поверхностями раздела в противоположные стороны.

Подготовку опорных поверхностей изделий производят шлифованием.

Отклонение от плоскостности опорных поверхностей испытываемых образцов не должно превышать 0,1 мм на каждые 100 мм длины.

Непараллельность опорных поверхностей испытываемых образцов (разность значений толщины, измеренной по четырем вертикальным ребрам) должна быть не более 2 мм.

Испытуемый образец измеряют по средним линиям опорных поверхностей с погрешностью до ± 1 мм.

На боковые поверхности образца наносят осевые линии.

Образец устанавливают в центре плиты пресса, совмещая геометрические оси образца и плиты, и прижимают верхней плитой пресса.

Нагрузка на образец должна возрастать непрерывно и равномерно со скоростью, обеспечивающей его разрушение через 20...60с после начала испытания.

Предел прочности при сжатии $R_{сж}$, МПа (кгс/см²), образца вычисляют по формуле:

$$R_{сж} = \frac{P}{F} \quad (7.2)$$

где: P – наибольшая нагрузка, установленная при испытании образца, Н(кгс);

F – площадь поперечного сечения образца, вычисленная как среднее арифметическое значение площадей верхней и нижней его поверхностей, см².

Таблица 7.4

Марки керамического кирпича по прочности

Марка кирпича	Предел прочности при сжатии, МПа		Предел прочности при изгибе для полнотелого кирпича, МПа	
	Средний из 5 образцов	Наименьший для образца	Средний из 5 образцов	Наименьший для образца
M1000	100,0	80,0	>4,4	4,4
M800	80,0	64,0		
M600	60,0	48,0		
M500	50,0	40,0		
M400	40,0	32,0		
M300	30,0	25,0	4,4	2,2
M250	25,0	20,0	3,9	2,0
M200	20,0	17,5	3,4	1,7
M175	17,5	15,0	3,1	1,5
M150	15,0	12,5	2,8	1,4
M125	12,5	10,0	2,5	1,2
M100	10,0	7,5	2,2	1,1
M75	7,5	5,0	-	-
M50	5,0	3,5	-	-
M35	3,5	2,5	-	-
M25	2,5	1,5	-	-

7.5. Определение марки по морозостойкости

Определение марки кирпича по морозостойкости выполняют в соответствии с требованиями **ГОСТ 7025–91 «Кирпич и камни керамические и силикатные. Методы определения водопоглощения, плотности и контроля морозостойкости»**.

По морозостойкости изделия подразделяют на марки F25, F35, F50, F75, F100, F200 и F300.

Числа в обозначении марки по морозостойкости отражают количество циклов переменного замораживания при температуре минус 15 ° и оттаивания при 20 °С, которое кирпич должен выдерживать в насыщенном водой состоянии без каких-либо видимых при-

знаков повреждений или разрушений (растрескивание, шелушение, выкрашивание, отколы).

Марка по морозостойкости лицевых изделий должна быть не ниже F50.

Допускается по согласованию с потребителем поставлять лицевые изделия марки по морозостойкости F35.

Марка по морозостойкости изделий, используемых для возведения дымовых труб, цоколей и стен подвалов, должна быть не ниже F50.

Состав приборов:

- камера морозильная регулируемой температурой от минус 15 до минус 20 °С;
- контейнеры сварные;
- сосуд с решеткой;
- термостат, обеспечивающий поддержание температуры воды в сосуде 20 °С;
- электрошкаф сушильный с автоматической регулировкой температуры в пределах 100...110 °С;
- ванна с гидравлическим затвором;
- весы;
- устройство для определения предела прочности образцов при сжатии.

Подготовка образцов

Для контроля морозостойкости по степени повреждений или потере массы отбирают не менее 5 образцов. Для контроля морозостойкости по потере прочности отбирают не менее 20 образцов, половину из которых используют в качестве контрольных для сравнения.

Контрольные образцы хранят в ванне с гидравлическим затвором.

На образцах фиксируют имеющиеся трещины, сколы ребер, углов и другие дефекты.

Образцы насыщают водой.

Допускается использовать образцы непосредственно после определения их водопоглощения.

Замораживание образцов в морозильной камере и оттаивание их в воде осуществляют в контейнерах.

Горизонтальные зазоры между образцами в контейнерах должны быть не менее 20 мм.

Загрузка камеры образцами не должна превышать 50 % ее полезного объема

Проведение испытания

Температура воздуха морозильной камеры до загрузки образцами должна быть не выше -15°C , а после загрузки не должна превышать -5°C . Началом замораживания образцов считают момент установления в камере температуры -15°C . Температура воздуха в камере от начала до конца замораживания должна быть от -15 до -20°C .

Продолжительность одного замораживания образцов должна быть не менее 4 ч. Перерыв в процессе одного замораживания не допускается.

После окончания замораживания образцы в контейнерах полностью погружают в сосуд с водой температурой 20°C , поддерживаемой термостатом до конца оттаивания образцов. Продолжительность оттаивания должна быть не менее половины продолжительности замораживания.

Одно замораживание и последующее оттаивание составляют один цикл, продолжительность которого не должна превышать 24 ч.

При окончании испытания на морозостойкость или его временном прекращении образцы после оттаивания хранят в ванне с гидравлическим затвором. При возобновлении испытания образцы дополнительно водонасыщают (без высушивания образцов керамических изделий).

❖ При оценке морозостойкости по степени повреждений после проведения требуемого числа циклов замораживания-оттаивания проводят визуальный осмотр образцов и фиксируют появившиеся дефекты.

❖ При оценке морозостойкости по потере массы после проведения требуемого числа циклов замораживания-оттаивания образцы керамических изделий высушивают до постоянной массы, а образцы силикатных изделий насыщают водой в соответствии с разд. 2 или 3.

❖ При оценке морозостойкости по потере прочности при сжатии после проведения требуемого числа циклов замораживания-оттаивания опорные поверхности каждого образца в отдельности (в том числе контрольных) выравнивают цементным раствором по приложению 2 ГОСТ 8462.

Образцы насыщают водой и проводят испытание на сжатие каждого образца в отдельности.

Обработка результатов

После визуального осмотра образцов делают заключение о соответствии их степени повреждений требованиям НТД на изделия конкретных видов.

А) Потерю массы образцов керамических изделий (Δm) в процентах вычисляют по формуле

$$\Delta m = \frac{m - m_6}{m} \cdot 100 \quad (7.3)$$

где m_6 – масса образца, высушенного до постоянной массы после требуемого числа циклов замораживания-оттаивания. г.

За значение потери массы изделий принимают среднее арифметическое результатов определений потери массы всех образцов, рассчитанное с точностью до 1 %.

Б) Потерю прочности изделий при сжатии (ΔR) в процентах вычисляют с точностью до 1 % по формуле

$$\Delta R = \frac{R_k - R}{R} \cdot 100 \quad (7.4)$$

где R_k – среднее арифметическое пределов прочности при сжатии контрольных образцов. МПа;

R – среднее арифметическое пределов прочности при сжатии образцов после требуемого числа циклов замораживания-оттаивания. МПа.

Кирпич должен быть морозостойким и, в зависимости от марки по морозостойкости в насыщенном водой состоянии, должен выдерживать без каких-либо видимых признаков повреждений или разрушений (растрескивание, шелушение, выкрашивание, отколы) не менее 25; 35; 50; 75; 100; 200 или 300 циклов попеременного замораживания и оттаивания. Виды повреждений изделий после испытания на морозостойкость приведены в приложении ГОСТ 7025.