

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ  
Федеральное государственное автономное образовательное учреждение  
Высшего образования  
«СЕВЕРО-КАВКАЗСКИЙ ФЕДЕРАЛЬНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ

**МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ  
ПО ВЫПОЛНЕНИЮ ЛАБОРАТОРНЫХ РАБОТ  
ПО ДИСЦИПЛИНЕ  
«СТРОИТЕЛЬНЫЕ МАТЕРИАЛЫ»**

для студентов

направления подготовки 08.03.01 Строительство

## **СОДЕРЖАНИЕ**

### **Лабораторная работа 1**

**Определение основных физических (технологических) свойств строительных материалов**

### **Лабораторная работа 2**

**Определение основных физико-механических свойств строительных материалов**

### **Лабораторная работа 3**

**Гидравлические вяжущие. Определение физических свойств портландцемента**

### **Лабораторная работа 4**

**Заполнитель для бетона и строительных растворов**

### **Лабораторная работа 5**

**Приготовление бетонной смеси и изготовление стандартных образцов**

### **Лабораторная работа 6**

**Бетон. Прочность бетона. Классы и марки бетонов**

### **Лабораторная работа 7**

**Проектирование дорожного асфальтобетона**

### **Лабораторная работа 8**

**Гидроизоляционные материалы. Испытание кровельных материалов по ГОСТ**

### **Лабораторная работа 9**

**Теплоизоляционные материалы. Определение теплопроводности**

# ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА 1

## Определение основных физических (технологических) свойств строительных материалов

**Цель работы:** ознакомление с испытательным оборудованием, средствами измерений, методикой проведения испытаний по определению физических показателей качества и определения основных физических характеристик строительных материалов в соответствии с нормативной документацией (по ГОСТ МУ и ГОСТ ТУ).

### Теоретическая часть

Каждый строительный материал имеет различные названия, состав, строение (или структуру) и показатели свойств. **Свойство** – это отдельная характеристика материала или изделия, проявляющаяся в процессе его переработки, применения и эксплуатации. *Свойства определяют область рационального применения и возможность его сочетания с другими материалами.*

Основные свойства строительных материалов зависят от их химического состава и структуры (строения).

В зависимости от химического состава строительные материалы принято делить на:

- **органические** (древесина, битумные материалы, пластмассы);
- **минеральные** (природный камень, бетон, керамика и т.п.);
- **металлические** (сталь, чугун, цветные металлы).

У каждой из этих групп материалов есть свои специфические свойства. Так, органические материалы не выдерживают высоких температур и горят. Минеральные материалы, напротив, имеют значительно более высокие температуры применения, а металлы хорошо проводят электрический ток и тепло.

Не меньше, чем химический состав, на свойства материала влияет его строение. При одном и том же химическом составе материалы различного строения обладают разными свойствами. Например, мел и мрамор — две горные породы, состоящие из карбоната кальция  $\text{CaCO}_3$ , но пористый рыхлый мел имеет низкую прочность и легко размокает в воде, а плотный мрамор прочен и стоек к действию воды.

Исходя из условий работы материала в сооружении, строительные материалы можно разделить по назначению на две группы.

**Первую группу** составляют **конструкционные материалы**:

1) природные каменные материалы (например гранит, базальт, известняк, песчаник, мрамор);

2) искусственные каменные материалы, получаемые на основе минеральных вяжущих веществ без обжига (например бетоны, строительные растворы);

3) искусственные каменные материалы, получаемые обжигом минерального сырья (например керамические кирпичи и камни, стекло);

4) металлы (например сталь и ее сплавы, алюминий и его сплавы и др.);

5) конструкционные пластмассы (например стеклопластики);

6) материалы из древесины.

**Вторая группа** объединяет строительные материалы **специального назначения**. Они необходимы для защиты конструкций от вредных воздействий окружающей среды, создания комфорта, а также для повышения надежности зданий при эксплуатации. К ним относятся строительные материалы:

1) теплоизоляционные (например минеральная вата, пенопласты, ячеистые бетоны, пеностекло);

2) акустические (например легкие и ячеистые бетоны, пористые пластмассы, изделия из древесины, тканевые и мембранные материалы на основе минеральных и органических волокон);

3) кровельные и гидроизоляционные (например рулонные битумные материалы, полимерные пленки и мембраны, битумные и полимерные и битумно-полимерные мастики);

4) герметизирующие (например герметики на основе полиуретанов и кремнийорганических соединений);

5) отделочные (например лакокрасочные, облицовочные материалы);

6) антикоррозионные (например мастики на основе битумных и полимерных композиций) и др.

## 1. Состав и строение строительных материалов

Строительные материалы характеризуются химическим и минеральным составами.

**Химический состав** определяет содержание в материале химических элементов или их оксидов и позволяет оценить свойства материала: например огнестойкость, биостойкость, а также механическую прочность и другие характеристики.

**Минеральный состав** показывает, какие минералы и в каком количестве содержатся, например, в вяжущем веществе или в каменном материале, и определяет многие свойства материала.

*Строение материала изучают на трех уровнях:*

1) макроуровне;

2) микроуровне;

3) молекулярно-ионном уровне, изучаемом методами рентгенографического анализа, электронной микроскопии и т.п.

**Структура или строение материалов.** Под структурой материалов подразумевают взаимное расположение, форму и размеры частиц материала,

пор, их размер и характер. Различают **микроструктуру** – строение материала, видимое только под микроскопом, и **макроструктуру** – строение, видимое невооруженным глазом или при небольшом увеличении.

Макроструктура может быть следующих типов: *конгломератная, ячеистая, мелкопористая, волокнистая, слоистая, рыхлозернистая или порошкообразная.*

**Конгломератная структура** характерна для материалов, зерна которых соединены цементирующим веществом. Это характерно для некоторых природных каменных материалов, бетона и др.

**Ячеистая структура** характеризуется наличием макропор: например в газо- и пенобетонах, ячеистых стекле и пластмассах.

Мелкопористая структура свойственна, например, цементному камню, мелкозернистым бетонам, керамическим материалам, полученным способами высокого водозатворения или введения выгорающих добавок.

**Волокнистая и слоистая структура** характерна для материалов, состоящих из волокон; слоистая — из слоев. Волокнистая структура присуща древесине, изделиям из минеральной ваты и др. Слоистую структуру имеют листовые, плитные материалы (например фанера, пластики).

Для волокнистых и слоистых материалов характерно явление анизотропии, то есть наличие различных свойств в разных направлениях.

**Рыхлозернистая структура** характерна для материалов, состоящих из отдельных, несвязанных зерен (песок, гравий и др.).

**Микроструктура веществ**, составляющих материал, может быть **кристаллической и аморфной**.

**Кристаллическими** называют материалы, состоящие из кристаллов (минералов), в каждом из которых расположение атомов, ионов, молекул имеет присущую ему кристаллическую решетку и трехмерную периодичность во всем объеме (в дальнем порядке).

**Аморфными** называют тела, в которых только ближайшие друг к другу атомы находятся в более или менее упорядоченном расположении; дальний же порядок отсутствует.

Неодинаковое строение кристаллических и аморфных веществ определяет и различие в свойствах. Аморфные вещества химически более активны, чем кристаллические такого же состава. Существенное различие между аморфными и кристаллическими веществами состоит в том, что кристаллические вещества при нагревании (при постоянном давлении) имеют определенную температуру плавления, а аморфные — размягчаются и постепенно переходят в жидкое состояние. Прочность аморфных веществ, как правило, ниже кристаллических, поэтому для получения материалов повышенной прочности специально проводят кристаллизацию.

**Внутреннее строение** веществ, составляющих материал, определяет механическую прочность, твердость и другие важные свойства материала.

## 2. Физико-механические свойства строительных материалов

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

### 2.1. Параметры состояния материала

Каждый строительный материал имеет параметры состояния в момент его осмотра или исследования. К ним относятся: плотность, пористость и влажность.

**Плотность**  $[\text{г/см}^3, \text{кг/м}^3]$  – физическая величина, определяемая массой единицы объема материала.

Любой материал состоит из твердого вещества и пор (за исключением абсолютно плотных материалов: например металлов). Поэтому объем материала в естественном состоянии ( $V_e$ ) складывается из объема вещества в абсолютно плотном состоянии ( $V_a$ ) и объема пор ( $V_n$ ):

$$V_e = V_a + V_n.$$

**Средняя плотность материала**  $\rho_m [\text{г/см}^3, \text{кг/м}^3]$  — масса единицы объема материала в естественном состоянии (т.е. с учетом пор, пустот, трещин и т.п.):

$$\rho_m = m/V_e. \quad (1)$$

Следовательно, средняя плотность материала меняется в зависимости от его структуры.

**Истинная плотность**  $\rho [\text{г/см}^3, \text{кг/м}^3]$  — масса единицы объема материала в абсолютно плотном состоянии (без пор, пустот, трещин и т.п.):

$$\rho = m/V_a. \quad (2)$$

Таким образом, истинная плотность характеризует твердый каркас материала и является его постоянной величиной.

Для сыпучих материалов (песка, щебня, гравия, цемента и т.п.) иногда используется понятие «насыпной плотности».

**Насыпная плотность**  $\rho_n [\text{г/см}^3, \text{кг/м}^3]$  — масса единицы объема рыхло насыпанных зернистых материалов (с учетом пор в каждом зерне и межзерновых пустот).

Часто среднюю плотность материала относят к плотности воды при температуре 4 °С, равной 1 г/см<sup>3</sup> или 1000 кг/м<sup>3</sup>, и тогда получается безразмерная величина, которую называют **относительной плотностью d**:

$$d = \rho_m / \rho_{\text{воды}}. \quad (3)$$

Строение пористого материала характеризуется общей, открытой и закрытой пористостью, распределением пор по их диаметрам и удельной поверхностью пор.

**Пористость П [%]** — степень заполнения объема материала порами:

$$P = V_n / V_e. \quad (4)$$

Обычно пористость рассчитывают, исходя из средней и истинной плотности материала:

$$P = \frac{\rho - \rho_m}{\rho} \times 100 \% = \left(1 - \frac{\rho_m}{\rho}\right) \times 100 \%. \quad (5)$$

Пористость материала характеризуют не только с количественной стороны, но и с качественной, т.е. по характеру пор: открытые и закрытые, мелкие (размером в сотые и тысячные доли миллиметра) и крупные (от десятых долей миллиметра до 2...5 мм).

Пористость строительных материалов колеблется в пределах от 0 до 90...98 % (см. табл. 1).

Таблица 1 – Истинная плотность, средняя плотность и пористость некоторых строительных материалов

| Материал      | Плотность, кг/м <sup>3</sup> |             | Пористость, % |
|---------------|------------------------------|-------------|---------------|
|               | истинная                     | средняя     |               |
| Сталь         | 7800...7900                  | 7800...7900 | 0             |
| Гранит        | 2700...2800                  | 2700...2800 | 0,5...1       |
| Тяжелый бетон | 2600...2700                  | 2200...2500 | 8...12        |
| Кирпич        | 2500...2600                  | 1400...1800 | 25...45       |
| Древесина     | 1500...1550                  | 400...800   | 45...70       |
| Пенопласты    | 950...1200                   | 20...100    | 90...98       |

**Открытая пористость P<sub>о</sub>** — отношение суммарного объема всех пор, насыщающихся водой ( $V_{\text{воды}}$ ), к объему материала в сухом состоянии ( $V_{\text{сух}}$ ):

$$P = \frac{V_{\text{воды}}}{V_{\text{сух}}} = \frac{(m_{\text{нас}} - m_{\text{сух}})}{V_e \times \rho_{\text{воды}}} \times 100 \%, \quad (6)$$

где  $m_{\text{нас}}$  — масса материала в водонасыщенном состоянии [г, кг];

$m_{\text{сух}}$  — масса сухого материала [г, кг].

Открытые поры сообщаются между собой и с окружающей средой, поэтому при погружении образцов материала в воду они насыщаются водой. Открытые поры увеличивают проницаемость и водопоглощение материала и ухудшают его морозостойкость.

Закрытая пористость  $\Pi_z$  характеризует объем замкнутых, не сообщающихся между собой и с окружающей средой пор:

$$\Pi_z = \Pi - \Pi_o. \quad (7)$$

Увеличение объема закрытых пор в материале способствует снижению его водопоглощения, повышению морозостойкости и долговечности материала.

Таким образом, от пористости зависят: водопоглощение, теплопроводность, акустические свойства, морозостойкость, прочность и др.

В ряде случаев для технических расчетов определяют **коэффициент плотности  $K_{\text{пл}}$**  [%], характеризующий степень заполнения объема материала твердым веществом:

$$K_{\text{пл}} = \frac{\rho_m}{\rho} \times 100 \%. \quad (8)$$

**Влажность  $W$**  [%] — содержание влаги в материале в данный момент, отнесенное к единице массы материала в сухом состоянии:

$$W = \frac{m_{\text{вл}} - m_{\text{сух}}}{m_{\text{сух}}} \times 100 \%, \quad (9)$$

где  $m_{\text{вл}}$  — масса материала в естественном состоянии [г, кг];

$m_{\text{сух}}$  — масса материала, высушенного до постоянной массы [г, кг].

**Удельная поверхность** — одна из важнейших характеристик порошковых материалов, определяющая активность протекания физико-химических процессов, многие технологические свойства, взаимодействие с окружающей средой и т.д.

Например, знание величины  $S_{\text{уд}}$  необходимо в тех случаях, когда в технологическом процессе «работает» именно поверхность сыпучих (зерновых или порошкообразных) строительных материалов с другим веществом, (гипс с водой, цемент с водой)

Удельной поверхностью называют площадь, которую имеет 1 грамм (или килограмм) того или иного вещества.

Обозначают эту величину как  $S_{\text{уд}}$ , ее размерность (см<sup>2</sup>/г) или (см<sup>2</sup>/кг).

## 2.2. Гидрофизические свойства

Гидрофизические свойства определяют отношение материала к действию воды и водяного пара.

Гигроскопичность  $H$  [%] — свойство материала поглощать водяной пар из воздуха:

$$H = \frac{m_{\text{вл}} - m_{\text{сух}}}{m_{\text{сух}}} \times 100 \%, \quad (10)$$

где  $m_{\text{вл}}$  — масса увлажненного образца [г, кг];

$m_{\text{сух}}$  — масса образца после высушивания [г, кг].

Поглощение влаги из воздуха обусловлено адсорбцией водяного пара на внутренних поверхностях пор и капиллярной конденсацией. Этот процесс называется **сорбцией**. Древесина, теплоизоляционные, стеновые и другие пористые материалы обладают развитой внутренней поверхностью пор и поэтому высокой сорбционной способностью.

**Водопоглощение** (%) — способность материала поглощать и удерживать воду после водонасыщения.

Водопоглощение выражают отношением количества поглощенной воды к массе сухого материала (**водопоглощение по массе  $W_m$** ) или степенью заполнения объема материала водой (**водопоглощение по объему  $W_o$** ).

Водопоглощение  $W_m$  и  $W_o$  определяют по формулам:

$$W_m = \frac{m_{\text{воды}}}{m_{\text{сух}}} \times 100 \% = \frac{m_{\text{нас}} - m_{\text{сух}}}{m_{\text{сух}}} \times 100 \%; \quad (11)$$

$$W_o = \frac{V_{\text{воды}}}{V_{\text{сух}}} = \frac{m_{\text{нас}} - m_{\text{сух}}}{V_{\text{сух}} \times \rho_{\text{воды}}} \times 100 \% = W_m \times d, \quad (12)$$

где  $m_{\text{нас}}$  — масса материала в насыщенном водой состоянии [г];

$m_{\text{сух}}$  — масса сухого материала [г];

$V_{\text{сух}}$  — объем материала в сухом состоянии [см<sup>3</sup>];

$\rho_{\text{воды}}$  — плотность воды, равная 1 г/см<sup>3</sup>.

$d$  — относительная плотность материала.

Водопоглощение отрицательно влияет на основные свойства материала: увеличивается средняя плотность, материал набухает, его теплопроводность возрастает, а прочность и морозостойкость уменьшаются.

**Коэффициент насыщения пор водой  $K_n$**  — отношение водопоглощения по объему к общей пористости материала:

$$K_n = W_o / P, \quad (13)$$

Коэффициент насыщения позволяет оценить структуру материала. Он может изменяться от 0, когда все поры в материале замкнуты, до 1, когда все поры открыты, т.е. водопоглощение по объему равно пористости. Уменьшение  $K_n$  (при постоянной общей пористости) свидетельствует о сокращении открытой пористости и повышении морозостойкости материала.

**Водонепроницаемость** — способность материала не пропускать воду под давлением.

Водонепроницаемость материала (например бетона) характеризуется маркой по водонепроницаемости, обозначающей одностороннее гидростатическое давление (в атм = кгс/см<sup>2</sup>), при котором бетонный образец-цилиндр не пропускает воду в условиях стандартного испытания. Марка по водонепроницаемости обозначается: W2, W4, W6 ... W24.

**Водостойкость** — способность материала, насыщенного водой, сохранять свою прочность. Водостойкость материала характеризуется **коэффициентом размягчения**:

$$K_p = R_{\text{нас}} / R_{\text{сух}}, \quad (14)$$

где  $R_{\text{нас}}$  — предел прочности материала в насыщенном водой состоянии [МПа];

$R_{\text{сух}}$  — предел прочности материала в сухом состоянии [МПа].

Коэффициент размягчения  $K_p$  определяется для материалов несущих конструкций. Материал считается водостойким при  $K_p \geq 0,8$ . В этом случае их разрешается применять в местах с повышенной влажностью без специальных мероприятий по защите от увлажнения.

***Паропроницаемость и сопротивление паропроницанию.***

Паропрopusкающая способность материала характеризуется паропроницаемостью и сопротивлением паропроницанию.

**Паропроницаемость** — величина, численно равная количеству водяного пара (в мг), проходящего за 1 ч через слой материала площадью 1 м<sup>2</sup> и толщиной 1 м при условии, что температура воздуха у противоположных сторон слоя одинаковая, а разность парциальных давлений водяного пара равна 1 Па.

**Сопротивление паропроницанию**  $R_n$  [м<sup>2</sup>·ч·Па/мг] — показатель, характеризующий разность парциальных давлений водяного пара (в Па) у противоположных сторон изделия с плоскопараллельными сторонами, при которой через изделие площадью 1 м<sup>2</sup> за 1 ч проходит 1 мг водяного пара при равенстве температуры воздуха у противоположных сторон изделия; величина, численно равная отношению толщины слоя испытуемого материала к значению паропроницаемости.

**Влажностные деформации** — изменение размеров и объема материала при изменении влажности.

**Усадка (усушка)** — уменьшение размеров и объема материала при его уменьшении влажности (высыхании) [мм/м, %].

**Набухание (разбухание)** — увеличение размеров и объема материала при увлажнении или полном насыщении материала водой [мм/м, %].

Влажностные деформации вызывают растрескивание и оказывают отрицательное влияние на материал конструкции. Показатели, например, усадки цементных материалов (бетонов, растворов) нормативно ограничивают.

**Морозостойкость** — способность материала в водонасыщенном состоянии выдерживать циклы многократного замораживания и оттаивания без внешних признаков разрушения, снижения массы и прочности свыше нормативных значений.

Морозостойкость может быть также определена ускоренными методами, например насыщением материалов в растворах солей.

В зависимости от числа циклов замораживания-оттаивания, которые выдержал материал, устанавливается его **марка по морозостойкости** (F15, F25, F35, F50, F100, F125, F150, F175, F200, F300, F400, F500 и более).

Один цикл испытания включает замораживание насыщенного водой образца в течение 4 ч при температуре  $-18 \pm 2$  °С в морозильной камере с последующим оттаиванием при температуре  $+18...20$  °С в воде.

Разрушение при таких циклических воздействиях знакопеременных температур связано как с появлением в нем растягивающих напряжений при образовании льда в порах материала, так и со всесторонним гидростатическим давлением воды. Увеличение объема при образовании льда составляет около 9 %.

Морозостойкость зависит главным образом от структуры материала — объема открытых пор, величины общей пористости, равномерности распределения пор по объему материала и их размеров.

Срок службы строительных материалов и конструкций, подвергающихся действию знакопеременных температур и воды, во многом обусловлен их морозостойкостью.

### 2.3. Теплофизические свойства

Теплофизические свойства материала обеспечивают поддержание комфортной температуры в жилых зданиях и требуемого теплового режима на промышленных объектах, в трубопроводах и т.п.

**Теплоемкость**  $C$  [Дж/(кг·°С)] — способность материала поглощать тепло при нагревании.

Показателем теплоемкости служит удельная теплоемкость  $c$ , равная количеству теплоты, необходимой для нагревания материала массой 1 кг на 1 °С:

$$c = \frac{Q}{m \cdot \Delta t}, \quad (15)$$

где  $Q$  — количество теплоты [Дж];

$m$  — масса материала [кг];

$\Delta t$  — повышение температуры [°С].

Теплоемкость неорганических строительных материалов, например бетона, кирпича, природных каменных материалов, находится в пределах от 0,75 до 0,92 кДж/(кг·°С); теплоемкость стали — 0,48 кДж/(кг·°С); древесины — 2,39...2,72 кДж/(кг·°С). Наибольшую теплоемкость имеет вода — 4,19 кДж/(кг·°С), поэтому с увеличением влажности материалов теплоемкость

увеличивается. Это приводит к повышению затрат на отопление жилых зданий.

**Теплопроводность** — способность материала передавать тепло от одной поверхности к другой.

Теплопроводность материала характеризуется **коэффициентом теплопроводности**  $\lambda$  [Вт/(м·°C)] — количеством теплоты, которое способен передать материал через 1 м<sup>2</sup> поверхности при толщине 1 м и разности температур на поверхностях 1 °C в течение 1 с:

$$\lambda = \frac{Q \cdot \delta}{A \cdot \Delta t \cdot \tau}, \quad (16)$$

где  $Q$  — количество теплоты [Дж];

$\delta$  — толщина материала [м];

$A$  — площадь поверхности [м<sup>2</sup>];

$\Delta t$  — разность температур [°C];

$\tau$  — продолжительность прохождения тепла [с].

Теплопроводность материала зависит от его пористости и влажности. С повышением пористости теплопроводность материала снижается, т.к. в порах содержится воздух, теплопроводность которого невелика:  $\lambda_{\text{возд}} = 0,024$  Вт/(м·°C).

При увлажнении материала его теплопроводность, наоборот, резко увеличивается, т.к. по сравнению с воздухом вода в 25 раз лучше пропускает тепло:  $\lambda_{\text{воды}} = 0,58$  Вт/(м·°C).

Теплопроводность некоторых строительных материалов представлена в табл. 2.

Таблица 2 – Теплопроводность строительных материалов

| Наименование материала         | Коэффициент теплопроводности, Вт/(м·°C) |
|--------------------------------|-----------------------------------------|
| Сталь                          | 50...58                                 |
| Гранит                         | 2,9...3,3                               |
| Бетон тяжелый                  | 1,28...1,55                             |
| Кирпич керамический полнотелый | 0,81...0,87                             |
| Бетон легкий                   | 0,35...0,8                              |
| Пенобетон                      | 0,12...0,15                             |
| Фибролит                       | 0,09...0,17                             |
| Минеральная вата               | 0,05...0,08                             |
| Древесноволокнистые плиты      | 0,046...0,08                            |
| Пенопласты                     | 0,03...0,05                             |

Для некоторых материалов установлена эмпирическая зависимость между коэффициентом теплопроводности  $\lambda$  и относительной плотностью  $d$  (формула В.П. Некрасова):

$$\lambda = 1,16\sqrt{0,0196 + 0,22d^2} - 0,16 \quad (17)$$

**Тепловое расширение** — свойство материала расширяться при нагревании и сжиматься при охлаждении. Оно характеризуется температурным коэффициентом линейного расширения.

**Температурный коэффициент линейного расширения (ТКЛР)** характеризует удлинение материала при нагревании его на 1 °С. Коэффициенты температурного линейного расширения у разных материалов значительно отличаются (см. табл. 3).

Таблица 3 – Температурный коэффициент линейного расширения строительных материалов

| Материал   | ТКЛР·10 <sup>-6</sup> , °С <sup>-1</sup> |
|------------|------------------------------------------|
| Сталь      | 10...12                                  |
| Бетон      | 10...12                                  |
| Алюминий   | 24                                       |
| Стекло     | 9...10                                   |
| Медь       | 17                                       |
| Полиэтилен | 300...500                                |

При пожаре может произойти обрушение конструкций и ущерб достигает максимальных значений. Следовательно, огнестойкость обеспечивает противопожарную защиту и повышает надежность строительных объектов при эксплуатации.

**Огнестойкость** — это способность конструкций и зданий сопротивляться воздействию пожара во времени. Характеристикой огнестойкости является предел огнестойкости.

Стандартные температурные режимы пожара представлены в табл. 4 в соответствии с нормами РФ, ASTM-E 119 (США) и Евросоюза, например BS (Англия).

Предел огнестойкости строительных конструкций устанавливается по времени (в минутах) наступления одного или нескольких видов предельных состояний: потери несущей способности (R); потери целостности (E); потери теплоизолирующей способности (I).

Значение предела огнестойкости конкретной конструкции включает в себя условное обозначение предельного состояния и цифру, соответствующую периоду времени (в мин) достижения того или иного предельного состояния. Показатель при обозначении предела огнестойкости должен соответствовать числу 15, 30, 45, 60, 90, 120, 150, 180, 240, 360. Например, если предел огнестойкости фрагмента стены толщиной 100 мм из газобетона составляет 150 мин, то его обозначение будет REI 150.

Огнестойкость конструкции зависит от состава, структуры, строительных материалов.

Таблица 4 – Стандартные температурные режимы пожара

| Время, мин | Избыточная температура, °С |                     |                         |
|------------|----------------------------|---------------------|-------------------------|
|            | СТ СЭВ 1000-78             | ASTM-E 119<br>(США) | BS 476 Part<br>(Англия) |
| 5          | 556                        | 538                 | 583                     |
| 10         | 659                        | 704                 | 583                     |
| 15         | 718                        | 760                 | -                       |
| 30         | 821                        | 843                 | 846                     |
| 45         | 875                        | 892                 | -                       |
| 60         | 925                        | 927                 | 950                     |
| 90         | 986                        | 978                 | -                       |
| 120        | 1029                       | 1010                | 1054                    |
| 150        | 1060                       | 1031                | -                       |
| 180        | 1090                       | 1052                | -                       |
| 240        | 1133                       | 1093                | 1157                    |
| 360        | 1193                       | 1177                | -                       |

**Горючесть** — способность материала выдерживать без разрушения действие высоких температур и открытого пламени. В зависимости от значений параметров горючести строительные материалы подразделяют на *негорючие* (НГ) и *горючие* (Г).

Материалы относят к негорючим при следующих значениях параметров горючести:

- прирост температуры в печи не более 50 °С
- потеря массы образца не более 50 %;
- продолжительность устойчивого пламенного горения не более 10 с.

Строительные материалы, не удовлетворяющие хотя бы одному из указанных значений параметров, относятся к горючим.

Горючие строительные материалы в зависимости от значений параметров горючести подразделяют на четыре *группы горючести*: Г1, Г2, Г3, Г4 (см. табл. 5).

Таблица 5 – Группы горючести строительных материалов

| Группа горючести материалов | Параметры горючести             |                                                 |                                                 |                                                                  |
|-----------------------------|---------------------------------|-------------------------------------------------|-------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------|
|                             | Температура дымовых газов T, °С | Степень повреждения по длине S <sub>L</sub> , % | Степень повреждения по массе S <sub>m</sub> , % | Продолжительность самостоятельного горения t <sub>c.g.</sub> , с |
| Г1                          | ≤135                            | ≤65                                             | ≤20                                             | 0                                                                |
| Г2                          | ≤235                            | ≤85                                             | ≤50                                             | ≤30                                                              |
| Г3                          | ≤450                            | >85                                             | ≤50                                             | ≤300                                                             |
| Г4                          | >450                            | >85                                             | >50                                             | >300                                                             |

Примечание. Для материалов групп горючести Г1—Г3 не допускается образование горящих капель расплава при испытании

**Огнеупорность** — способность материала выдерживать длительное воздействие температур выше 1580 °С, не размягчаясь и не деформируясь.

Материалы, выдерживающие температуру более 1580 °С, называют огнеупорными, от 1350 до 1580 °С — тугоплавкими, ниже 1350 °С — легкоплавкими. Материалы, которые способны длительное время выдерживать температуру до 1000 °С при незначительной потере прочности, относят к жаростойким (например керамический кирпич, жаростойкий бетон и др.).

## 2.4. Механические свойства

Необходимые и стабильные механические свойства материала гарантируют надежную работу при эксплуатации конструкций и строительных объектов. Они позволяют материалу конструкций сопротивляться силовым нагрузкам и деформациям. Их подразделяют на прочностные (предел прочности, твердость, истираемость) и деформативные (упругость, пластичность, хрупкость, усадку, ползучесть).

### 2.4.1. Прочностные свойства

**Прочность** [МПа, кгс/см<sup>2</sup>, Н/мм<sup>2</sup>] — способность материала сопротивляться разрушению от внутренних напряжений, возникающих под действием внешних сил.

Прочность оценивается пределом прочности. В зависимости от воздействия различают пределы прочности при сжатии, растяжении, растяжении при изгибе, растяжении при раскалывании, сдвиге, кручении и др.

**Предел прочности при сжатии** [МПа] равен отношению разрушающей нагрузки к площади ее приложения.

Определяется по формуле:

$$R_c = \frac{F}{A} \quad (18)$$

где  $F$  — разрушающая нагрузка [Н, кН];

$A$  — площадь приложения нагрузки [м<sup>2</sup>, см<sup>2</sup>].

Предел прочности на растяжение при изгибе [МПа] определяется по формуле:

$$R_n = \frac{3}{2} \cdot \frac{Fl}{bh^2}, \quad (19)$$

где  $F$  — разрушающая нагрузка [Н, кН];

$l$  — расстояние между опорами [м, см];

$b$  — ширина образца [м, см];

$h$  — высота образца [м, см].

Прочность материала определяют на образцах, форму и размеры которых устанавливают стандарты.

В зависимости от показателя прочности строительные материалы характеризуются **маркой** (например цементы, керамические и силикатные кирпичи и др.) или **классом** (например цементы, бетоны). Примеры обозначения:

- марки кирпича по прочности: М50, М75, М100, М125, М150, М175 ...;
- классы бетона по прочности: В3,5; В5; В7,5; В10 ... В60.

Для оценки эффективности материала часто используют показатель, называемый удельной прочностью.

Удельная прочность — это отношение предела прочности при сжатии  $R_c$  (изгибе  $R_{из}$ ) к относительной плотности материала  $d$ :

$$R_{уд} = K_{к.к.} = R/d, \quad (20)$$

Раньше удельная прочность называлась **коэффициентом конструктивного качества  $K_{к.к.}$** .

**Твердость** – способность материала сопротивляться проникновению в него более твердого материала.

Методы определения твёрдости по способу приложения нагрузки делятся на: 1) статические и 2) динамические (ударные).

Для измерения твёрдости существуют несколько шкал (методов измерения)

Твердость различных материалов определяется по разным методикам. Так, *твердость минералов и горных пород* оценивается по **шкале Мооса**, содержащей 10 минералов; показатель твердости изменяется в пределах от 1 (тальк) до 10 (алмаз). *Минерал, имеющий больший порядковый номер, оставляет черту на предыдущем.*

Для определения твердости бетона, кирпича, пластмасс, металлов и др. в поверхность материала вдавливаются металлические или алмазные шарик, конус или пирамидка. Для проведения контроля твердости материалов используют приборы-твердомеры, определяющие твердость по методам Бринелля, Виккерса, Роквелла и Шора. В таких случаях твердость материала определяется отношением нагрузки к площади отпечатка.

**Истираемость  $I$  [г/см<sup>2</sup>]** — свойство материала сопротивляться механическим воздействиям (трению). Истираемость оценивают потерей первоначальной массы образца материала, отнесенной к площади поверхности истирания:

$$I = \frac{m_1 - m_2}{A}, \quad (21)$$

где  $m_1$  и  $m_2$  – масса образца до и после истирания [г];

$A$  – площадь поверхности истирания [см<sup>2</sup>].

#### 2.4.2. Деформативные свойства

Срок службы строительных зданий и сооружений рассчитан на 30, 50, 100 и более лет. За годы их эксплуатации происходят различные деформации. Они связаны с нагрузками от массы стен, перекрытий, покрытий, оборудования и т.п., а также с изменениями температуры и влажности окружающей среды и материала конструкций. При разработке, проектировании материалов и расчете конструкций деформационные

изменения необходимо обязательно учитывать. Так, например, при строительстве устраивают деформационные швы.

При статических воздействиях в материалах конструкций возникают упругие, пластические и хрупкие деформации, а также деформации усадки и ползучести.

**Упругость** — способность материала деформироваться под действием нагрузки и восстанавливать свою форму и размеры после ее снятия.

Упругие деформации являются обратимыми. К упругим материалам относятся каучук, резина.

**Модуль упругости  $E$  (модуль Юнга)** связывает одноосное напряжение и упругую относительную деформацию соотношением, полученным на основании закона Гука:

$$E = \sigma / \varepsilon, \quad (22)$$

где  $\sigma$  – напряжение [МПа];

$\varepsilon$  – относительная деформация.

**Пластичность** – способность материала деформироваться под действием нагрузки, не разрушаясь и сохранять остаточную деформацию после ее снятия.

Пластическая деформация необратима. Примерами пластичного материала служат битумы (при положительных температурах), некоторые виды пластмасс, сталь, бетонные и растворные смеси.

**Хрупкость** – свойство материала разрушаться без заметных пластических деформаций.

К материалам, имеющим хрупкий характер разрушения, относятся стекло, бетон, кирпич.

Под действием окружающей среды, при изменении влажности материала могут возникать деформации усадки. Они могут быть вызваны уменьшением влажности (усушкой) материала или контракцией, карбонизацией в цементных системах.

**Ползучесть [мм/м]** – увеличение деформации материала под действием постоянной статической нагрузки в течение времени.

Показателем ползучести служит мера ползучести или удельная относительная деформация ползучести.

Деформации усадки и ползучести присущи растворам, бетонам и др. В течение времени они снижаются и затухают в реальных условиях работы конструкций.

### 3. Химические и физико-химические свойства строительных материалов

#### 3.1. Химические свойства

Для строительных материалов важно, чтобы они обладали способностью сохранять свой химический состав и структуру при воздействии окружающей среды.

**Химическая стойкость** – способность материала сопротивляться воздействию агрессивных сред: кислот (кислотостойкость), щелочей (щелочестойкость), растворенных в воде солей (солестойкость) и газов.

Изменение состава и строения материалов под воздействием внешней агрессивной среды называется **коррозией**.

**Коррозионная стойкость** – способность материала сопротивляться коррозии.

Химическая и коррозионная стойкость оцениваются по степени снижения прочностных показателей и др. свойств.

#### 3.2. Физико-химические свойства

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

**Адгезия** [МПа] – прочность прилипания жидкой фазы или пластично-вязких смесей (раствора, мастики, краски и др.) к поверхности твердого основания (или подложки).

Адгезия наносимого на поверхность основания (или подложки) материала зависит от их природы, формы и состояния поверхности, условий контакта и др. Адгезия характеризуется силой, необходимой для разделения поверхностей.

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

**Тиксотропия** – способность пластично-вязких смесей (бетона, раствора) обратимо разжижаться от механического воздействия и восстанавливать прежнее состояние в состоянии покоя.

Физическая основа тиксотропии – восстановление структурных связей внутри пластично-вязкой смеси после прекращения механического воздействия. Это свойство имеет большое значение для проведения кладочных, штукатурных, бетонных работ на строительной площадке, а также на заводах по производству сборных железобетонных изделий.

#### 4. Надежность

Конструкции, здания и сооружения выполняются из строительных материалов и должны иметь высокую надежность. Следовательно, строительные материалы являются неотъемлемой составной частью любого строительного объекта.

**Надежность** (*Dependability*) – это комплексное свойство объекта сохранять во времени в установленных пределах значения всех параметров, характеризующих способность выполнять требуемые функции в заданных режимах и условиях применения, технического обслуживания. Она складывается из долговечности, безотказности, ремонтпригодности и сохраняемости.

**Безотказность** (*Reliability, Failure-free operation*) – свойство объекта непрерывно сохранять работоспособное состояние в течение всего периода эксплуатации.

**Долговечность** (*Durability, Longevity*) – свойство объекта сохранять работоспособное состояние до наступления предельного состояния при предусмотренном техническом обслуживании и ремонте (срок службы).

Например, для железобетонных и каменных конструкций нормами предусмотрены три степени долговечности: I соответствует сроку не менее 100 лет; II – 50 лет; III – 20 лет.

**Ремонтпригодность** (*Maintainability*) – свойство объекта к поддержанию и восстановлению работоспособного состояния при техническом обслуживании и ремонте.

**Сохраняемость** (*Storability*) – свойство объекта сохранять в заданных пределах значения параметров при выполнении требуемых функций.

## **Оборудование и материалы**

Весы лабораторные электронные, весы гидравлические, эксикатор, прибор (колба) Ле Шателье, лабораторный термометр; посуда лабораторная стеклянная и фарфоровая, сито с размером ячеек 0,2 мм., штангенциркуль, линейка измерительная металлическая 300 мм., воронка стеклянная, воронка-конус с заслонкой, мерный сосуд вместимостью 1 л, вода дистиллированная 20 л., образцы строительных материалов (кубик из тяжелого бетона 100x100x100, кубик из ячеистого бетона 75x75x75 мм., сталь, гранит, стеклянная бутылка, деревянный брусок, пенополистирол, кирпич керамический и силикатный 1НФ, тонкоизмельченный керамический порошок 0,16-0,315 мм., песок чистый фр.0,16-5,0 мм.).

## **Указания по технике безопасности**

Перед проведением лабораторных работ все студенты должны пройти инструктаж по технике безопасности и неуклонно соблюдать правила безопасности при работе в лаборатории.

Приступая к выполнению лабораторного задания, необходимо освободить лабораторный стол от ненужных предметов и следить за его чистотой. Для защиты одежды от загрязнений студенты должны пользоваться халатами или брезентовыми фартуками, резиновыми перчатками, холщовыми рукавицами и защитными очками. При работе, связанной с возможной угрозой для безопасности исполнителя, запрещается оставаться в помещении лаборатории одному.

Каждый работающий в лаборатории должен принимать во внимание огнеопасность, токсичность некоторых веществ, возможность образования взрывоопасных смесей.

Студентам запрещается самовольно включать и выключать лабораторное оборудование: гидравлический пресс, сушильный шкаф, электронный влагомер и другие. Нельзя оставлять оборудование и приборы включенными по окончании работы. Работать на лабораторном оборудовании можно только с ведома преподавателя и после ознакомления с инструкцией по работе на данном оборудовании.

## **Содержание отчета**

Отчет оформляется в рабочей тетради на листах формата А 4 и подшивается в скоросшиватель, заполняются все полученные значения характеристик строительных материалов, а также зарисовываются схемы испытаний, заполняются таблицы и приводятся формулы расчета основных физио-механических показателей материалов.

## Методика и порядок выполнения лабораторной работы

### Определение плотности и пористости

**Задание:** определить истинную и среднюю плотность образцов строительных материалов и рассчитать их пористость и коэффициент плотности.

**Цель:** ознакомиться с понятиями *истинной* и *средней плотности*, методами определения *истинной* и *средней плотности* для образцов правильной и неправильной геометрической формы, научиться рассчитывать значения *пористости* и *коэффициента плотности* различных материалов.

#### **Задание 1. Определение средней плотности материалов в образцах правильной и неправильной геометрической формы**

**Методика:** определение массы и размеров образцов правильной геометрической формы (древесина, бетон, керамический кирпич); использование метода гидростатического взвешивания для образцов неправильной формы (сталь, гранит) для определения средней плотности материала.

**Средняя плотность** – это масса единицы объема материала в естественном состоянии. Среднюю плотность материала определяют отношением массы  $m$  материала ко всему занимаемому им объему  $V_{ест}$ , включая имеющиеся в них пустоты и поры.

Средняя плотность находится в обратной зависимости от пористости материала. Для точного измерения объема удобнее принимать образцы правильной геометрической формы, хотя имеются несложные приемы измерения объема образцов и неправильной формы. При влажных образцах отмечается величина влажности, при которой определялась средняя плотность. Среднюю плотность пустотелых изделий определяют на целых изделиях без вычета пустот.

Среднюю плотность определяют не менее чем на трех образцах.

Размеры образцов измеряют средствами измерений (металлической линейкой или штангенциркулем), и вычисляют объем. Затем взвешиванием определяют массу образцов.

Среднюю плотность материала вычисляют по формуле:

$$\rho_{cp} = \frac{m}{V_{ест}} \quad \text{г/см}^3 \text{ или } \text{кг/м}^3 \quad (1)$$

где  $m$  - масса образца, г (кг);

$V_{ест}$  - объем образца в естественном состоянии, см<sup>3</sup> (м<sup>3</sup>).

Результаты определения средней плотности заносят в таблицу 1 рабочей тетради.

**Ход выполнения работы**  
**Для образцов правильной геометрической формы.**

Образцы древесины, кубика из тяжелого бетона и керамического кирпича 1НФ измеряют штангенциркулем или линейкой с погрешностью 1 мм и рассчитывают объем образцов  $V_e$  [см<sup>3</sup>] по формуле:

$$V_e = a \cdot b \cdot h, \quad (2)$$

где  $a$  и  $b$  — стороны образца,  $h$  — высота образца [см].

Затем определяют массу образцов  $m$  с погрешностью 0,5 г для керамического кирпича и 0,1 г для древесины и бетона.

Среднюю плотность  $\rho_m$  [г/см<sup>3</sup>] рассчитывают по формуле (1), а затем переводят ее в кг/м<sup>3</sup>, умножая полученное значение на 1000. Полученные данные заносят в таблицу 1 рабочей тетради.

**Для образцов неправильной геометрической формы.**

Объем образцов неправильной геометрической формы (сталь, гранит, стеклянная бутылка) невозможно рассчитать по результатам геометрических измерений. Для определения объема в данной лабораторной работе используют **метод гидростатического взвешивания**, основанный на законе Архимеда: образец погружают в воду и затем оценивают его объем по объему вытесненной образцом воды.

Образец подвешивают на тонкой проволочке к коромыслу технических весов и определяют его массу  $m$ . Затем образец, не снимая с весов, погружают в воду, используя приспособление для гидростатического взвешивания (рис. 2), и определяют массу образца в воде  $m_1$ .

По результатам двух последних взвешиваний рассчитывают естественный объем образца  $V_e$  [г/см<sup>3</sup>]:

$$V_e = \frac{m - m_1}{\rho_{\text{воды}}}, \quad (3)$$

где  $\rho_{\text{воды}} = 1$  г/см<sup>3</sup> при 4 °С.

Среднюю плотность  $\rho_m$  рассчитывают по формуле (1).

Результаты всех испытаний заносят в сводную таблицу (см. таблицу 1 лабораторного журнала).

**Примечание:** если образец обладает высокой пористостью, то перед испытанием необходимо насытить его водой, для того чтобы исключить поглощение воды образцом при испытании. Образец взвешивают в сухом состоянии  $m_{\text{сух}}$ . Далее образец постепенно заливают водой и периодически (через 1...2 мин) взвешивают; перед взвешиванием образец обтирают влажной тканью. Закачивают насыщение образца после того, когда два последовательных взвешивания будут отличаться не более чем на 0,05 г. Значение массы образца в этот момент принимают за массу насыщенного водой образца:  $m = m_{\text{нас}}$ .

В данном случае естественный объем образца  $V_e$  рассчитывают по формуле:

$$V_e = \frac{m_{\text{нас}} - m_1}{\rho_{\text{воды}}}, \quad (3.1)$$

где  $\rho_{\text{воды}} = 1 \text{ г/см}^3$  при  $4 \text{ }^\circ\text{C}$ .



Рисунок 1 – Весы для гидростатического взвешивания.

### Пример

Таблица 1 – Результаты испытаний

| Показатели,<br>размерность                                                           | Форма образца |           |                  |              |        |
|--------------------------------------------------------------------------------------|---------------|-----------|------------------|--------------|--------|
|                                                                                      | Правильная    |           |                  | Неправильная |        |
|                                                                                      | Древесина     | Пенопласт | Кирпич<br>керам. | Сталь        | Гранит |
| Масса образца $m$ , г                                                                | 49,3          | 15,6      | 3300             | 94,5         | 63,5   |
| Размеры, см: длина<br>ширина<br>высота                                               | 4,5           | 14,6      | 24,8             | -            | -      |
|                                                                                      | 4,5           | 9,2       | 12               | -            | -      |
|                                                                                      | 4,7           | 5,1       | 5,7              | -            | -      |
| Объем $V_e$ , $\text{см}^3$                                                          | 95,18         | 658,03    | 1696,32          | -            | -      |
| Масса образца в воде $m_1$ , г                                                       | -             | -         | -                | 82,16        | 40,1   |
| Масса вытесненной воды<br>$m_v = m - m_1$ , г                                        | -             | -         | -                | 12,34        | 23,4   |
| Объем вытесненной воды<br>(образца) $V_e = m_v / \rho_{\text{воды}}$ , $\text{см}^3$ | -             | -         | -                | 12,34        | 23,4   |
| Средняя плотность $\rho_m$ , $\text{г/см}^3$                                         | 0,517         | 0,02      | 1,95             | 7,658        | 2,71   |
| То же, $\text{кг/м}^3$                                                               | 517           | 20        | 1950             | 7658         | 2710   |

Расчетная формула:  $\rho_m = m/V_e$ .

### Задание 2. Определение истинной плотности

**Методика:** вытеснение инертной жидкости порошком исследуемого материала и определение массы испытанного инертного материала.

*Оборудование:* колба-объемомер (колба Ле Шателье), весы электронные, стеклянная палочка, стеклянный (фарфоровый) стакан.

*Инертная жидкость:* вода дистиллированная.

*Температура жидкости:* 20 °С.

*Материалы:* навеска тонкоизмельченного порошка керамического кирпича.

*Масса порошка до испытания:* определяется взвешиванием.

*Объем вытесненной жидкости:* 20 см<sup>3</sup>.

*Масса остатка порошка:* определяется взвешиванием.

*Масса порошка, засыпанного в объемомер:* рассчитывается как разность между массой порошка до испытания и массой остатка порошка.

*Истинная плотность  $\rho$ :* определяется по формуле (4).

**Истинная плотность** – это масса единицы объема материала в абсолютно плотном состоянии (без пор и пустот). Учитывается только объем, занятый веществом, из которого состоит материал. Определяется как отношение массы  $m$  материала на объем в абсолютно плотном состоянии (объем твердой фазы –  $v_a$ ).

$$\rho = \frac{m}{v_a}, \text{ г/см}^3 \text{ или кг/м}^3 \quad (4)$$

Истинная плотность есть физическая константа вещества, из которого состоит материал. Для строительных материалов она изменяется в пределах от 900 кг/м<sup>3</sup> (для полимеров) до 7980 кг/м<sup>3</sup> (для стали). Для материалов и изделий, которые имеют один и тот же вещественный состав, истинная плотность одинакова.

Для определения плотности из отобранной и тщательно перемешанной средней пробы отвешивают 200 г материала, который сушат в сушильном шкафу при температуре 105°С до постоянной массы. Высушенный материал тонко измельчают в фарфоровой ступке таким образом, чтобы он проходил через сито с сеткой № 0,063. После этого порошок снова просушивают при температуре 105°С, а затем охлаждают до комнатной температуры в эксикаторе.

### ***Ход выполнения работы***

Пробу тонкоизмельченного кирпича, размер частиц которой менее размера пор в кирпиче, массой около 100 г помещают в стаканчик и взвешивают на весах с погрешностью не более 0,05 г ( $m_1$ ).

В объемомер (рисунок 2) наливают воду до нижней риски, нанесенной на горле колбы. Горло объемомера подсушивают фильтровальной бумагой. Затем навеску порошка кирпича с помощью стеклянной палочки осторожно пересыпают в объемомер до тех пор, пока уровень воды не поднимется до верхней риски (при этом потери порошка недопустимы). Объем засыпанного порошка  $V_a$  равен объему, занимаемому водой между верхней и нижней

рисками объемомера ( $20 \text{ см}^3$ ). Это значит, что в объемомер всыпано  $20 \text{ см}^3$  порошка испытуемого материала. Остаток порошка взвешивают с точностью до  $0,01 \text{ г}$ . Масса порошка материала, всыпанного в объемомер, равна разности между первоначальной массой и массой остатка. Плотность вычисляют с точностью до  $0,01 \text{ г/см}^3$  как среднее арифметическое двух определений, расхождение между которыми не должно превышать  $0,02 \text{ г/см}^3$ .

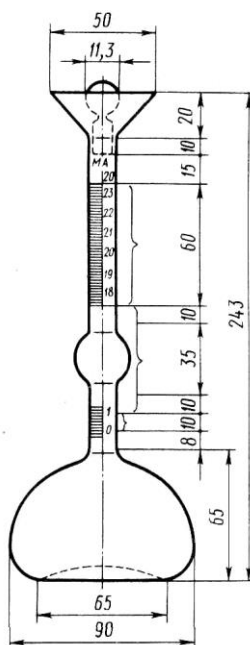


Рисунок 2 – Колба-объемомер (колба Ле Шателье)

Массу порошка, засыпанного в объемомер [г], определяют по формуле:

$$m = m_1 - m_2, \quad (5)$$

где  $m_1$  – масса порошка до испытания;

$m_2$  – масса остатка порошка.

Истинная плотность рассчитывается по формуле (4).

### **Пример**

Масса порошка до испытания  $m_1$ : 108,8 г.

Объем вытесненной жидкости  $V_a$ :  $20 \text{ см}^3$ .

Масса остатка порошка  $m_2$ : 55,3 г.

Масса порошка, засыпанного в объемомер,  $m$ : 53,5 г.

Истинная плотность:  $\rho = m/V_a = 53,5/20 = 2,68 \text{ г/см}^3$  или  $2680 \text{ кг/м}^3$ .

### **Задание 3. Определение насыпной плотности**

Сыпучие рыхлые материалы (щебень, гравий, песок, цемент и др.) характеризуются насыпной плотностью  $\rho_n$  и пустотностью  $V_{пуст}$ .

**Насыпная плотность** – это масса единицы объема материала в рыхлонасыпном состоянии. Формула расчета и размерность показателя те же,

что и в (1). Объем таких материалов включает не только поры в зернах материала, но и пустоты между ними. Количество пустот, образующихся между зернами рыхлонасыпного материала, выраженное в процентах по отношению ко всему занимаемому объему, называют **пустотностью**. Этот показатель важен для *песка, щебня, керамзита* при изготовлении бетона.

Сущность испытания заключается в заполнении мерного сосуда рыхлозернистым материалом.

В зависимости от крупности частиц материала используют сосуды различной вместимости. Если размер частиц материала составляет 0-5 мм то объем сосуда должен быть 1-2 л, если размер частиц 5-40 мм то объем сосуда – 10 л, и если размер частиц более 40 мм то объем сосуда - 20 л.

Насыпную плотность сыпучих материалов (песок, цемент и др.) определяют с помощью воронки в виде конуса с заслонкой в нижней части (рисунок 3).

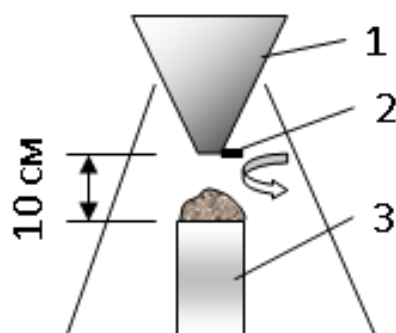


Рисунок – 3 Определение насыпной плотности:

1- воронка-конус; 2 - заслонка; 3 – мерный сосуд

Под воронку ставят заранее взвешенный мерный сосуд емкостью 1 л. В воронку засыпают сухой материал, открывают заслонку и с высоты 10 см заполняют сосуд с избытком. Металлической линейкой срезают излишек материала вровень с краями сосуда (без уплотнения) и взвешивают.

Насыпную плотность материала вычисляют по формуле:

$$\rho_n = \frac{m_2 - m_1}{V}, \text{ г/см}^3 \text{ или кг/м}^3. \quad (6)$$

где  $m_1$  - масса сосуда, г;

$m_2$  - масса сосуда с материалом, г;

$V$  - объем сосуда, см<sup>3</sup>.

Результаты определения насыпной плотности заносят в таблицу 3 рабочей тетради.

Таблица 3 – Результаты определения насыпной плотности

| Материал | Масса, г |                       |           | Объем цилиндра, см <sup>3</sup> | Насыпная плотность, г/см <sup>3</sup> |
|----------|----------|-----------------------|-----------|---------------------------------|---------------------------------------|
|          | цилиндра | цилиндра с материалом | материала |                                 |                                       |
| 1        | 2        | 3                     | 4         | 5                               | 6                                     |

#### **Задание 4. Расчет пористости и коэффициента плотности**

**Пористость** - это степень заполнения материала порами.

$$П = \left( 1 - \frac{\rho_{cp}}{\rho} \right) \cdot 100\% \quad (7)$$

Поры представляют собой ячейки, не заполненные структурным материалом. По величине они могут быть от миллионных долей миллиметра до нескольких миллиметров.

Более крупные поры, например, между зернами сыпучих материалов, или полости, имеющиеся в некоторых изделиях (пустотелый кирпич, панели из железобетона), называют пустотами. Поры обычно заполнены воздухом или водой; в пустотах, особенно в широкополосных, вода не может задерживаться и вытекает.

Пористость материалов колеблется в широких пределах:

от 0,2...0,8 % - у гранита и мрамора ;

до 75...85 % у теплоизоляционного (эффективного) кирпича и у ячеистого бетона;

и свыше 90 % - у пенопластов и минеральной ваты.

От величины пористости и ее характера (размера и формы пор, равномерности распределения пор по объему материала, их структуры – сообщающиеся поры или замкнутые) зависят важнейшие свойства материала: плотность, прочность, долговечность, теплопроводность, водопоглощение, водонепроницаемость и др. Например, открытые поры увеличивают проницаемость и водопоглощение материала и ухудшают его морозостойкость. Однако в звукопоглощающих материалах открытые поры желательны, так как они поглощают звуковую энергию. Увеличение закрытой пористости за счет открытой повышает долговечность материала и уменьшает его теплопроводность.

Сведения о пористости материала позволяют определять целесообразные области его применения.

Различают полную, открытую и закрытую пористости. Полная пористость ( $П$ ) включает в себя открытую ( $П_o$ ) и закрытую пористости ( $П_z$ ). Открытыми считаются поры, которые при помещении материала в воду заполняются ею, закрытыми – которые не заполняются водой.

Полную пористость рассчитывают по формуле:

$$П = \left( 1 - \frac{\rho_{cp}}{\rho} \right) \cdot 100\%, \quad (8)$$

где  $\rho$  - истинная плотность материала, г/см<sup>3</sup>;

$\rho_{cp}$  - средняя плотность материала, г/см<sup>3</sup>.

Открытую пористость можно приближенно определить по величине водопоглощения по объему:

$$П_o \approx B_v \quad (9)$$

Закрытую (замкнутую) пористость в процентах определяют по формуле:

$$П_з = П - П_о \quad (10)$$

**Ход работы:** используя рассчитанные значения истинной плотности кирпича и данные таблицы (см. табл. 1 рабочей тетради), а также учитывая рассчитанные значения средней плотности (см. табл. 2 рабочей тетради), рассчитывают **пористость**  $П$  [%] и **коэффициент плотности**  $К_{пл}$  [%] керамического кирпича, древесины, гранита и пенопласта по формулам (7) и (8).

При этом учитывают, что  $П + К_{пл} = 1$  (или 100%).

Результаты всех расчетов заносят в сводную таблицу (см. таблицу 4 рабочей тетради).

### Пример

Таблица 4 – Результаты расчетов пористости и коэффициента плотности

| Материал        | Пористость, % | Коэффициент плотности, % |
|-----------------|---------------|--------------------------|
| Сталь           | 0             | 100                      |
| Гранит          | 3             | 97                       |
| Кирпич керамич. | 26,5          | 73,5                     |
| Древесина       | 67            | 33                       |
| Пенопласт       | 98            | 2                        |

Формулы:

$$П = \left(1 - \frac{\rho_m}{\rho}\right) \times 100 \%, \quad К_{пл} = \frac{\rho_m}{\rho} \times 100 \%$$

### Контрольные вопросы

1. Понятие материаловедения? Группы строительных материалов по химическому составу?
2. Понятие химического, минерального состава и структуры(строения) материалов. Приведите примеры строительных материалов по типу структур.
3. Что такое анизотропия? Для каких материалов характерна?
4. В чем различие между кристаллической и аморфной структурой? Приведите примеры строительных материалов такой структуры.
5. Классификация строительных материалов по назначению и условию работы в сооружении? Приведите примеры.
6. Какие свойства строительных материалов относятся к физико-механическим, химическим, физико-химическим? От чего зависят физико-механические свойства строительных материалов?
7. Понятие плотности (средняя, истинная, относительная, насыпная)? У каких материалов плотность больше/меньше? Для одного и того же материала какая их плотностей будет больше/меньше?

8. Понятие пористости(открытая и закрытая) и коэффициента плотности и ее влияние на характеристики строительных материалов?
9. Водопоглощение материала (по массе и объему). Как определить водопоглощение материала?
10. Что такое влажностные деформации, усадка, усушка? Единицы измерения, для каких материалов будет характерно?
11. Что такое морозостойкость материала и от чего зависит? В чем состоит причина разрушения строительных материалов от действия перепада температур от  $-18 \pm 2^{\circ}\text{C}$  до  $+18 \pm 2^{\circ}\text{C}$ ?
12. Какими показателями (единицы измерения или размерность) оценивается морозостойкость строительных материалов? В чем состоит стандартная метод определения марки по морозостойкости и как обозначается?
13. Что такое водостойкость материалов? Как оценить водостойкость строительных материалов (например гипсового кубика)?
14. Что такое водонепроницаемость материалов? Каким образом можно определить марку по водонепроницаемости?
15. Что такое паропроницаемость строительных материалов?
16. Что такое прочность и предел прочности (при сжатии и изгибе) строительных материалов? Что такое удельная прочность? Единицы измерения прочности? По показателю прочности чем характеризуются строительные материалы?
17. Что такое деформации? Дайте определения пластичности, упругости, хрупкости строительных материалов и приведите примеры таких строительных материалов.
18. Что такое модуль упругости (Модуль Юнга)? Ползучесть?
19. Что такое твердость, истираемость и износостойкость строительных материалов? Единицы измерения? Примеры строительных материалов, для которых будут данные свойства будут одними из основных.
20. Что такое теплопроводность и какими показателями она оценивается? Единицы измерения? Для каких строительных материалов теплопроводность будет выше/ниже? Теплопроводность воды или воздуха выше? По какой основной характеристики строительного материала можно судить о его теплопроводности?
21. Температурный коэффициент линейного расширения?
22. Понятие теплоемкости строительных материалов. Каким показателем она оценивается?
23. Что такое огнеупорность строительных материалов? Единицы измерения?
24. Что такое огнестойкость строительных материалов? Понятие предела огнестойкости. Единицы измерения? Что такое антипирены?
25. Что такое горючесть? Группы горючести строительных материалов? Чем горючие материалы отличаются от негорючих? Какими

параметрами должен обладать строительный материал чтобы относится к негорючим?

26. Химическая стойкость строительных материалов? Для чего она нужна?

27. Что такое коррозия и коррозионная стойкость? Для каких материалов характерна? Методы защиты от коррозии?

28. Что такое адгезия, прочность сцепления? Единицы измерения для каких материалов характерна? Что такое тиксотропия и для каких материалов характерна?

29. Что такое надежность строительных конструкций и из каких свойств она складывается?

30. Что такое безотказность, долговечность, ремонтнопригодность, сохраняемость?

## ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА 2

### Определение основных физико-механических свойств строительных материалов

**Цель работы:** научиться рассчитывать *водопоглощение материала* и оценивать по полученным значениям его *морозостойкость*, ознакомиться с методом экспериментального определения *предела прочности материала при сжатии*, оценки его *водостойкости* по коэффициенту размягчения.

#### Теоретическая часть

Поглощение влаги из воздуха обусловлено адсорбцией водяного пара на внутренних поверхностях пор и капиллярной конденсацией. Этот процесс называется **сорбцией**. Древесина, теплоизоляционные, стеновые и другие пористые материалы обладают развитой внутренней поверхностью пор и поэтому высокой сорбционной способностью.

**Водопоглощение (%)** — способность материала поглощать и удерживать воду после водонасыщения.

Водопоглощение выражают отношением количества поглощенной воды к массе сухого материала (**водопоглощение по массе  $W_m$** ) или степенью заполнения объема материала водой (**водопоглощение по объему  $W_o$** ).

Водопоглощение  $W_m$  и  $W_o$  определяют по формулам:

$$W_m = \frac{m_{\text{воды}}}{m_{\text{сух}}} \times 100 \% = \frac{m_{\text{нас}} - m_{\text{сух}}}{m_{\text{сух}}} \times 100 \%;$$
 (11)

$$W_o = \frac{V_{\text{воды}}}{V_{\text{сух}}} = \frac{m_{\text{нас}} - m_{\text{сух}}}{V_{\text{сух}} \times \rho_{\text{воды}}} \times 100 \% = W_m \times d,$$
 (12)

где  $m_{\text{нас}}$  — масса материала в насыщенном водой состоянии [г];

$m_{\text{сух}}$  — масса сухого материала [г];

$V_{\text{сух}}$  — объем материала в сухом состоянии [см<sup>3</sup>];

$\rho_{\text{воды}}$  — плотность воды, равная 1 г/см<sup>3</sup>.

$d$  — относительная плотность материала.

Водопоглощение отрицательно влияет на основные свойства материала: увеличивается средняя плотность, материал набухает, его теплопроводность возрастает, а прочность и морозостойкость уменьшаются.

**Водостойкость** — способность материала, насыщенного водой, сохранять свою прочность. Водостойкость материала характеризуется **коэффициентом размягчения**:

$$K_p = R_{\text{нас}} / R_{\text{сух}},$$
 (13)

где  $R_{\text{нас}}$  — предел прочности материала в насыщенном водой состоянии [МПа];

$R_{\text{сух}}$  — предел прочности материала в сухом состоянии [МПа].

Коэффициент размягчения  $K_p$  определяется для материалов несущих конструкций. Материал считается водостойким при  $K_p \geq 0,8$ . В этом случае их разрешается применять в местах с повышенной влажностью без специальных мероприятий по защите от увлажнения.

**Морозостойкость** — способность материала в водонасыщенном состоянии выдерживать циклы многократного замораживания и оттаивания без внешних признаков разрушения, снижения массы и прочности свыше нормативных значений.

Морозостойкость может быть также определена ускоренными методами, например насыщением материалов в растворах солей.

В зависимости от числа циклов замораживания-оттаивания, которые выдержал материал, устанавливается его **марка по морозостойкости** (F15, F25, F35, F50, F100, F125, F150, F175, F200, F300, F400, F500 и более).

Один цикл испытания включает замораживание насыщенного водой образца в течение 4 ч при температуре  $-18 \pm 2$  °С в морозильной камере с последующим оттаиванием при температуре  $+18 \dots 20$  °С в воде.

Разрушение при таких циклических воздействиях знакопеременных температур связано как с появлением в нем растягивающих напряжений при образовании льда в порах материала, так и со всесторонним гидростатическим давлением воды. Увеличение объема при образовании льда составляет около 9 %.

Морозостойкость зависит главным образом от структуры материала — объема открытых пор, величины общей пористости, равномерности распределения пор по объему материала и их размеров.

Срок службы строительных материалов и конструкций, подвергающихся действию знакопеременных температур и воды, во многом обусловлен их морозостойкостью.

**Прочность** [МПа, кгс/см<sup>2</sup>, Н/мм<sup>2</sup>] — способность материала сопротивляться разрушению от внутренних напряжений, возникающих под действием внешних сил.

Прочность оценивается пределом прочности. В зависимости от воздействия различают пределы прочности при сжатии, растяжении, растяжении при изгибе, растяжении при раскалывании, сдвиге, кручении и др.

**Предел прочности при сжатии** [МПа] равен отношению разрушающей нагрузки к площади ее приложения.

Определяется по формуле:

$$R_c = \frac{F}{A} \quad (14)$$

где  $F$  — разрушающая нагрузка [Н, кН];

$A$  — площадь приложения нагрузки [м<sup>2</sup>, см<sup>2</sup>].

## **Оборудование и материалы**

Весы лабораторные электронные, эксикатор для выдерживания образцов с дистиллированной водой, секундомер, пресс гидравлический, измерительная линейка металлическая 300 мм., штангенциркуль, лабораторный термометр; шкаф сушильный, посуда лабораторная стеклянная и фарфоровая, образцы строительных материалов – два гипсовых кубика 50х50х50.

## **Указания по технике безопасности**

Перед проведением лабораторных работ все студенты должны пройти инструктаж по технике безопасности и неуклонно соблюдать правила безопасности при работе в лаборатории.

Приступая к выполнению лабораторного задания, необходимо освободить лабораторный стол от ненужных предметов и следить за его чистотой. Для защиты одежды от загрязнений студенты должны пользоваться халатами или брезентовыми фартуками, резиновыми перчатками, холщовыми рукавицами и защитными очками. При работе, связанной с возможной угрозой для безопасности исполнителя, запрещается оставаться в помещении лаборатории одному.

Каждый работающий в лаборатории должен принимать во внимание огнеопасность, токсичность некоторых веществ, возможность образования взрывоопасных смесей.

Студентам запрещается самовольно включать и выключать лабораторное оборудование: гидравлический пресс, сушильный шкаф, электронный влагомер и другие. Нельзя оставлять оборудование и приборы включенными по окончании работы. Работать на лабораторном оборудовании можно только с ведома преподавателя и после ознакомления с инструкцией по работе на данном оборудовании.

## **Содержание отчета**

Отчет оформляется в рабочей тетради на листах формата А 4 и подшивается в скоросшиватель, заполняются все полученные значения характеристик строительных материалов, а также зарисовываются схемы испытаний, заполняются таблицы и приводятся формулы расчета основных физико-механических показателей материалов.

## Методика и порядок выполнения лабораторной работы

**Задание:** определить водопоглощение материала и оценить его морозостойкость. Определить прочность и оценить водостойкость материала. Рассчитать удельную прочность.

**Цель:** ознакомиться с понятиями *прочность, водопоглощение и водостойкость*, научиться оценивать *морозостойкость* строительных материалов и рассчитывать их *удельную прочность*.

### **Задание 1. Определение водопоглощения керамического и силикатного кирпича**

**Методика:** поэтапное насыщение образца керамического и силикатного кирпича водой до постоянной массы.

**Водопоглощение (%)** — способность материала поглощать и удерживать воду после водонасыщения (то количество воды которое впитает в себя материал).

Водопоглощение выражают отношением количества поглощенной воды к массе сухого материала (**водопоглощение по массе  $W_m$** ) или степенью заполнения объема материала водой (**водопоглощение по объему  $W_o$** ) см. формулу 11, 12.

Водопоглощение отрицательно влияет на основные свойства материала: увеличивается средняя плотность, материал набухает, его теплопроводность возрастает, а прочность и морозостойкость уменьшаются.

### **Ход выполнения работы**

**Оборудование:** весы, секундомер, емкость и пр.

**Водопоглощение** рассчитывают для образца керамического и силикатного кирпича, используя данные о массе сухого образца  $m_{\text{сух}}$ , и массе насыщенного водой образца  $m_{\text{нас}}$ , а также данных, полученных в лабораторной работе 1. **Масса сухого образца  $m_{\text{сух}}$ :** определяется взвешиванием на весах для материала, высушенного до постоянной массы

**Примечание:** сухой образец после нескольких часов сушки при 105 °С его контрольное взвешивание на весах показывает одно и тоже значение массы материала).

Образец керамического и силикатного кирпича взвешивают на лабораторных механических весах и определяют массу сухого образца  $m_{\text{сух}}$ . После этого его помещают в емкость или чашу, заливают вначале водой на одну четверть от общей высоты образца, и выдерживают в течение 2 мин, извлекают из емкости, обтирают влажной тканью, чтобы удалить излишки воды с поверхности образца, снова взвешивают и определяют приращение массы  $\Delta m$ :

$$\Delta m = m_i - m_{\text{сух}},$$

где  $m_i$  — масса образца после выдерживания в воде, г.

Затем испытуемый образец снова помещают в емкость, заливают водой на половину от общей высоты образца, выдерживают в течение 2 мин, извлекают из емкости, обмакивают влажной тканью, взвешивают и вновь определяют приращение массы  $\Delta m$ .

Аналогичные испытания проводят, погружая образец в воду на три четверти от его высоты, повторяют взвешивание и определяют приращение по массе.

Затем образец вновь помещают в фарфоровую чашку и заливают водой на полную высоту, (таким образом, чтобы поверхность воды была не менее чем на 2 см. выше верхней части образца) взвешивают и вновь определяют приращение массы  $\Delta m$ .

После оба образца помещают на 5 минут в *вакуумную установку—предназначена для водонасыщения образцов, путем откачивания воздуха до минус одной атмосферы из емкости и из образцов, и создание в ней вакуума.* 1 атм = 760 мм. рт. Ст. = 101 325 Па = 101 325 Н/м<sup>2</sup> = 103 332,37 кгс/м<sup>2</sup>  
**Атмосфера** — внесистемная единица измерения давления, приблизительно равная атмосферному давлению на поверхности Земли на уровне Мирового океана.

Схема испытания представлена на рисунке 1.

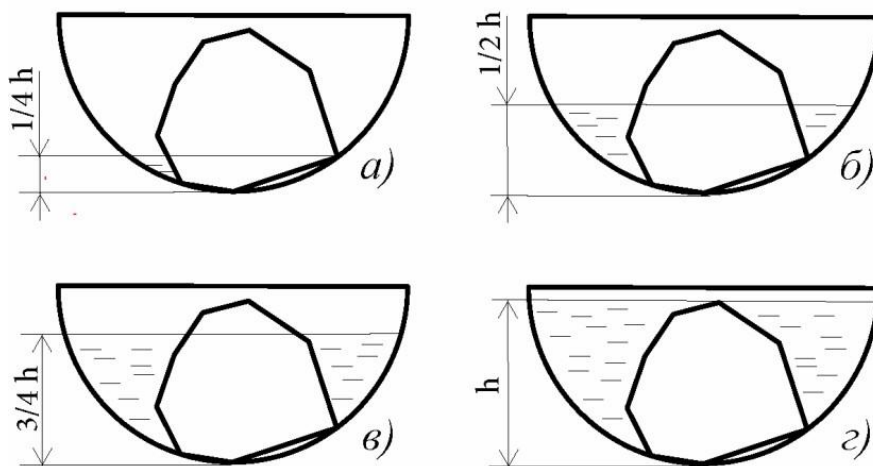


Рисунок 1 – Схема испытания образца на водопоглощение:

*а* — при погружении в воду на 1/4 от высоты образца; *б* — то же на 1/2 от высоты образца; *в* — то же на 3/4 от высоты образца; *г* — то же на полную высоту образца, .



Рисунок 2 – Вакуумная установка ву-976а для водонасыщения образцов

По полученным значениям определяют водопоглощение по массе  $W_m$  и водопоглощение по объему  $W_o$ , используя формулы (11) и (12) соответственно.

Далее по результатам расчетов проводят оценку морозостойкости материала, исходя из взаимосвязи морозостойкости и коэффициента насыщения пор водой  $K_n$ . Как известно, чем больше в материале открытых пор, тем ниже его морозостойкость. По значению  $K_n$ , которое варьируется от 0 (все поры замкнуты) до 1 (все поры открыты), условно можно оценивать морозостойкость. Коэффициент насыщения пор водой  $K_n$  рассчитывается по формуле (13).

Результаты всех расчетов заносят в сводную таблицу (см. табл. 4 лабораторного журнала), а также строят график зависимости приращения массы от времени насыщения образца водой (см. рабочую тетрадь), показанный на рис. 3.

### Пример

Таблица 3 – Результаты испытаний

| Показатели, размерность                                | Высота слоя воды в долях от высоты образца |      |      |      |
|--------------------------------------------------------|--------------------------------------------|------|------|------|
|                                                        | 1/4                                        | 1/2  | 3/4  | 1    |
| Срок выдерживания $t$ , мин                            | 2                                          | 2    | 2    | 2    |
| Масса образца $m_i$ , г                                | 13,2                                       | 13,5 | 13,8 | 13,9 |
| Приращение массы $\Delta m = m_i - m_{\text{сух}}$ , г | 0,7                                        | 1,0  | 1,3  | 1,4  |
| Водопоглощение по массе $W_m$ , %                      | —                                          | —    | —    | 11,2 |
| Водопоглощение по объему $W_o$ , %                     | —                                          | —    | —    | 21,5 |
| Коэффициент насыщения пор, $K_n$                       | —                                          | —    | —    | 0,78 |

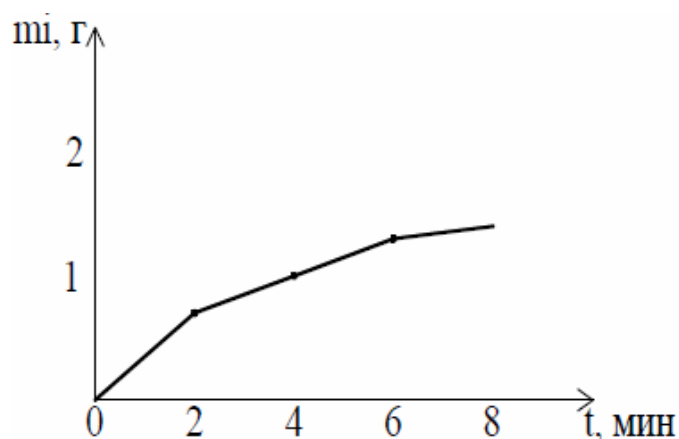


Рисунок 3 – График зависимости приращения массы от времени насыщения образца водой

Формулы:

$$m_{\text{нас}} \frac{m_{\text{нас}} - m_{\text{сух}}}{m_{\text{сух}}} \times 100 \% ; \quad W_o = W_m \cdot d ; \quad K_n = \frac{W_o}{\Pi} ; \quad d = \frac{\rho m}{\rho_{\text{воды}}}$$

Взаимосвязь  $K_n$  и морозостойкости: при  $K_n \leq 0,6$  материал считается морозостойким, при  $0,6 < K_n < 0,8$  материал считается сомнительно морозостойким, при  $K_n \geq 0,8$  материал считается неморозостойким.

Вывод: морозостоек ли материал по значению  $K_n$ ?

Керамический и силикатный кирпич обладает сомнительной морозостойкостью.

## Задание 2. Определение предела прочности при сжатии и оценка водостойкости и морозостойкости материала

**Методика:** постепенное нагружение сухих и водонасыщенных образцов-кубов из гипсового камня до их разрушения (до потери их прочности)

**Прочность** [МПа, кгс/см<sup>2</sup>, Н/мм<sup>2</sup>] — способность материала сопротивляться разрушению от внутренних напряжений, возникающих под действием внешних сил.

Прочность оценивается пределом прочности. В зависимости от воздействия различают пределы прочности при сжатии, растяжении, растяжении при изгибе, растяжении при раскалывании, сдвиге, кручении и др.

**Предел прочности при сжатии** [МПа] равен отношению разрушающей нагрузки к площади ее приложения.

**Водостойкость** — способность материала, насыщенного водой, сохранять свою прочность. Водостойкость материала характеризуется **коэффициентом размягчения**:

**Морозостойкость** — способность материала в водонасыщенном состоянии выдерживать циклы многократного замораживания и оттаивания

без внешних признаков разрушения, снижения массы и прочности выше нормативных значений.

### *Ход выполнения работы*

**Оборудование:** пресс гидравлический, эксикатор с дистиллированной водой, измерительная линейка 300 мм., штангенциркуль.

Образцы-кубы нумеруют (*порядковый номер ставят на грани, перпендикулярной плоскости укладки вяжущего при формовании*), измеряют площадь пронумерованной поверхности и заносят полученные значения в таблицу (см. табл. 5 лабораторного журнала).

**Один из образцов помещают в воду перед испытанием не менее чем на 15 мин.**

Сухой и влажный образцы помещают в пресс пронумерованной (боковой) гранью вверх. Затем опускают плиту пресса до поверхности образца и производят нагружение образца. Момент разрушения определяют по остановке и началу обратного хода стрелки силоизмерителя и визуально по появлению трещин на образце. В этот же момент фиксируют разрушающее усилие  $P$ , в кН.

Внешний вид образца до и после испытаний представлен на рис. 4.

После испытания образец имеет форму, характерную для хрупкого разрушения (две усеченные пирамиды, сложенные меньшими основаниями).

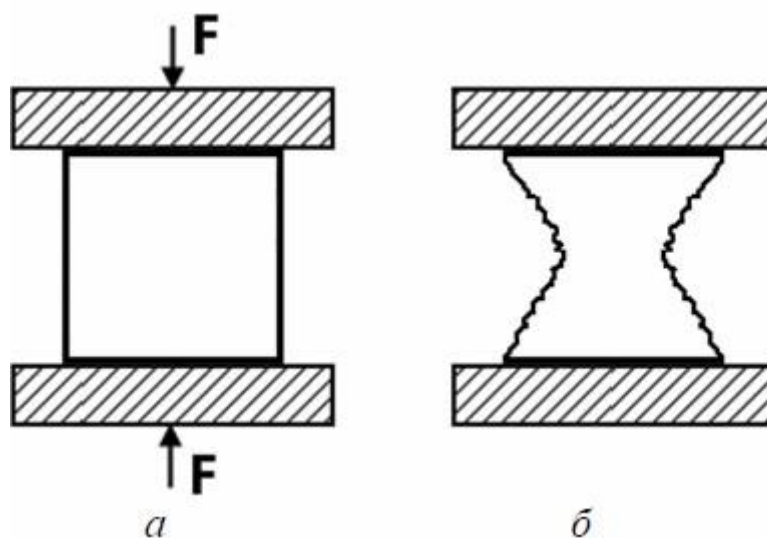


Рисунок 4 – Внешний вид образца: *а* — до испытания; *б* — после испытания

Предел прочности при сжатии рассчитывают по формуле (18).

Водостойкость испытуемого материала оценивают по коэффициенту размягчения, определяемому по формуле (14).

Материал считается водостойким при значении  $K_p > 0,8$ .

Результаты всех расчетов заносят в сводную таблицу (см. табл. 5 рабочей тетради).

### Пример

Таблица 4 – Результаты испытаний

| Показатель, размерность                                     | Образец |                  |
|-------------------------------------------------------------|---------|------------------|
|                                                             | 1-Сухой | 2-Водонасыщенный |
| Размеры, см: длина<br>ширина<br>высота                      | 5       | 5                |
|                                                             | 5       | 5                |
|                                                             | 5       | 5                |
| Площадь приложения нагрузки                                 | 25      | 25               |
| Разрушающая нагрузка $F$ , кН                               | 39      | 11               |
| Предел прочности при сжатии<br>$R_c$ , кН/см <sup>2</sup> * | 1,56    | 0,44             |
| То же, МПа                                                  | 15,6    | 4,4              |
| Коэффициент размягчения, $K_p$                              | 0,28    |                  |

\* 1 кН/см<sup>2</sup> = 10 МПа = 100 кгс/см<sup>2</sup>.

Формулы:

$$R_c = \frac{F}{A}; \quad K_p = \frac{R_{\text{нас}}}{R_{\text{сух}}}.$$

Взаимосвязь  $K_p$  и водостойкости: *при  $K_p > 0,8$  материал считается водостойким.*

Вывод: водостоек ли материал по значению  $K_p$ ? *Нет, не водостоек.*

### Задание 3. Расчет удельной прочности (коэффициента конструктивного качества)

**Методика:** удельную прочность  $R_{уд}$  рассчитывают по формуле (20). Результаты всех расчетов заносят в сводную таблицу (см. табл. 6 лабораторного журнала).

#### Ход выполнения работы

Для оценки эффективности материала часто используют показатель, называемый *удельной прочностью*.

**Удельная прочность** — это отношение предела прочности при сжатии  $R_c$  (изгибе  $R_{из}$ ) к относительной плотности материала  $d$ :

$$R_{уд} = K_{к.к.} = R/d, \tag{20}$$

Раньше удельная прочность называлась **коэффициентом конструктивного качества  $K_{к.к.}$** .

Необходимо произвести расчет удельной прочности для материалов, указанных в таблице (см. табл. 6 рабочей тетради).

Формулы:

$$R_{уд} = K_{к.к.} = \frac{R}{d}; \quad d = \frac{\rho_m}{\rho_{воды}}$$

По показателю удельной прочности среди материалов, представленных в таблице, древесина является наиболее эффективным конструкционным материалом.

### *Пример*

Таблица 5 – Значение  $R_{уд}$  для некоторых материалов

| Материал                                             | d    | Rc,<br>МПа | Rp,<br>МПа | R <sub>уд</sub> , МПа |                   |
|------------------------------------------------------|------|------------|------------|-----------------------|-------------------|
|                                                      |      |            |            | при<br>сжатии         | при<br>растяжении |
| Сталь марки Ст5                                      | 7,85 | —          | 490        | —                     | 62,4              |
| Стальная высокопрочная<br>арматурная проволока Вр-II | 7,85 | —          | 1780       | —                     | 226,75            |
| Кирпич керамический                                  | 1,6  | 15         | —          | 9,37                  | —                 |
| Бетон тяжелый                                        | 2,4  | 30         | —          | 12,5                  | —                 |
| Сосна                                                | 0,5  | 50         | 115        | 100                   | 230               |
| Стеклопластик листовой                               | 1,5  | —          | 200        | —                     | 133,33            |

## Контрольные вопросы

1. Понятие материаловедения? Группы строительных материалов по химическому составу?
2. Понятие химического, минерального состава и структуры(строения) материалов. Приведите примеры строительных материалов по типу структур.
3. Что такое анизотропия? Для каких материалов характерна?
4. В чем различие между кристаллической и аморфной структурой? Приведите примеры строительных материалов такой структуры.
5. Классификация строительных материалов по назначению и условию работы в сооружении? Приведите примеры.
6. Какие свойства строительных материалов относятся к физико-механическим, химическим, физико-химическим? От чего зависят физико-механические свойства строительных материалов?
7. Понятие плотности (средняя, истинная, относительная, насыпная)? У каких материалов плотность больше/меньше? Для одного и того же материала какая их плотностей будет больше/меньше?
8. Понятие пористости(открытая и закрытая) и коэффициента плотности и ее влияние на характеристики строительных материалов?
9. Водопоглощение материала (по массе и объему). Как определить водопоглощение материала?
10. Что такое влажностные деформации, усадка, усушка? Единицы измерения, для каких материалов будет характерно?
11. Что такое морозостойкость материала и от чего зависит? В чем состоит причина разрушения строительных материалов от действия перепада температур от  $-18 \pm 2$  °C до  $+18 \pm 2$  °C?
12. Какими показателями (единицы измерения или размерность) оценивается морозостойкость строительных материалов? В чем состоит стандартная метод определения марки по морозостойкости и как обозначается?
13. Что такое водостойкость материалов? Как оценить водостойкость строительных материалов (например гипсового кубика)?
14. Что такое водонепроницаемость материалов? Каким образом можно определить марку по водонепроницаемости?
15. Что такое паропроницаемость строительных материалов?
16. Что такое прочность и предел прочности (при сжатии и изгибе) строительных материалов? Что такое удельная прочность? Единицы измерения прочности? По показателю прочности чем характеризуются строительные материалы?
17. Что такое деформации? Дайте определения пластичности, упругости, хрупкости строительных материалов и приведите примеры таких строительных материалов.
18. Что такое модуль упругости (Модуль Юнга)? Ползучесть?

19. Что такое твердость, истираемость и износостойкость строительных материалов? Единицы измерения? Примеры строительных материалов, для которых будут данные свойства будут одними из основных.

20. Что такое теплопроводность и какими показателями она оценивается? Единицы измерения? Для каких строительных материалов теплопроводность будет выше/ниже? Теплопроводность воды или воздуха выше? По какой основной характеристики строительного материала можно судить о его теплопроводности?

21. Температурный коэффициент линейного расширения?

22. Понятие теплоемкости строительных материалов. Каким показателем она оценивается?

23. Что такое огнеупорность строительных материалов? Единицы измерения?

24. Что такое огнестойкость строительных материалов? Понятие предела огнестойкости. Единицы измерения? Что такое антипирены?

25. Что такое горючесть? Группы горючести строительных материалов? Чем горючие материалы отличаются от негорючих? Какими параметрами должен обладать строительный материал чтобы относиться к негорючим?

26. Химическая стойкость строительных материалов? Для чего она нужна?

27. Что такое коррозия и коррозионная стойкость? Для каких материалов характерна? Методы защиты от коррозии?

28. Что такое адгезия, прочность сцепления? Единицы измерения для каких материалов характерна? Что такое тиксотропия и для каких материалов характерна?

29. Что такое надежность строительных конструкций и из каких свойств она складывается?

30. Что такое безотказность, долговечность, ремонтнопригодность, сохраняемость?

## ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА 3

### Гидравлические вяжущие. Определение физических свойств портландцемента

**Цель работы:** ознакомиться с методикой испытания по [ГОСТ 310.1](#) – [ГОСТ 310.6](#) водопотребности, сроками схватывания и равномерности изменения объема портландцемента.

#### Теоретическая часть

**Портландцемент** – гидравлическое вяжущее вещество, получаемое совместным тонким измельчением портландцементного клинкера, в составе которого преобладают силикаты кальция – 70...80%, с добавкой природного гипса (3...5%). По *внешнему виду* портландцемент представляет собой тонкодисперсный порошок темно-серого или зеленовато-серого цвета.

**Портландцементный клинкер** – это зернистый материал (размер гранул 10...40 мм), получаемый обжигом до спекания (при температуре до 1450°C) тщательно подобранной сырьевой смеси. Добавка гипса вводится для регулирования сроков схватывания портландцемента.

**Изобретение** портландцемента связано с именами английского каменщика Джозефа Аспдина, получившего 21.10.1824 г. патент на портландцемент, и русского строителя Егора Герасимовича Челиева, который изобрел цемент, наиболее схожий с современным портландцементом, и описал его в своей книге, изданной в 1825 г.

**Название** портландцемента происходит от англ. *Portland* – название полуострова на юге Великобритании, где добывалось сырье для производства портландцемента.

**Сырьем** для производства портландцемента служат:

- известняки с высоким содержанием кальцита  $\text{CaCO}_3$  (мел, плотный известняк и др.);
- глинистые породы (глины, глинистые сланцы), основной составляющей которых являются водные алюмосиликаты с общей формулой  $\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot n\text{SiO}_2 \cdot m\text{H}_2\text{O}$ ;
- мергели – горные породы, представляющие собой природную смесь известняков и глин;
- отходы промышленности, сходные по составу с природным сырьем (вскрышные породы, доменные шлаки, нефелиновый шлам, золы ТЭС и проч.);
- корректирующие добавки, используемые для обеспечения требуемого химического состава сырьевой смеси (пиритные огарки, трепел, опока и др.).

Соотношение между карбонатной и глинистой составляющими сырьевой смеси 3:1 (75% известняка и 25% глины).

**Производство портландцемента** – технологически сложный и энергоемкий процесс, который можно разделить на две основные стадии: первая – производство клинкера, вторая – помол клинкера совместно с гипсом, а в ряде случаев и со специальными добавками. Производство клинкера может осуществляться сухим, мокрым и комбинированным способом. **Сухой способ** заключается в приготовлении сырьевой муки (в виде порошка) из сухих или предварительно высушенных компонентов с остаточной влажностью 1...2%. Сухой способ в 1,5...2 раза менее энергоемок, чем мокрый. При **мокрым способе** сырьевые материалы измельчаются и смешиваются в присутствии воды, поэтому смесь получается в виде вязкотекучей массы – шлама (от нем. *schlamm* – грязь) с влажностью 35...45%. Это наиболее энергоемкий способ. **Комбинированный способ** заключается в том, что приготовленный шлам до поступления в печь обезвоживается на фильтрах до влажности 16...18%. Энергоемкость производства в целом остается высокой, однако, данный способ позволяет на 20...30% снизить расход топлива по сравнению с мокрым способом.

**Обжиг** сырьевой смеси осуществляется во вращающихся печах, работающих по принципу противотока (сырье движется навстречу раскаленным продуктам сгорания топлива). Печь диаметром 5...7 м имеет небольшой наклон (3-5°) и вращается со скоростью 1–2 об/мин. При мокром способе производства длина печи достигает 185-230 м. Двигаясь от верхнего конца печи (холодного) к нижнему (горячему, со стороны которого подается топливо), сырье проходит различные температурные зоны, в каждой из которых происходят физико-химические превращения, в результате чего и получается цементный клинкер.

После испарения свободной воды, выгорания органических примесей и удаления химически связанной воды из глинистых минералов происходит декарбонизация углекислого кальция (900...1100°C) с образованием большого количества CaO и одновременно разложение дегидратированных глинистых минералов на оксиды  $Al_2O_3$ ,  $SiO_2$ ,  $Fe_2O_3$ . Образовавшиеся оксиды вступают в химическое взаимодействие с образованием новых минералов  $3CaO \cdot Al_2O_3$ ,  $CaO \cdot Al_2O_3$  и частично  $2CaO \cdot SiO_2$ .

При температуре 1100...1250°C происходят твердофазовые реакции образования минералов  $3CaO \cdot Al_2O_3$ ,  $4CaO \cdot Al_2O_3 \cdot Fe_2O_3$  и  $2CaO \cdot SiO_2$ . Наивысшего значения (1300–1450°C) температура обжига достигает в зоне спекания, где происходит частичное плавление сырья и образуется главный минерал клинкера – алит  $3CaO \cdot SiO_2$ . В последней зоне печи клинкер охлаждается до 1000°C путем вдувания холодного воздуха, а при выходе из печи поступает в холодильник, где интенсивно охлаждается холодным воздухом.

Помол клинкера с добавкой гипса осуществляется в многокамерных шаровых мельницах при помощи загруженных в барабан мелющих тел – шаров (при грубом помоле) или цилиндров (при мелком помоле).

**Химический состав клинкера** выражают содержанием оксидов в % по массе (табл. 5.1).

Таблица 5.1 – Химический состав клинкера портландцемента

| Оксид            | Содержание, % | Оксид                          | Содержание, % |
|------------------|---------------|--------------------------------|---------------|
| CaO              | 63...66       | Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> | 4...8         |
| SiO <sub>2</sub> | 21...24       | Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> | 2...4         |

В небольших количествах в клинкере содержатся MgO, SO<sub>3</sub>, Na<sub>2</sub>O, K<sub>2</sub>O, TiO<sub>2</sub>, Cr<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>.

Содержание в клинкере MgO и свободного (не связанного в основные клинкерные минералы) CaO ограничивается, так как они могут стать причиной неравномерного изменения объема цемента при твердении. Свободного CaO в клинкере должно быть не более 1%, MgO – не более 5%.

Суммарное содержание щелочных оксидов (Na<sub>2</sub>O и K<sub>2</sub>O) не должно превышать 0,6%, так как они могут явиться причиной коррозии бетона и существенно замедлять схватывание портландцемента.

**Минеральный состав клинкера:**

*Трехкальциевый силикат (алит)* – 3CaO·SiO<sub>2</sub> (C<sub>3</sub>S<sub>1</sub>) – 45...60% – основной минерал клинкера, определяет скорость твердения, прочность и другие свойства портландцемента;

*Двухкальциевый силикат (белит)* – 2CaO·SiO<sub>2</sub> (C<sub>2</sub>S) – 20...30% – медленно твердеет, но достигает высокой прочности при длительных сроках твердения;

*Трехкальциевый алюминат* 3CaO·Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> (C<sub>3</sub>A) – 4...12% – быстро гидратируется и твердеет, но конечная прочность его небольшая; является причиной сульфатной коррозии цементного камня;

*Четырехкальциевый алюмоферрит* 4CaO·Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>·Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> (C<sub>4</sub>AF) – 10...20% – по скорости твердения занимает промежуточное положение между C<sub>3</sub>S и C<sub>2</sub>S.

**Фазовый состав клинкера** представлен кристаллической фазой в виде клинкерных минералов (85...95%) и аморфной фазой в виде клинкерного стекла (5...15%).

**Вещественный состав** портландцемента характеризуется процентным содержанием клинкера, гипса, видом и количеством вводимых добавок.

Введение в цемент при помоле минеральных и органических добавок позволяет направленно изменять свойства вяжущего, экономить клинкер, уменьшать расход цемента в бетоне. Добавки обладают разным механизмом действия: при твердении цемента могут вступать в химическое взаимодействие с продуктами гидратации цемента (активные минеральные добавки), влиять на пластичность бетонных и растворных смесей (добавки поверхностно-активных веществ), выступать в роли наполнителей, снижающих активность цемента и т.п.

**Добавки–наполнители** (тонкомолотые магматические горные породы, известняк, кварцевый песок, топливные шлаки и золы) вводятся для снижения

активности вяжущего, способствуют снижению тепловыделения цемента при твердении.

**Активные минеральные** добавки (АМД) – природные (осадочного происхождения – диатомиты, трепелы, опоки, глиежи; вулканического происхождения – вулканический пепел, вулканический туф, пемза, трасс, витрофир) или искусственные (зола-унос, микрокремнезем, топливные шлаки) вещества, которые вводятся в цемент для связывания водорастворимого портландита –  $\text{Ca}(\text{OH})_2$ , являющегося одним из продуктов гидратации алита и белита, в малорастворимые соединения, повышая стойкость бетона к коррозии выщелачивания (вымыванию портландита из цементного камня), его водостойкость, сульфатостойкость и эксплуатационные свойства.

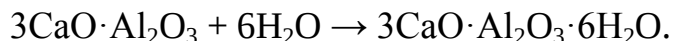
**Твердение** портландцемента происходит благодаря сложным физико-химическим процессам взаимодействия клинкерных минералов и гипса с водой. Сразу после затворения начинаются химические реакции. В результате физико-химических процессов на поверхности твёрдых частиц и в жидкой фазе формируются продукты гидратации в виде новообразований различной закристаллизованности. На их смачивание затрачивается вода, поэтому система постепенно теряет подвижность, загустевает, переходит в твёрдое состояние, наступает начало схватывания и дальнейшее твердение.

При взаимодействии с водой минералов – силикатов происходит одновременно их гидролиз (разложение водой) и гидратация (присоединение воды) с образованием гидросиликата и гидроксида кальция (портландита):



Гидросиликаты кальция – основной продукт твердения портландцемента – практически нерастворимы в воде. Они выделяются из раствора в виде геля, который со временем кристаллизуется. Этот гель пронизывают, укрепляя его, кристаллы  $\text{Ca}(\text{OH})_2$ . Содержание портландита в продуктах гидратации портландцемента может составлять до 15...20%. Другие продукты взаимодействия клинкера с водой также участвуют в формировании структуры цементного камня и влияют на его свойства.

Гидратация трехкальциевого алюмината протекает крайне быстро с образованием крупных кристаллов гидроалюмината кальция и приводит к утрате пластичности цементного теста:



Для замедления схватывания портландцемента при помоле клинкера добавляют 3...5% двуводного гипса. Гипс реагирует с трехкальциевым алюминатом и связывает его в практически нерастворимый гидросульфаталюминат кальция (этtringит) в начале гидратации портландцемента:



Этtringит выделяется в виде пленок на поверхности частиц  $\text{C}_3\text{A}$ , затрудняет доступ к ним воды и, соответственно, замедляет их гидратацию и отодвигает начало схватывания цемента. Кроме того, роль добавки гипса состоит в

улучшение свойств цементного камня (прочности, морозостойкости) за счет уплотнения структуры, связанного с увеличением объема этtringита (в 2...2,5 раза больший объем по сравнению с объемом исходных реагирующих веществ) в еще не затвердевшей системе.

Четырехкальциевый алюмоферрит при взаимодействии с водой образует гидроалюминат и гидроферрит кальция:



Гидроалюминат связывается добавкой природного гипса, а гидроферрит входит в состав цементного геля. Реакции гидратации клинкерных минералов экзотермические. По интенсивности тепловыделения минералы можно расположить в следующей последовательности:  $\text{C}_3\text{A} > \text{C}_3\text{S} > \text{C}_4\text{AF} > \text{C}_2\text{S}$ . Интенсивность тепловыделения портландцемента зависит от минерального состава и тонкости помола.

Тепловыделение играет положительную роль при бетонировании конструкций в зимних условиях, т.к. позволяет применять метод термоса (твердение бетона в утепленной опалубке), и отрицательную – при бетонировании в жаркую, сухую погоду, особенно при бетонировании массивных конструкций. Вследствие саморазогрева бетона возможно образование в конструкции усадочных трещин.

Выделяющийся при гидратации портландцемента портландит –  $\text{Ca}(\text{OH})_2$  создает в твердеющем цементе щелочную среду ( $\text{pH} = 12...12,5$ ), что предотвращает коррозию стальной арматуры в бетоне (порог коррозии арматурной стали  $\text{pH} = 11,8$ ). В то же время водорастворимый  $\text{Ca}(\text{OH})_2$  является «слабым звеном» с точки зрения коррозии цементного камня в бетоне.

При затворении портландцемента избыток воды нежелателен. Цемент в состоянии химически связать строго определенное количество воды – максимально 25...30% массы цемента, фактически к возрасту 28 суток это значение составляет 15%. Лишняя вода образует в цементном камне капиллярные поры, что ведет к снижению его прочности. Поэтому в современной технологии бетона практически всегда используют пластификаторы – поверхностно-активные вещества, позволяющие при сохранении заданной подвижности бетонной смеси снизить её водопотребность на 25...40%.

### **Показатели качества и свойства**

В настоящее время в Российской Федерации параллельно действуют две группы стандартов, в которых установлены технические условия на цементы и методы их испытания. Первая группа стандартов была разработана в СССР в 70–80-х гг. XX в, вторая сформировалась относительно недавно и практически полностью заимствована из европейских стандартов EN 196 и EN 197 (табл. 5.2).

Таблица 5.2 – Стандарты РФ, регламентирующие показатели качества и методы испытания портландцемента

| Группа стандартов   | «Старая» нормативная база, разработанная в СССР         | «Новая» нормативная база, гармонизированная с EN                   |
|---------------------|---------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------|
| Технические условия | <a href="#">ГОСТ 10178–85</a>                           | <a href="#">ГОСТ 30515–2013</a><br><a href="#">ГОСТ 31108–2003</a> |
| Методы испытаний    | <a href="#">ГОСТ 310.1</a> – <a href="#">ГОСТ 310.6</a> | <a href="#">ГОСТ 30744–2001</a>                                    |

Таблица 5.3 – Классификация цемента на основе портландцементного клинкера по вещественному составу

| № п/п | Виды цемента (по «старым» стандартам)                                                                         | = | Типы цемента (по «новым» стандартам)                                                                |
|-------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---|-----------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 1     | Портландцемент – ПЦ–Д0* (без минеральных добавок)                                                             | = | ЦЕМ I – портландцемент                                                                              |
| 2     | Портландцемент с добавками – ПЦ–Д5, ПЦ–Д20* (с АМД** не более 20%)                                            | = | ЦЕМ II – портландцемент с минеральными добавками (с АМД** и известняком 6...20%, со шлаком 6...35%) |
| 3     | Шлакопортландцемент – ШПЦ (с добавками гранулированного шлака 21...80%)                                       | = | ЦЕМ III – шлакопортландцемент (с добавками гранулированного шлака 36...65%)                         |
| 4     | Пуццолановый портландцемент – ППЦ (с кислыми АМД 21...40%)<br>– <i>исключен из ГОСТ 22266 с 01.01.2015 г.</i> | = | ЦЕМ IV – пуццолановый цемент (с кислыми АМД 21...35%)                                               |
| 5     | Аналогов нет                                                                                                  | = | ЦЕМ V – композиционный цемент (содержит смесь минеральных добавок 22...60%)                         |

\* – Наличие минеральных добавок обозначается буквой «Д»: Д0, Д5, Д20, цифра обозначает количество добавки (% по массе);

\*\* – АМД – активная минеральная добавка.

Основу классификации портландцементов по видам и типам составляет их **вещественный состав** (табл. 5.3).

Цементы типа II в зависимости от содержания минеральных добавок делятся на подтипы А с содержанием минеральных добавок 6...20% и В – 21...35% (см. табл. 5.4). ГОСТ 30515–2013 **нормируемые показатели качества** общестроительных цемента на основе портландцементного клинкера подразделяет на обязательные и рекомендуемые. К **обязательным** относят: прочность, вещественный состав, равномерность изменения объема, начало схватывания, содержание в клинкере оксида магния (MgO), оксида серы (VI) – SO<sub>3</sub>, хлор-иона (Cl<sup>–</sup>), удельную эффективную активность естественных радионуклидов. К **рекомендуемым** показателям относят: конец схватывания, тонкость помола, содержание в клинкере свободного оксида кальция. Основные показатели качества по «старым» и «новым» стандартам приведены в табл. 5.5.

**Истинная плотность** портландцемента 3100...3200 кг/м<sup>3</sup>.

**Насыпная плотность** в рыхлом состоянии – 900...1100 кг/м<sup>3</sup>, в уплотненном состоянии – 1400...1700 кг/м<sup>3</sup>, в среднем для расчетов принимают насыпную плотность 1300 кг/м<sup>3</sup>.

**Тонкость помола** цемента определяет скорость твердения и прочность цементного камня, а также влияет на интенсивность тепловыделения. Тонкость помола – важнейший рычаг регулирования активности цемента. По ГОСТ 10178–85 она должна быть такой, чтобы через сито № 008 с размером ячеек 80 мкм проходило не менее 85% массы просеиваемой пробы. При этом удельная поверхность составляет  $S_{уд}=2500...3000$  см<sup>2</sup>/г (или 250...300 м<sup>2</sup>/кг). ГОСТ 31108–2003 требований к тонкости помола не устанавливает.

**Водопотребность** портландцемента (нормальная густота) характеризуется количеством воды, % массы цемента, необходимым для получения *цементного теста нормальной густоты*. В среднем она составляет 24...28%. При введении активных минеральных добавок водопотребность цемента повышается и может достигать 32...37%. Нормальную густоту находят подбором и определяют по глубине погружения в цементное тесто пестика прибора Вика при стандартном испытании.

**Сроки схватывания** цементов (начало и конец схватывания) определяют с помощью прибора Вика на цементном тесте нормальной густоты. На сроки схватывания существенно влияет минеральный состав цемента, его водопотребность и тонкость помола. На производстве сроки схватывания регулируют использованием добавок – ускорителей и замедлителей схватывания.

**Равномерность изменения объема** при твердении цемента в соответствии с ГОСТ 310.3–76 определяется путем визуальной оценки состояния образцов-лепешек, изготовленных из цементного теста нормальной густоты, после испытания кипячением в течение 3-х часов. ГОСТ 30744–2001 предполагает инструментальную оценку данного показателя при помощи колец Ле-Шателье. К неравномерному изменению объема приводят местные деформации, вызываемые расширением свободных CaO и MgO при их взаимодействии с водой.

Таблица 5.4 – Вещественный состав цементов по ГОСТ 31108-2003

| Тип цемента | Наименование цемента                     | Сокращенное обозначение цента | Вещественный состав цемента, % массы |                                                         |          |            |                             |                |           |                            |
|-------------|------------------------------------------|-------------------------------|--------------------------------------|---------------------------------------------------------|----------|------------|-----------------------------|----------------|-----------|----------------------------|
|             |                                          |                               | Основные компоненты                  |                                                         |          |            |                             |                |           | Вспомогательные компоненты |
|             |                                          |                               | Портландцементный клинкер            | Доменный или электротермофосфорный гранулированный шлак | Пуццолан | Зола-уноса | Глиез или обожженный сланец | Микрокремнезем | Известняк |                            |
|             |                                          |                               | Кл                                   | Ш                                                       | П        | З          | Г                           | МК             | И         |                            |
| ЦЕМ I       | Портландцемент                           | ЦЕМ I                         | 95-100                               | –                                                       | –        | –          | –                           | –              | –         | 0-5                        |
| ЦЕМ II      | Портландцемент с минеральными добавками: |                               |                                      |                                                         |          |            |                             |                |           |                            |
|             | шлаком                                   | ЦЕМ II/A-Ш                    | 80-94                                | 6-20                                                    | –        | –          | –                           | –              | –         | 0-5                        |
|             |                                          | ЦЕМ II/B-Ш                    | 65-79                                | 21-35                                                   | –        | –          | –                           | –              | –         |                            |
|             | пуццоланом                               | ЦЕМ II/B-П                    | 80-94                                | –                                                       | 6-20     | –          | –                           | –              | –         | 0-5                        |
|             | золы-уноса                               | ЦЕМ II/A-З                    | 80-94                                | –                                                       | –        | 6-20       | –                           | –              | –         | 0-5                        |
|             | глиежем или обожженным сланцем           | ЦЕМ II/A-Г                    | 80-94                                | –                                                       | –        | –          | 6-20                        | –              | –         | 0-5                        |
|             | микрокремнеземом                         | ЦЕМ II/A-МК                   | 90-94                                | –                                                       | –        | –          | –                           | 6-10           | –         | 0-5                        |
|             | известняком                              | ЦЕМ II/A-И                    | 80-94                                | –                                                       | –        | –          | –                           | –              | 6-20      | 0-5                        |
|             | композиционный портландцемент            | ЦЕМ II/A-К                    | 80-94                                | 6-20                                                    |          |            |                             |                |           | 0-5                        |
| ЦЕМ III     | Шлакопортландцемент                      | ЦЕМ III/A                     | 35-64                                | 36-65                                                   | –        | –          | –                           | –              | –         | 0-5                        |
| ЦЕМ IV      | Пуццолановый цемент                      | ЦЕМ IV/A                      | 65-79                                | –                                                       | 21-35    |            |                             |                |           | 0-5                        |
| ЦЕМ V       | Композиционный цемент                    | ЦЕМ V/A                       | 40-78                                | 11-30                                                   | 11-30    | –          | –                           | –              | –         | 0-5                        |

Таблица 5.5 – Показатели качества портландцемента

| Наименование показателя                                             | Значение показателя                                                                                                                |                                                                                                         |
|---------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------|
|                                                                     | ГОСТ 10178-85                                                                                                                      | ГОСТ 31108-2003                                                                                         |
| Прочность                                                           | Установлены марки по прочности (кгс/см <sup>2</sup> ):<br>300; 400; 500; 550; 600.                                                 | Установлены классы по прочности (МПа):<br>22,5Н; 32,5Н; 32,5Б; 42,5Н; 42,5Б; 52,5Н;<br>52,5Б            |
| Вещественный состав                                                 | См. табл. 5.3.                                                                                                                     | См. табл. 5.4.-5.5.                                                                                     |
| Сроки схватывания:<br>начало, мин, не ранее<br>конец, ч, не позднее | 45                                                                                                                                 | 45, 60, 75 в зависимости от класса<br>прочности цемента (см. табл. 4.7)                                 |
|                                                                     | 10                                                                                                                                 | Не нормируется                                                                                          |
| Тонкость помола                                                     | При просеивании пробы через сито № 008 должно проходить<br>не менее 85 % массы пробы                                               | Не нормируется                                                                                          |
| Равномерность изменения<br>объема                                   | Визуальная оценка по результатам кипячения в течение 3-х<br>часов лепешек, изготовленных из цементного теста<br>нормальной густоты | Инструментальная оценка при помощи<br>колец Ле-Шателье (расхождение<br>индикаторных игл не более 10 мм) |
| Массовая доля SO <sub>3</sub> , %                                   | Не менее 1,0...1,5 , не более 3,5...4,0 в зависимости от марки<br>и вида цемента                                                   | Не более 3,5...4,0 в зависимости от класса<br>цемента                                                   |
| Массовая доля MgO, %                                                | Не более 5                                                                                                                         | Не более 5                                                                                              |
| Содержание хлор-иона Cl <sup>-</sup> ,<br>%                         | Не нормируется                                                                                                                     | Не более 0,1                                                                                            |

**Марка (класс) по прочности** – основной показатель качества портландцемента. Прочность контролируется испытанием на изгиб и сжатие стандартных образцов-балочек размером 4×4×16 см, изготовленных из цементно-песчаного раствора, через 28 суток твердения. В результате определяется **активность цемента** – фактическая прочность на сжатие образцов цементно-песчаного раствора. На основании активности цемента устанавливается его марка по ГОСТ 10178–85 (табл. 5.6) или класс по ГОСТ 31108–2003 (табл. 5.7).

ГОСТ 10178–85 устанавливает пять марок портландцемента по прочности. Численно марка указывает на минимально допустимую активность цемента и выражается в кгс/см<sup>2</sup>. Для той или иной марки необходимо обеспечить минимальную прочность при изгибе и при сжатии (табл. 5.6).

Таблица 5.6 – Требования к прочности образцов по ГОСТ 10178–85

| Марка<br>портландцемента | Предел прочности, МПа (кгс/см <sup>2</sup> ), в возрасте 28<br>суток, не менее |           |
|--------------------------|--------------------------------------------------------------------------------|-----------|
|                          | изгиб                                                                          | сжатие    |
| 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) |

ГОСТ 31108–2003 предусматривает разделение цемента по классам прочности. Цементы всех классов, кроме 22,5Н, подразделяют по скорости твердения на подклассы: нормально твердеющие (индекс Н) и быстротвердеющие (индекс Б). Числовое значение класса выражено в МПа. Для цемента любого класса в обязательном порядке должна быть обеспечена прочность в промежуточном возрасте (2 или 7 суток).

Таблица 5.7 – Требования к свойствам цемента по ГОСТ 31108-2003

| Класс<br>прочности<br>цемента | Предел прочности на сжатие, МПа,<br>в возрасте |                    |          |          | Начало<br>схватывания,<br>мин. Не<br>ранее |
|-------------------------------|------------------------------------------------|--------------------|----------|----------|--------------------------------------------|
|                               | 2 сут,<br>не менее                             | 7 сут,<br>не менее | 28 сут   |          |                                            |
|                               |                                                |                    | не менее | не более |                                            |
| 22,5Н                         | –                                              | 11                 | 22,5     | 42,5     | 75                                         |
| 32,5Н                         | –                                              | 16                 | 32,5     | 52,5     |                                            |
| 32,5Б                         | 10                                             | –                  |          |          |                                            |
| 42,5Н                         | 10                                             | –                  | 42,5     | 62,5     | 60                                         |
| 42,5Б                         | 20                                             | –                  |          |          |                                            |
| 52,5Н                         | 20                                             | –                  | 52,5     |          | 45                                         |
| 52,5Б                         | 30                                             | –                  |          |          |                                            |

При назначении класса цемента по прочности учитывается только прочность образцов при сжатии, прочность при изгибе значения не имеет.

Методики определения активности портландцемента для установления марки или класса отличаются. Основные отличия заключаются в различном водоцементном отношении раствора, использовании песков с разным гранулометрическим составом, способе уплотнения раствора. В среднем активность цемента, определенная по ГОСТ 30744–2001, составляет 77...98% (в зависимости от марки цемента) активности, определенной по ГОСТ 310.4–81. На практике удобно пользоваться таблицей соответствия между классами и марками цемента (табл. 5.8).

Таблица 5.8 – Усредненное соотношение между марками цемента по ГОСТ 10178-85 и классами цемента по ГОСТ 31108-2003

|                                     |      |      |          |          |
|-------------------------------------|------|------|----------|----------|
| Класс цемента<br>по ГОСТ 31108-2003 | 22,5 | 32,5 | 42,5     | 52,5     |
| Марка цемента<br>по ГОСТ 10178-85   | 300  | 400  | 500; 550 | 550; 600 |

Согласно ГОСТ 10178–85, **условное обозначение** цемента должно состоять из наименования вида цемента, марки по прочности, обозначения максимального содержания добавок в цементе, обозначения быстротвердеющего цемента, номера стандарта. Пример условного обозначения портландцемента марки 500, бездобавочного:

**ПЦ 500–Д0 ГОСТ 10178–85.**

Согласно ГОСТ 31108–2003, условное обозначение цементов должно включать: наименование цемента, сокращенное обозначение цемента, включающее обозначение типа и подтипа цемента и вида добавки, класс прочности, обозначение подкласса, номер стандарта.

*Пример* условного обозначения портландцемента класса 42,5 быстротвердеющего, бездобавочного:

**Портландцемент ЦЕМ I 42,5Б ГОСТ 31108–2003.**

### **Применение портландцемента**

Портландцемент – основной материал современной строительной индустрии. Портландцемент и его разновидности применяются при возведении монолитных железобетонных конструкций практически любого назначения, для производства сборных железобетонных конструкций и изделий, для изготовления строительных растворов и сухих строительных смесей, для производства специальных видов цемента, а также при изготовлении ряда других строительных материалов.

## **Оборудование и материалы**

Весы лабораторные электронные, эксикатор, прибор (колба) Ле Шателье, ртутный лабораторный термометр; шкаф сушильный, посуда лабораторная стеклянная и фарфоровая, сито с размером ячеек 0,2 мм., весы технические гиревые, штангенциркуль, линейка измерительная металлическая, стандартная воронка для определения насыпной плотности материалов, мерный сосуд вместимостью 1 л, образцы строительных материалов.

## **Указания по технике безопасности**

Перед проведением лабораторных работ все студенты должны пройти инструктаж по технике безопасности и неуклонно соблюдать правила безопасности при работе в лаборатории.

Приступая к выполнению лабораторного задания, необходимо освободить лабораторный стол от ненужных предметов и следить за его чистотой. Для защиты одежды от загрязнений студенты должны пользоваться халатами или брезентовыми фартуками, резиновыми перчатками, холщовыми рукавицами и защитными очками. При работе, связанной с возможной угрозой для безопасности исполнителя, запрещается оставаться в помещении лаборатории одному.

Каждый работающий в лаборатории должен принимать во внимание огнеопасность, токсичность некоторых веществ, возможность образования взрывоопасных смесей.

Студентам запрещается самовольно включать и выключать лабораторное оборудование: гидравлический пресс, сушильный шкаф, электронный влагомер и другие. Нельзя оставлять оборудование и приборы включенными по окончании работы. Работать на лабораторном оборудовании можно только с ведома преподавателя и после ознакомления с инструкцией по работе на данном оборудовании.

## **Содержание отчета**

Отчет оформляется в рабочей тетради на листах формата А 4 и подшивается в скоросшиватель, заполняются все полученные значения характеристик строительных материалов, а также зарисовываются схемы испытаний, заполняются таблицы и приводятся формулы расчета основных физио-механических показателей материалов.

## Методика и порядок выполнения лабораторной работы

### Определение водопотребности, сроков схватывания и равномерности изменения объема портландцемента

**Задание:** определить водопотребности, сроков схватывания и равномерность изменения объема портландцемента

**Цель:** ознакомиться с понятиями *водопотребность* и *сроки схватывания* и *равномерность изменения объема* портландцемента и с методами их определения

#### **Задание 1. Ознакомиться с методикой определения водопотребности цемента по ГОСТ 310.3–76**

**Методика:** определение глубины погружения пестика прибора Вика в цементное тесто.

**Оборудование:** прибор Вика, кольцо к прибору Вика, пластинка из стекла или оргстекла, чаша сферической формы, лопатка, весы, секундомер, мерный цилиндр.

Водопотребность цемента характеризуется количеством воды в % от массы цемента, необходимым для получения цементного теста нормальной густоты. *Нормальной густотой цементного теста считают такую его консистенцию, при которой пестик прибора Вика при стандартном испытании не доходит до пластинки на 5...7 мм.*



Рисунок 5.1 – Чаша и лопатка для затворения цемента

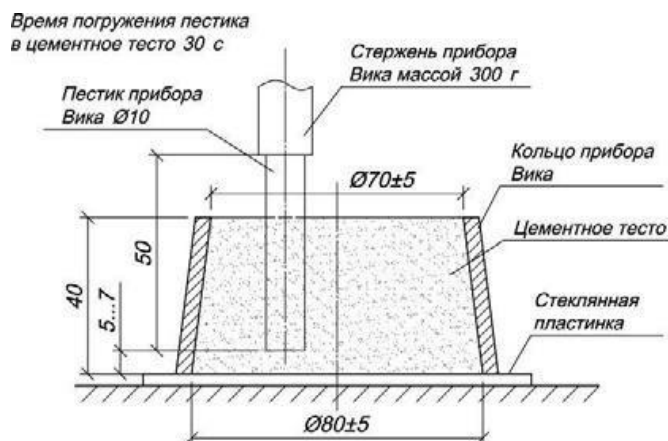


Рисунок 5.2 – Схема определения нормальной густоты цементного теста

#### **Ход выполнения работы**

Для определения нормальной густоты цементного теста в нижнюю часть стержня прибора Вика (рис. 6.2) вставляют металлический пестик диаметром 10 мм. Перед началом испытания проверяют прибор Вика: свободно ли опускается стержень прибора Вика до поверхности пластинки, а также

нулевое показание прибора, соприкасая пестик с пластинкой, на которой расположено кольцо. При отклонении от нуля шкалу прибора соответствующим образом передвигают до точки нуля. Пластинку и кольцо смазывают тонким слоем машинного масла. Для ручного приготовления цементного теста отвешивают 400 г цемента, высыпают его в чашу (рис. 5.1), предварительно протертую влажной тканью. Затем делают в цементе углубление, в которое вливают в один прием воду в количестве, ориентировочно необходимом для получения цементного теста нормальной густоты (обычно 24...26%). Углубление засыпают цементом и через 30 с после добавления воды сначала осторожно перемешивают, а затем энергично растирают тесто лопаткой (рис. 5.1) в течение 5 минут. При механизированном приготовлении цементного теста в растворосмесителе руководствуются инструкцией к прибору.

Кольцо прибора Вика, установленное на пластинке (рис. 5.5), наполняют в один прием цементным тестом и пять-шесть раз встряхивают его, постукивая пластинку о твердое основание. Избыток теста срезают вровень с краями кольца ножом, протертым влажной тканью.

Пластинку с кольцом помещают на основание прибора Вика, приводят пестик в соприкосновение с поверхностью теста в центре кольца и закрепляют стержень стопорным винтом, затем быстро освобождают его и предоставляют пестик свободно погружаться в тесто. Через 30 с, начиная с момента освобождения стержня, фиксируют отсчет погружения по шкале.

Кольцо с тестом при отсчете не должно подвергаться толчкам. При несоответствии консистенции цементного теста изменяют количество воды и вновь затворяют тесто, добиваясь погружения пестика на 5-7 мм. До поверхности пластинки. При несоответствующей консистенции цементного теста корректируют количество воды и эксперимент повторяют. Нормальную густоту определяют с точностью до 0,25 %.

## ***Задание 2. Ознакомиться с методикой определения сроков схватывания цементного теста по ГОСТ 310.3–76***

**Методика:** определение глубины погружения иглы прибора Вика в цементное тесто нормальной густоты.

**Оборудование:** то же, что в задании 1.

### ***Ход выполнения работы***

Для определения сроков схватывания цемента в нижнюю часть стержня прибора Вика вставляют иглу длиной 50 мм, площадью поперечного сечения 1 мм<sup>2</sup>.

Перед началом испытания проверяют прибор Вика, а также чистоту поверхности и отсутствие искривлений иглы.

Для приготовления цементного теста отвешивают 400 г цемента, воду берут в количестве, необходимом для получения цементного теста нормальной густоты. Готовят цементное тесто и укладывают его в кольцо, как описано в задании 1.

Иглу прибора Вика доводят до соприкосновения с поверхностью цементного теста. В этом положении закрепляют стержень стопором, затем освобождают стержень, давая игле свободно погружаться в тесто (рис. 5.3).

Иглу погружают в тесто через каждые 10 мин, передвигая кольцо после каждого погружения для того, чтобы игла не попадала в прежнее место. После каждого погружения иглу вытирают.

**Начало схватывания** – время от начала затворения цемента до того момента, когда игла впервые не доходит до пластинки на 2...4 мм.

**Конец схватывания** – время от начала затворения цемента до момента, когда игла впервые опускается в тесто не более чем на 1...2 мм.

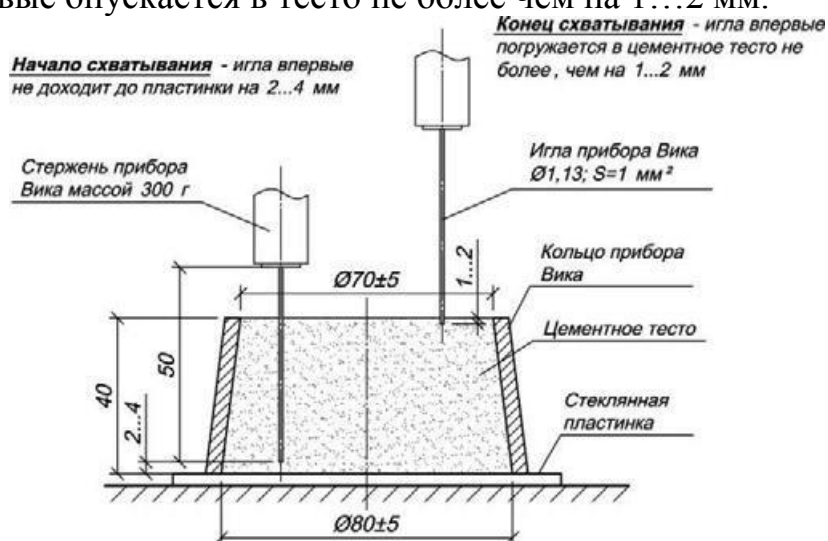


Рисунок 5.3 – Схема определения сроков схватывания цементного теста

### **Задание 3. Ознакомиться с методикой определения равномерности изменения объема портландцемента по ГОСТ 310.3–76**

**Методика:** определение повреждений лепешек, изготовленных из цементного теста нормальной густоты, после кипячения в течение 3-х часов.

**Оборудование:** чаша сферической формы, лопатка, весы, пластинка из стекла или оргстекла, ванна с гидравлическим затвором, бачок для кипячения лепешек с регулятором уровня воды, часы.

### **Ход выполнения работы**

Готовят тесто нормальной густоты по методике, описанной в задании 1. Две навески теста массой 75 г каждая, приготовленные в виде шариков, помещают на стеклянную пластинку, предварительно протертую машинным маслом. Постукивая пластинкой о твердое основание, добиваются образования из шариков лепешек диаметром 7...8 см и толщиной в середине

около 1 см (рис. 5.6). Лепешки заглаживают смоченным водой ножом, придавая им гладкую поверхность и острые края.



Рисунок 5.4 – Ванна с гидравлическим затвором



Рисунок 5.5 – Бачок для кипячения образцов

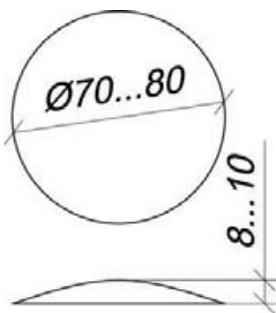
Лепешки на пластине помещают в ванну с гидравлическим затвором (рис. 5.4), где хранят в течение  $(24 \pm 2)$  ч с момента изготовления. В ванне с гидравлическим затвором поддерживается комнатная температура –  $(20 \pm 2)^\circ\text{C}$  и влажность 95...100 %.

Затем лепешки вынимают из ванны, снимают с пластинок и помещают в бачок на съемную решетку (рис. 5.5). Воду в бачке доводят до кипения, которое поддерживают в течение 3 ч. В процессе кипячения вода должна покрывать лепешки на 4...6 см.

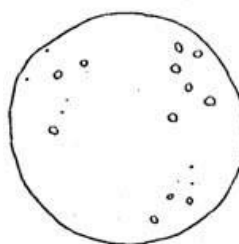
После кипячения лепешки охлаждают в бачке и производят их визуальный осмотр немедленно после извлечения из воды.

Цемент соответствует требованиям стандарта в отношении равномерности изменения объема, если на лицевой стороне лепешек не обнаружено радиальных, достигающих до краев, трещин или сетки мелких трещин, видимых невооруженным глазом или в лупу, а также каких-либо искривлений и увеличения объема лепешек (рис. 5.6). Допускается в первые сутки после испытания появление трещин усыхания, не достигающих до краев лепешек.

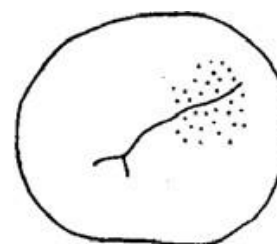
*Вид образцов до  
испытания*



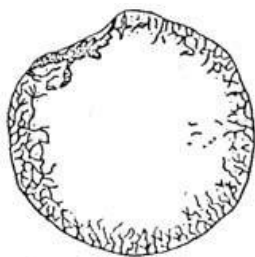
*Лепешки, выдержавшие испытание на  
равномерность изменения объема*



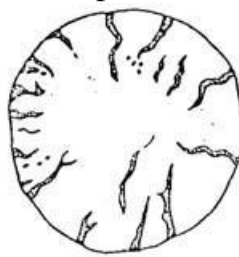
*Без повреждений*



*Трещины усыхания*



*Разрушение*



*Радialные трещины*



*Искривление*

Рисунок 5.6 – Внешний вид образцов до и после испытания на равномерность изменения объема по ГОСТ 310.3–76

### Контрольные вопросы

1. Каким образом получают портландцемент? Какие сырьевые материалы используют при производстве клинкера портландцемента? Какие существуют способы производства портландцементного клинкера? В чём их отличие?
2. Каковы химический и минеральный составы портландцементного клинкера?
3. Напишите уравнения реакций гидратации основных клинкерных минералов. Для чего в состав портландцемента вводится добавка гипса?
4. Назовите основные показатели качества портландцемента.
5. Как определить нормальную густоту цементного теста по ГОСТ 310.3–76?
6. Как определить сроки схватывания портландцемента по ГОСТ 310.3–76? Каковы требования ГОСТ 10178–85 к срокам схватывания портландцемента?
7. Как определить равномерность изменения объёма портландцемента по ГОСТ 310.3–76? В чём состоит причина неравномерного изменения объёма?
8. Как определить активность и марку портландцемента с использованием монофракционного песка по ГОСТ 310.4–81?
9. Каковы основные области применения портландцемента?
10. Назовите и дайте краткую характеристику специальных видов портландцемента.

11. Каким образом получают глинозёмистый цемент? Каков минеральный и химический состав глинозёмистого цемента?
12. Напишите уравнение реакции гидратации основного минерала глинозёмистого цемента. Каковы особенности твердения глинозёмистого цемента при нормальных и повышенных температурах?
13. Назовите основные показатели качества глинозёмистого цемента. В чем состоят особенности свойств глинозёмистого цемента?
14. Приведите рациональные области применения глинозёмистого цемента?
15. Каким образом классифицируются портландцементы по ГОСТ 31108–2003.
16. Как определить нормальную густоту цементного теста по ГОСТ 30744–2001?
17. Как определить сроки схватывания портландцемента по ГОСТ 30744–2001? Каковы требования ГОСТ 31108–2003 к срокам схватывания портландцемента?
18. Как определить равномерность изменения объёма портландцемента по 30744–2001?
19. Как определить активность и класс прочности портландцемента с использованием полифракционного песка по 30744–2001?

## ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА 4

### Заполнитель для бетона и строительных растворов

**Цель работы:** охарактеризовать заполнители для тяжелого бетона по крупности частиц и определить их *зерновой состав*. Установить соответствие зернового состава заполнителей для тяжелого бетона требованиям стандарта ГОСТ ТУ. Определить *насыпную плотность* и *пустотность* заполнителей для бетона.

### Теоретическая часть

**Заполнители** – это природные или искусственные сыпучие зернистые материалы, составляющие до 85 % массы бетонов: песок, щебень или гравий определенного зернового состава, которые в рационально составленной смеси с вяжущим и водой образуют бетон или с битумом асфальтобетон. Поэтому в соответствии с международной практикой в настоящее время к заполнителям относят также и соответствующие по гранулометрическому составу и физико-механическим свойствам материалы для дорожного строительства и общестроительных работ (нерудные строительные материалы, природные и искусственные пористые заполнители, продукты из отходов производств и пр.).

В зависимости от размеров зерен заполнителя для бетонов подразделяют на мелкие и крупные. **Мелкий** заполнитель – с размером зерен от 0,16 до 5 мм (песок), **Крупный** заполнитель – с размером зерен от 5 (5-10, 10-15, 15-20) до 70 мм. (щебень или гравий). Мелкий заполнитель может быть природным, искусственным или повторно используемым.

В настоящих методических указаниях рассматриваются заполнители, получаемые только из природных каменных пород (плотных и пористых пород). Такие заполнители находят наибольшее применение, так как при производстве железобетона, обычных и дорожных бетонов специального назначения в основном используются заполнители из природных каменных горных пород.

Заполнители, занимая основной объем бетона, позволяют резко сократить расход цемента – наиболее дорогого компонента бетона. Значение заполнителей – не только в экономии цемента. Без них вообще нельзя получить бетон, так как превращение цементного теста в цементный камень, его последующее твердение и высыхание сопровождаются большими усадочными деформациями. Если изготавливать бетон без заполнителей, то при твердении он неизбежно потрескается (увеличивается трещиностойкость). В правильно подобранной бетонной смеси цементное тесто схватывается и твердеет в тонких пленках, обволакивающих поверхность зерен заполнителя, и в микрообъемах между этими зернами. И при усадке бетона происходит деформация зерен заполнителя. В результате этого усадка бетона

приблизительно в 10 раз меньше усадки цементного камня. Заполнитель играет роль в структурообразовании бетона, в формировании его каркаса, что приводит к формированию высоких физико-механических и эксплуатационных свойств бетона.

**Крупными** называются заполнители, размеры зерен которых превышают 5 мм. Верхний предел крупности заполнителей ограничивается условиями применения бетона. Он не должен превышать  $\frac{3}{4}$  расстояния между стержнями арматуры в железобетонной конструкции,  $\frac{1}{4}$  наименьшего размера сечения балочных элементов или  $\frac{1}{2}$  толщины плиточных элементов (понятие балочных и плитных элементов) относится не к назначению конструкции, а к их положению при бетонировании). Если плита толщиной 80 мм бетонируется в горизонтальном положении, то максимальная крупность заполнителя  $d_g$  может быть определена как половина толщины плиты, т.е. 40 мм. Если в заводских условиях подобные плиты бетонируют в вертикальных кассетных формах, то наибольшая крупность заполнителя определяется как четверть толщины, т.е. 20 мм. Таким образом. Для одной и той же конструкции крупность заполнителя может быть различной в зависимости от технологии бетонирования. Чем больше диапазон крупности частиц, тем меньше межзерновая пустотность заполнителя и, следовательно, тем больше объема он займет в бетоне и тем меньше потребуется цемента.

Наполнить бетонную смесь крупным заполнителем обычно стремятся в наибольшей степени (заполнитель в бетоне плотной структуры может занимать до 60 % объема).

Помимо экономического эффекта от снижения расхода цемента, наполнение бетонной смеси крупным заполнителем ведет к повышению прочности бетона (за счет армирующего эффекта заполнителя), уменьшению деформаций усадки, ползучести и термических напряжений в массивных конструкциях от выделения теплоты при твердении цемента.

**Особое значение** крупные заполнители имеют при получении легких бетонов. Снижение массы конструкций, уменьшение теплопроводности и другие преимущества использования легких бетонов связаны прежде всего с применением легких пористых заполнителей. Именно поэтому название крупного заполнителя положено в основу наименований разных видов легкого бетона: керамзитобетон, аглопоритобетон, перлитобетон и др.

### **Виды крупных заполнителей**

По насыпной плотности  $\rho_n$  крупные заполнители подразделяются на **тяжелые** (свыше 1000 кг/м<sup>3</sup>) и **легкие** (до 1000 кг/м<sup>3</sup>);

По структуре на **плотные** (пористость менее 10%) и **пористые** (пористость не менее 10%)

На основе **тяжелых** заполнителей получают в основном **плотные тяжелые бетоны**, на **легких** – **легкие**. Исключение составляет крупнопористый легкий бетон, который можно получить на основе как легких, так и тяжелых заполнителей.

По форме зерен различают **гравий, щебень обычный и кубовидный**. Форму зерен щебня и гравия характеризуют содержанием зерен пластинчатой (лещадной) и игловатой формы.

**Гравий** – неорганический сыпучий материал с зернами крупностью свыше 5 мм окатанной, округлой формы.

**Щебень обычный для строительных работ** – материал, получаемый дроблением плотных горных пород, состоящий из частиц (зерен) угловатой остроугольной формы.

**Щебень кубовидный** – это материал с зернами с околотой поверхностью в форме призмы или многогранника, толщина и ширина которых меньше длины не более чем в 2 раза.

Кубовидный щебень из плотных горных пород получают на специальных дробильно-сортировочных установках фракциями от 2,5 до 20 мм.

Щебень фракции 2,5-5,0 мм предназначен для верхнего, упрочняющего слоя дорожного покрытия, определяющего долговечность и качество дорог и состоящего из битумного вяжущего и фракционированного щебня. Щебень используется как профилактический слой, который предохраняет основные конструктивные слои дорожных покрытий от преждевременного разрушения, как слой износа, подверженный истиранию в процессе движения, и как слой определенной шероховатости, обеспечивающий сцепление между колесами автомобиля и дорогой. Более мелкий щебень крепче держится в полотне дороги, что повышает срок ее службы. Использование такого щебня снижает расход вяжущих (битум, цемент) на 15...30%, уровень шума – на 12 %.

По своей природе материалы, используемые в качестве крупных заполнителей, могут быть природными плотными, искусственными пористыми и повторно используемыми.

К **природным плотным** относится гравий, получаемый сортировкой природных песчано-гравийных смесей (ПГС), и щебень, получаемый дроблением плотных горных пород (гранит, сиенит, диорит, доломит, песчаник, кварцит, диабаз, базальт).

К **искусственным пористым** относятся заполнители, получаемые в результате промышленной переработки вспучиванием, спеканием при обжиге или другой специальной переработки горных пород (перлит, шунгизит) или промышленных отходов (шлаков).

**Повторно используемые** заполнители получают путем переработки неорганических материалов, ранее использованных в строительстве.

### **Технология производства крупных заполнителей**

**Гравий природный из горных пород** – неорганический зернистый (крупность зерен свыше 5 мм.) сыпучий строительный материал, получаемый рассевом природных песчано-гравийных смесей, относящихся к обломочным осадочным горным породам. После геологической разведки месторождений производят разработку карьера, затем добытую смесь подвергают рассеву по крупности зерен на промышленных ситах (грохотах) для отделения песка и разделения гравия на предусмотренные стандартом фракции. В случае

чрезмерной засоренности пылевидными или глинистыми примесями гравий промывают водой.

**Щебень из плотных горных пород** получают дроблением различных горных пород (кварцита, мрамора, диорита, диабаз, гранита (гранодиорита), плотных карбонатных пород (известняка, доломита)) или крупных фракций гравия и валунов в дробилках с последующим рассевом на требуемые фракции.

**Гравий керамзитовый** – легкий гранулированный материал с пористой структурой, получаемый обжигом глинистых пород до их вспучивания во вращающейся печи. Температура обжига примерно 1200 °С. Глина вспучивается в пиропластическом (размягченном от воздействия высокой температуры) состоянии, когда некоторые вещества в ее составе разлагаются с выделением газообразных продуктов. Сырьевые гранулы (комочки) при вспучивании увеличиваются в объеме и округляются, поэтому керамзит получают в основном в виде гравия.

**Щебень аглопоритовый** получают спеканием тощих (малопластичных) невспучивающихся глинистых пород с добавкой до 10 % дробленного каменного угля. Спекание (агломерацию) производят на решетчатом конвейере агломерационной машины после зажигания слоя шихты при прососе через него воздуха. Вместо глинистых пород в качестве сырья часто используют отходы углеобогащения или золы тепловых электростанций, содержащие в своем составе достаточное для агломерации количество топлива. После спекания слоя шихты образующийся корж охлаждают и дробят, получая щебень и одновременно некоторое количество аглопоритового песка.

**Пески** (строительные, природные и фракционированные) применяются в качестве заполнителя тяжелых, легкий, мелкозернистых, ячеистых и силикатных бетонов, строительных растворов, для приготовления сухих строительных смесей, устройства оснований и покрытий автомобильных дорог и аэродромов. Например, фракция песка 0,1...0,63 предназначена для производства сухих строительных смесей (ССС).

Мелкий заполнитель позволяет получить легкий мелкозернистый бетон с низкими или средними показателями прочности (класса бетона). Применение крупного и мелкого заполнителя в бетоне позволяет получить тяжелый плотный бетон, с более высокими показателями прочности класса бетона.

#### **Виды мелкого заполнителя**

В качестве мелкого заполнителя в обычных тяжелых бетонах и асфальтобетонах используют пески природные или искусственные (дробленые).

**Природные пески** – это неорганический зернистый сыпучий материала (осадочная порода) с крупностью зерен до 5 мм, образовавшийся в результате естественного разрушения твердых горных пород и получаемый при разработке песчаных и песчано-гравийных месторождений (в карьерах) открытым способом без использования специального обогащательного оборудования.

***По источникам получения или по условиям залегания различают пески:***

***Речные (аллювиальные) (от лат. alluvio – нанос, намыв)*** – имеют округлую (окатанную) отполированную поверхность зерен, не обеспечивающую сцепления с вяжущим;

***Морские*** – имеют окатанную форму зерен, могут содержать обломки раковин, снижающие прочность бетонов;

***Овражные(горные)*** – имеют неровную остроугольную поверхность зерен и лучшее сцепление с цементным камнем, но они загрязнены глинистыми и органическими примесями;

***Эоловые (дюнные)*** – принесенные ветром; продукт ветровой эрозии горных пород;

***Барханные*** – очень мелкие частицы, не отвечающие требованиям ТУ ГОСТ.

***Фракционированные*** – разделены на две или более фракций с использованием специального оборудования.

*Эоловые и барханные пески очень тонкие и в строительстве не используются.*

*Фракцией* считаются зерна заполнителя, которые проходят через более крупные сита и остаются на более мелком из двух сит, находящихся рядом в стандартном наборе, т.е. выделяемые двумя ситами из пробы заполнителя. Фракционирование производится путем разделения песка по граничному зерну, соответствующему размерам отверстий какого-либо из двух контрольных сит: 1,25 или 0,63 мм. Крупная (1,25...2,5 мм) и мелкая (0,63...1,25 мм) и мелкая (0,63...1,25 мм) фракции песка должны поставляться, храниться и дозироваться при приготовлении бетонной смеси отдельно. Этим обеспечивается более рациональный состав бетонной смеси и более высокая однородность бетона;

***Песок из отсевов дробления*** – неорганический сыпучий материала с крупностью зерен до 5 мм., получаемый из отсевов дробления горных пород при производстве щебня и из отходов обогащения руд черных и цветных металлов и неметаллических ископаемых других отраслей промышленности. Пески залегают обычно в составе песчано-гравийных смесей (ПГС). После сортировки последних получают фракционированный гравий и песок.

Образование в природе песков, как и других обломочных осадочных пород, происходило при постепенном разрушении каменных пород, преимущественно гранитных. Содержащиеся в гранитах минералы – полевые шпаты, разлагаясь под воздействием воды и углекислого газа, дали начало процессу образования глинистых пород.

*Если песок по зерновому составу или наличию примесей не соответствует требованиям к заполнителям для бетона, он подлежит **обогащению**. Обогащение состоит в промывке и корректировке зернового состава. Затраты на обогащение песка как правило, гораздо меньше возможных убытков от перерасхода цемента и снижения качества бетона при использовании некачественного песка.*

***Искусственный (дробленый) песок*** получают дроблением скальных горных пород или гравия в тех районах, где отсутствуют природные пески

удовлетворительного качества. Кроме того, целесообразно получать и использовать дробленые пески из отсеков, остающихся при производстве щебня из природного каменного материала. Преимуществом дробления песка перед природным является лучшее сцепление с цементным камнем в бетоне.

### ***Назначение заполнителей***

Получение бетонов с заранее заданными свойствами зависит от многих факторов, основные из которых влияют на выбор вида заполнителя и, следовательно, в значительной степени определяет их назначение. Кратко основное назначение заполнителей заключается в следующем:

1. Сокращение расхода цемента или других вяжущих за счет насыщения заполнителем 80-85 % объёма бетона, что позволяет снизить в определённой степени стоимость;
2. Создание жесткого скелета из зерен заполнителя, увеличивающего прочность и модуль упругости бетона;
3. Уменьшение плотности и теплопроводности бетона (при применении легких пористых заполнителей);
4. Увеличение долговечности цементного камня и бетона за счет уменьшения в них трещинообразования, которое вызывается возникновением усадки и усадочных напряжений в твердеющих бетоне и цементном камне;
5. Возможность придания бетонам, при использовании специальных заполнителей, особых свойств (гидратные бетоны, жаростойкие бетоны и пр.).

### ***Классификация заполнителей***

Разнообразие заполнителей, применяемых в строительстве, технологии бетонов и железобетона, вызывает необходимость их классификации. В качестве классификационных признаков заполнителей приняты следующие: происхождение, плотность зерен, насыпная плотность, характер формы зёрен, крупность зерен, назначение.

***По происхождению заполнители*** подразделяются на три группы:

- природные, в том числе из попутно добываемых пород и отходов обогащения;
- из отходов промышленности;
- искусственные.

Заполнители, получаемые из природных каменных пород, характеризуются генетическим происхождением и петрографией горных пород. Например, изверженные (глубинные, излившиеся, обломочные), осадочные (химические или органогенные осадки, механические отложения), метаморфические.

***По крупности зерен*** заполнители подразделяют на:

- *крупные* - с зернами свыше 5 мм (щебень, гравий);
- *мелкие* - с размером зерен до 5 мм (песок).

***По характеру формы зерен*** различают заполнители:

- *угловатой (неправильной) формы*, получаемой дроблением (щебень, дробленый песок и др.);

- *округлой формы зерен* (гравий, природный песок и др.).

**В зависимости от плотности** заполнители подразделяют на:

- **плотные** (плотность зерен свыше 2 г/см<sup>3</sup>);
- **пористые** (плотность зерен менее 2 г/см<sup>3</sup>).

Классификационной характеристикой является также насыпная плотность заполнителя, которая для крупных заполнителей не должна превышать 1200 кг/м<sup>3</sup>, а для пористых песков - 1400 кг/м<sup>3</sup>.

Заполнители подразделяют и в соответствии с основным назначением: для тяжелых, легких, мелкозернистых бетонов, для специальных бетонов (жаростойких, декоративных, химически стойких и др.).

Вид заполнителя является одним из классификационных признаков бетонов, в соответствии с которым различают бетоны на плотных, пористых и специальных заполнителях.

ГОСТ 26633-2012 «Бетоны тяжелые и мелкозернистые. Технические условия» предъявляет к заполнителям ряд определенных требований по их основным характеристикам зерновому составу, наличию примесей, радиационно-гигиенической характеристике и т.д.

### **1. Щебень и гравий для строительных работ**

ГОСТ 8267-93 «Щебень и гравий из плотных горных пород для строительных работ. Технические условия» распространяется на щебень и гравий из горных пород со средней плотностью зерен от 2,0 до 3,0 г/см<sup>3</sup>, применяемые в качестве заполнителей для тяжелого бетона, а также для дорожных и других видов строительных работ. Стандарт не распространяется на щебень и гравий для балластного слоя железнодорожного пути и декоративный щебень.

В ГОСТ 8267-93 «Щебень и гравий из плотных горных пород для строительных работ. Технические условия» применены следующие термины:

**Щебень из горных пород:** Неорганический зернистый сыпучий материал с зернами крупностью св. 5 мм, получаемый дроблением горных пород, гравия и валунов, попутно добываемых вскрышных и вмещающих пород или некондиционных отходов горных предприятий по переработке руд (черных, цветных и редких металлов металлургической промышленности) и неметаллических ископаемых других отраслей промышленности и последующим рассевом продуктов дробления.

**Гравий из горных пород:** Неорганический зернистый сыпучий материал с зернами крупностью св. 5 мм, получаемый рассевом природных гравийно-песчаных смесей.

#### **1.1 Технические требования к щебню и гравиям**

Щебень и гравий должны изготавливаться в соответствии с требованиями ГОСТ 8267-93 по технологической документации, утвержденной предприятием-изготовителем.

#### **1. Основные параметры и размеры**

Щебень и гравий выпускают в виде следующих основных фракций: от 5(3) до 10 мм; св. 10 до 15 мм; св. 10 до 20 мм; св. 15 до 20 мм; св. 20 до 40 мм; св. 40 до 80(70) мм и смеси фракций от 5(3) до 20 мм.

По согласованию изготовителя с потребителем выпускают щебень и гравий в виде других смесей, составленных из отдельных фракций, а также фракций от 80(70) до 120 мм, св. 120 до 150 мм.

Полные остатки на контрольных ситах при расसेве щебня и гравия фракций от 5(3) до 10 мм, св. 10 до 15 мм, св. 10 до 20 мм, св. 15 до 20 мм, св. 20 до 40 мм, св. 40 до 80(70) мм и смеси фракций от 5(3) до 20 мм должны соответствовать указанным в таблице 7.1, где  $d$  и  $D$  - наименьшие и наибольшие номинальные размеры зерен.

Таблица 7.1

| Диаметр отверстий контрольных сит, мм.                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                 | $d$          | $0,5(d+D)$  | $D$   | $1,25D$ |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------|-------------|-------|---------|
| Полные остатки на ситах , % по массе                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                   | От 90 до 100 | От 30 до 60 | До 10 | До 0,5  |
| <p><b>Примечания</b></p> <p>1. Для щебня и гравия фракций от 5(3) до 10 мм и смеси фракций от 5(3) до 20 мм применяют дополнительно: нижние сита 2,5 мм (1,25 мм), полный остаток на которых должен быть от 95 % до 100 %.</p> <p>2. По согласованию изготовителя с потребителем допускается изготавливать щебень и гравий с полным остатком на сите <math>0,5(d+D)</math> от 30% до 80% по массе.</p> |              |             |       |         |

## **2. Содержание дробленых зерен в щебне из гравия и валунов и форма зерен**

2.1. Щебень из гравия и валунов должен содержать дробленые зерна в количестве не менее 80% по массе. Допускается по согласованию изготовителя с потребителем выпуск щебня из гравия с содержанием дробленых зерен не менее 60%.

2.2. Форму зерен щебня и гравия характеризуют содержанием зерен пластинчатой (лещадной) и игловатой формы.

Щебень в зависимости от содержания зерен пластинчатой и игловатой формы подразделяют на пять групп, которые должны соответствовать указанным в таблице 7.2.

Таблица 7.2

| Группа щебня | Содержание зерен пластинчатой (лещадной) и игловатой формы, % по массе |
|--------------|------------------------------------------------------------------------|
| 1            | До 10 включ.                                                           |
| 2            | Св. 10 до 15 включ.                                                    |

|                                                                                                                                                                                                        |                     |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------|
| 3                                                                                                                                                                                                      | Св. 15 до 25 включ. |
| 4                                                                                                                                                                                                      | Св. 25 до 35 включ. |
| 5                                                                                                                                                                                                      | Св. 35 до 50 включ. |
| Примечание - По согласованию изготовителя с потребителем допускается выпуск щебня из изверженных горных пород, содержащего св. 50 %, но не более 65 % зерен пластинчатой (лещадной) и игловатой формы. |                     |

Гравий не должен содержать зерен пластинчатой и игловатой формы более 35% по массе.

### **3. Прочность**

Прочность щебня и гравия характеризуют маркой по дробимости при сжатии (раздавливании) в цилиндре.

Щебень и гравий, предназначенные для строительства автомобильных дорог, характеризуют маркой по дробимости при сжатии (раздавливании) в цилиндре и маркой по истираемости, определяемой испытанием в полочном барабане.

Марки по дробимости щебня из гравия и гравия должны соответствовать требованиям, указанным в таблице 7.3.

Таблица 7.3

| Марка по дробимости<br>щебня из гравия и гравия | Потеря массы при испытании, % |              |
|-------------------------------------------------|-------------------------------|--------------|
|                                                 | щебня из гравия               | гравия       |
| 1000                                            | До 10 включ.                  | До 8 включ.  |
| 800                                             | Св. 10 до 14                  | Св. 8 до 12  |
| 600                                             | Св. 14 до 18                  | Св. 12 до 16 |
| 400                                             | Св. 18 до 26                  | Св. 16 до 24 |

### **4. Истираемость**

Марки по истираемости щебня и гравия должны соответствовать требованиям, указанным в таблице 7.4.

Таблица 7.4

| Марка по истираемости<br>щебня и гравия | Потеря массы при испытании, % |              |
|-----------------------------------------|-------------------------------|--------------|
|                                         | щебня                         | гравия       |
| И1                                      | До 25 включ.                  | До 20 включ. |
| И2                                      | Св. 25 до 35                  | Св. 20 до 30 |
| И3                                      | Св. 35 до 45                  | Св. 30 до 40 |
| И4                                      | Св. 45 до 60                  | Св. 40 до 60 |

### **5. Морозостойкость**

Морозостойкость щебня и гравия характеризуют числом циклов замораживания и оттаивания, при котором потери в процентах по массе щебня и гравия не превышают установленных значений. Допускается оценивать морозостойкость щебня и гравия по числу циклов насыщения в растворе сернокислого натрия и высушивания. При несовпадении марок

морозостойкость оценивают по результатам испытания замораживанием и оттаиванием.

Щебень и гравий по морозостойкости подразделяют на следующие марки: F15, F25, F50, F100, F150, F200, F300, F400.

Показатели морозостойкости щебня и гравия при испытании замораживанием и оттаиванием или насыщением в растворе сернокислого натрия и высушиванием должны соответствовать указанным в таблице 7.5.

Таблица 7.5

| Вид испытания                                                                                                            | Марка по морозостойкости щебня и гравия |     |     |      |      |      |      |      |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------|-----|-----|------|------|------|------|------|
|                                                                                                                          | F15                                     | F25 | F50 | F100 | F150 | F200 | F300 | F400 |
| Замораживание-оттаивание:<br>- число циклов<br>- потеря массы после испытания, %, не более                               |                                         |     |     |      |      |      |      |      |
|                                                                                                                          | 15                                      | 25  | 50  | 100  | 150  | 200  | 300  | 400  |
|                                                                                                                          | 10                                      | 10  | 5   | 5    | 5    | 5    | 5    | 5    |
| Насыщение в растворе сернокислого натрия – высушивание:<br>- число циклов<br>- потеря массы после испытания, %, не более |                                         |     |     |      |      |      |      |      |
|                                                                                                                          | 3                                       | 5   | 10  | 10   | 15   | 15   | 15   | 15   |
|                                                                                                                          | 10                                      | 10  | 10  | 5    | 5    | 3    | 2    | 1    |

#### **6. Содержание пылевидных и глинистых частиц**

Содержание пылевидных и глинистых частиц (размером менее 0,05 мм) в щебне и гравии в зависимости от вида горной породы и марки по дробимости должно соответствовать указанному в таблице 7.5.

Содержание глины в комках не должно быть более 0,25 % по массе для марок по дробимости 400 и выше, для марок по дробимости 300 и 200 допускается не более 0,5 % по массе.

Таблица 7.5

| Вид породы и марка по дробимости щебня и гравия                                          | Содержание пылевидных и глинистых частиц, % по массе, не более |
|------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------|
| Щебень из изверженных и метаморфических пород марок:<br>Св. 800<br>Св. 600 до 800 включ. | 1<br>1                                                         |
| Щебень из осадочных горных пород марок:<br>От 600 до 1200 включ.<br>200, 400             | 2<br>3                                                         |
| Щебень из гравия и гравий марок:<br>1000<br>800<br>600<br>400                            | 1<br>1<br>2<br>3                                               |
| Щебень из валунов марок:<br>1200<br>1000<br>800<br>600<br>400                            | 1<br>1<br>1<br>2<br>3                                          |

### 7. Наличие вредных компонентов и примесей

Щебень из попутно добываемых вскрышных и вмещающих пород и некондиционных отходов горных предприятий по переработке руд (черных, цветных и редких металлов металлургической промышленности) и неметаллических ископаемых других отраслей промышленности должен быть устойчивым против всех видов распадов.

Щебень и гравий должны быть стойкими к воздействию окружающей среды. Щебень и гравий, предназначенные для применения в качестве заполнителей для бетонов, должны обладать стойкостью к химическому воздействию щелочей цемента. Стойкость щебня и гравия определяют по минералогическому составу исходной горной породы и содержанию вредных компонентов и примесей, снижающих долговечность бетона и вызывающих коррозию арматуры железобетонных изделий и конструкций.

При производстве щебня и гравия должна проводиться их радиационно-гигиеническая оценка, по результатам которой устанавливают область применения. Щебень и гравий в зависимости от значений суммарной удельной эффективной активности естественных радионуклидов  $A_{эфф}$  применяют:

- при  $A_{эфф}$  до 370 Бк/кг - во вновь строящихся жилых и общественных зданиях;
- при  $A_{эфф}$  св. 370 до 740 Бк/кг - для дорожного строительства в пределах

территории населенных пунктов и зон перспективной застройки, а также при возведении производственных зданий и сооружений;

- при  $A_{эфф}$  св. 740 до 1500 Бк/кг - в дорожном строительстве вне населенных пунктов.

При необходимости в национальных нормах, действующих на территории государства, величина удельной эффективной активности естественных радионуклидов может быть изменена в пределах норм, указанных выше.

Щебень и гравий не должны содержать посторонних засоряющих примесей.

## **1.2. Правила приемки щебня и гравия**

### **1.3.**

Щебень и гравий должны быть приняты техническим контролем предприятия-изготовителя. Приемку и поставку щебня и гравия производят партиями. Партией считают количество щебня (гравия) одной фракции (смеси фракций), установленное в договоре на поставку и одновременно отгружаемое одному потребителю в одном железнодорожном составе или одном судне. При отгрузке автомобильным транспортом партией считают количество щебня (гравия) одной фракции (смеси фракций), отгружаемое одному потребителю в течение суток.

Для проверки соответствия качества щебня (гравия) требованиям настоящего стандарта проводят приемочный контроль и периодические испытания. Приемочный контроль на предприятии-изготовителе проводят ежедневно путем испытания объединенной пробы щебня (гравия), отобранной с каждой технологической линии. При приемочном контроле определяют:

- зерновой состав;
- содержание пылевидных и глинистых частиц;
- содержание глины в комках;
- содержание зерен слабых пород.

Результаты приемочного контроля и периодических испытаний приводят в документе о качестве, в котором указывают:

- наименование предприятия-изготовителя и его адрес;
- номер и дату выдачи документа;
- наименование и адрес потребителя;
- номер партии и количество щебня (гравия);
- номер вагона или номер судна и номера накладных;
- зерновой состав щебня (гравия);
- содержание зерен пластинчатой (лещадной) и игловатой формы;
- содержание дробленых зерен в щебне из гравия;
- содержание глины в комках;
- марку щебня (гравия) по прочности (дробимости);
- содержание пылевидных и глинистых частиц;
- содержание зерен слабых пород;
- морозостойкость щебня (гравия);
- насыпную плотность щебня (гравия);

- удельную эффективную активность естественных радионуклидов щебня (гравия);
- устойчивость структуры щебня против распадов;
- содержание вредных компонентов и примесей;
- обозначение стандарта соответствия ГОСТ.

Кроме того, по требованию потребителя в документе указывают минералогическую петрографическую характеристику гравия и горной породы, из которой производят щебень, а также истинную и среднюю плотность, пористость, пустотность и водопоглощение.

#### **1.4. Транспортирование и хранение щебня и гравия**

Щебень является наиболее распространенным сыпучим материалом, который используется в строительной сфере. Поскольку данный материал отличается высокой прочностью, то для его хранения нет необходимости в соблюдении особенных сложных требований. Следует отметить, что есть общие условия, которые важно знать.

Хранение сыпучего материала может осуществляться в течение длительного периода не только в карьере, но и в складских помещениях. Важно уделить особое внимание чистоте объекта, где планируется хранить щебенку. Попадание пыли и иных посторонних примесей может значительно сказаться на качестве стройматериала. Если на основе подобного щебня изготовить бетон, то он будет отличаться низкими показателями прочности.

В процессе хранения требуется ограничить степень механических воздействий на материал. Несмотря на то, что щебенка входит в категорию надежных стройматериалов (по причине прочности и способности выдерживать температурные колебания), она подвержена существенным разрушениям. Самыми неприятными факторами для нее являются низкие температурные показатели (до -50 градусов) и сырость. Важно отметить, что эти факторы не критичны, но способны отразиться на качестве исходного материала. По этой причине грунт площадки, используемой для хранения щебня, уплотняется и полностью засыпается специализированным дренирующим шлаком во избежание вероятного контакта с подземными водами.

С технологической точки зрения недопустимо совместное хранение щебня разных фракций. Это станет причиной его перемешивания и приведет к сокращению потребительских свойств. Помимо этого, хранение щебенки крупных фракций с мелким сыпучим щебнем станет причиной того, что его невозможно будет применять в случае осуществления некоторых видов строительных работ.

Складирование материала осуществляется на открытых площадках либо складах. Перед отправкой щебенки на хранение требуется выполнить подготовку места. Важно, чтобы оно было утрамбовано и расчищено. Желательно хранить щебень в крытых помещениях. Это имеет особую

актуальность зимой. Однако иногда желательно хранить щебень на открытой местности.

Щебенку разного размера хранят обособленно друг от друга. Она формируется в кучи с ограничителями (чтобы предотвратить их рассыпание). Зачастую навалом хранят щебень крупных фракций. При меньших размерах материала применяют преимущественно паллетные стеллажи. Они значительно облегчают отгрузку материала, а также контроль над массой щебня каждой отдельно взятой фракции. В подобной ситуации погрузочно-разгрузочное оборудование может свободно передвигаться по складскому помещению. Важно упомянуть о том, что на паллетных стеллажах есть возможность хранения крупных партий сыпучих материалов, поскольку подобные конструкции характеризуются высокими показателями грузоподъемности и прочности.

Обслуживанием склада со щебенкой занимается специально оснащенная техника. Отгрузку осуществляют погрузчики и экскаваторы. Материал загружают по специализированной ленте. При отгрузке происходит потеря щебенки, потому повторное образование кучи осуществляется с применением бульдозера.

Щебень и гравий перевозят навалом в транспортных средствах любого вида согласно действующим правилам перевозки грузов и Техническим условиям погрузки и крепления грузов.

### 2.1. Песок для строительных работ

ГОСТ 26633-2012 «Бетоны тяжелые и мелкозернистые. Технические условия» предъявляет к мелком

Зерна песка, представленные обломками пород, разделяют по генетическим типам:

| Генетический тип | Порода                                    |
|------------------|-------------------------------------------|
| Осадочные        | Известняк, доломит, песчаник, кварц и др. |
| Изверженные:     |                                           |
| - интрузивные    | Гранит, габбро, диорит и др.              |
| - эффузивные     | Базальт, порфирит, диабаз и др.           |
| Метаморфические  | Кварцит, кристаллические сланцы и др.     |

Кроме этого выделяют в песке зерна пород и минералов, относимых к вредным примесям.

К указанным породам и минералам относят: содержащие аморфные разновидности двуокиси кремния (халцедон, опал, кварц и др.); серу; сульфиды (пирит, марказит, пирротин и др.); сульфаты (гипс, ангидрит и др.); слоистые силикаты (слюда, гидрослюда, хлориты и др.); оксиды и гидроксиды железа (магнетит, гетит и др.); апатит; нефелин; фосфорит; галоидные соединения (галит, сильвин и др.); цеолиты; асбест; графит; уголь; горючие сланцы.

Те же навески песка используют для определения формы и характера поверхности зерен песка в соответствии с таблицей 7.11.

Таблица 7.1

| Форма зерен песков |                                       | Характер поверхности зерен |
|--------------------|---------------------------------------|----------------------------|
| природных          | Из отсеков дробления песка            |                            |
| Окатанная          | Близка к кубической или шарообразной  | Гладкая                    |
| Угловатая          | Острые, пластинчатые, угольчатые края | Шероховатая                |

ГОСТ 8736-2014 «Песок для строительных работ. Технические условия» распространяется на природные пески с истинной плотностью зерен от 2,0 до 2,8 г/см<sup>3</sup> и смеси природных песков и песков из отсеков дробления, предназначенные для применения в качестве заполнителей тяжелых, легких, мелкозернистых, ячеистых и силикатных бетонов, строительных растворов, сухих строительных смесей, для устройства оснований и покрытий автомобильных дорог и оснований взлетно-посадочных полос и перронов аэродромов, обочин дорог, производства кровельных и керамических материалов, рекультивации, благоустройства и планировки территорий и других видов строительных работ.

Стандарт не распространяется на пески из отсеков дробления плотных горных пород.

В ГОСТ 8736-2014 «Песок для строительных работ. Технические условия» применены следующие термины:

**Песок:** природный неорганический сыпучий материал с крупностью зерен до 5 мм, образовавшийся в результате естественного разрушения скальных горных пород и получаемый при разработке валунно-гравийно-песчаных, гравийно-песчаных и песчаных месторождений.

**Песок обогащенный:** природный неорганический сыпучий материал с крупностью зерен до 5 мм, с улучшенным зерновым составом и меньшим содержанием пылевидных и глинистых частиц, полученный с использованием специального оборудования.

**Песок фракционированный:** природный неорганический сыпучий материал, разделенный на две или более фракций с использованием специального оборудования.

## 2.2. Технические требования к песку

Песок, обогащенный песок и фракционированный песок должны соответствовать требованиям стандарта ГОСТ 8736-2014 «Песок для строительных работ. Технические условия» и изготавливаться по технологической документации, утвержденной предприятием-изготовителем.

### 1. Основные виды, параметры и размеры

В зависимости от зернового состава и содержания пылевидных и глинистых частиц *песок* подразделяют на два класса: *класс I* и *класс II*.

В зависимости от крупности зерен (модуля крупности) песок **классов I и II** подразделяют **на группы**:

- **песок класса I** - повышенной крупности, крупный, средний и мелкий;
- **песок класса II** - повышенной крупности, крупный, средний, мелкий, очень мелкий, тонкий и очень тонкий.

Каждую группу песка характеризуют **значением модуля крупности  $M_k$** , указанным в таблице 7.6.

Таблица 7.6

| <b>№</b> | <b>Группа песка</b>  | <b>Модуль крупности <math>M_k</math></b> |
|----------|----------------------|------------------------------------------|
| 1        | Повышенной крупности | Св. 3,0 до 3,5                           |
| 2        | Крупный              | Св. 2,5 до 3,0                           |
| 3        | Средний              | Св. 2,0 до 2,5                           |
| 4        | Мелкий               | Св. 1,5 до 2,0                           |
| 5        | Очень мелкий         | Св. 1,0 до 1,5                           |
| 6        | Тонкий               | Св. 0,7 до 1,0                           |
| 7        | Очень тонкий         | до 0,7                                   |

Полный остаток песка на сите N 063 должен соответствовать значениям, указанным в таблице 7.7.

Таблица 7.7

| <b>№</b> | <b>Группа песка</b>  | <b>Полный остаток песка на сите N 063</b> |
|----------|----------------------|-------------------------------------------|
| 1        | Повышенной крупности | Св. 65 до 75                              |
| 2        | Крупный              | Св. 45 до 65                              |
| 3        | Средний              | Св. 30 до 45                              |
| 4        | Мелкий               | Св. 10 до 30                              |
| 5        | Очень мелкий         | До 10                                     |
| 6        | Тонкий               | Не нормируется                            |
| 7        | Очень тонкий         | Не нормируется                            |

**Примечание:** По согласованию предприятия-изготовителя с потребителем в песке класса II допускается отклонение полного остатка на сите N 063 от вышеуказанных не более чем на  $\pm 5\%$ .

Содержание в песке зерен крупностью св. 10; 5 и менее 0,16 мм не должно превышать значений, указанных в таблице 7.8. Для песков, применяемых в составе асфальтобетонных смесей, содержание зерен менее 0,16 мм не нормируется.

| Класс песка | Группа песка          | Содержание зерен крупностью |          |                |
|-------------|-----------------------|-----------------------------|----------|----------------|
|             |                       | Св. 10 мм                   | Св. 5 мм | Менее 0,16 мм. |
| I           | Повышенной крупности, | 0,5                         | 5        | 5              |
|             | крупный и средний     |                             |          |                |
|             | Мелкий                | 0,5                         | 5        | 10             |
| II          | Повышенной крупности  | 5                           | 20       | 10             |
|             | Крупный и средний     | 5                           | 15       | 15             |
|             | Мелкий и очень мелкий | 0,5                         | 10       | 20             |

|  |                       |                |                |
|--|-----------------------|----------------|----------------|
|  | Тонкий и очень тонкий | Не допускается | Не нормируется |
|--|-----------------------|----------------|----------------|

**Обогащенный песок** характеризуют следующими показателями качества:

- модулем крупности;
- зерновым составом;
- содержанием пылевидных и глинистых частиц, в том числе глины в комках.

**Фракционированный песок** может выпускаться следующих фракций (или их смесей):

- св. 2,5 до 5 мм;
- св. 1,25 до 2,5 мм;
- св. 0,63 до 1,25 мм;
- св. 0,315 до 0,63 мм;
- св. 0,16 до 0,315 мм.

Допускается выпуск фракций фракционированного песка других размеров или их смесей в соотношениях, согласованных с потребителем.

Содержание во фракционированном песке зерен размером свыше 5 мм, определяемое по фракции св. 2,5 до 5 мм, не должно превышать 5% по массе.

**Песок, обогащенный песок и фракционированный песок**, предназначенные для применения в качестве заполнителей для бетонов, должны обладать стойкостью к химическому воздействию щелочей цемента.

**Пески не должны содержать** посторонних засоряющих **примесей**.

**Допускается** поставка смесей природного песка и песка из отсевов дробления по ГОСТ 31424 при содержании последнего **не более 20%** по массе, при этом смеси должны соответствовать требованиям настоящего стандарта.

Пескам должна быть дана радиационно-гигиеническая оценка, по результатам которой устанавливают область его применения. Песок в зависимости от значений удельной эффективной активности естественных радионуклидов  $A_{эфф}$  применяют:

- $A_{эфф}$  до 370 Бк/кг - во вновь строящихся жилых и общественных зданиях;
- $A_{эфф}$  св. 370 до 740 Бк/кг - для дорожного строительства в пределах территории населенных пунктов и зон перспективной застройки, а также при возведении производственных зданий и сооружений;
- $A_{эфф}$  св. 740 до 1500 Бк/кг - в дорожном строительстве вне населенных пунктов.

## 2.3. Правила приемки

### 2.4.

Песок, обогащенный песок и фракционированный песок должны быть приняты службой технического контроля предприятия-изготовителя.

Для проверки соответствия качества песка, обогащенного и фракционированного песков требованиям настоящего стандарта проводят приемочный контроль и периодические испытания.

При приемочном контроле определяют:

- зерновой состав;
- содержание пылевидных и глинистых частиц;
- содержание глины в комках;
- наличие засоряющих примесей.

Предприятие-изготовитель должно сопровождать каждую партию поставляемых песков документом о качестве, в котором указывают:

1. Наименование предприятия-изготовителя и его адрес;
2. Номер и дату выдачи документа;
3. Наименование и адрес потребителя;
4. Номер партии, наименование и количество материала;
5. Номера накладных и транспортных средств;
6. Зерновой состав песка, обогащенного песка;
7. Зерновой состав смеси фракций или размер узких фракций (для фракционированного песка);
8. Содержание пылевидных и глинистых частиц, глины в комках;
9. Содержание вредных компонентов и примесей;
10. Наличие засоряющих примесей;
11. Насыпную плотность, пустотность и коэффициент фильтрации (по требованию потребителя) в песке и обогащенном песке;
12. Удельную эффективную активность естественных радионуклидов;
13. Определение морозостойкости песка из отсевов дробления (Морозостойкость песка определяют по потере массы при последовательном замораживании и оттаивании)
13. Обозначение стандарта.

## 2.5. Транспортировка и хранение

***Песок, обогащенный песок и фракционированный песок перевозят*** железнодорожным, водным и автомобильным транспортом в соответствии с правилами перевозки грузов, действующими на транспорте конкретного вида. Сухой фракционированный песок транспортируют в виде отдельных фракций или их смесей специализированным автотранспортом (цементовозами, капсулами и другими средствами транспортирования, обеспечивающими защиту от увлажнения и попадания загрязняющих примесей). Допускаемую влажность песка устанавливает потребитель, при этом диапазон допускаемой влажности должен быть в пределах от 0,1% до 0,5% по массе, если иное значение не указано в других нормативных документах.

***Песок и обогащенный песок хранят*** на складе у изготовителя и потребителя в условиях, предохраняющих их от загрязнения. Сухой фракционированный песок следует хранить в сухих закрытых помещениях или закрытых бункерах (силосах), исключающих попадание влаги и загрязняющих примесей. При отгрузке и хранении песка и обогащенного песка в зимнее время предприятию-изготовителю следует принять меры по предотвращению смерзаемости (перелопачивание, обработка специальными растворами и т.п.).

## Оборудование и материалы

Весы лабораторные электронные, емкость для выдерживания образцов, секундомер, пресс гидравлический, металлическая чашка с водой, измерительная линейка, ртутный лабораторный термометр; шкаф сушильный, посуда лабораторная стеклянная и фарфоровая, весы технические гиревые, штангенциркуль, линейка измерительная металлическая

## Указания по технике безопасности

Перед проведением лабораторных работ все студенты должны пройти инструктаж по технике безопасности и неуклонно соблюдать правила безопасности при работе в лаборатории.

Приступая к выполнению лабораторного задания, необходимо освободить лабораторный стол от ненужных предметов и следить за его чистотой. Для защиты одежды от загрязнений студенты должны пользоваться халатами или брезентовыми фартуками, резиновыми перчатками, холщовыми рукавицами и защитными очками. При работе, связанной с возможной угрозой для безопасности исполнителя, запрещается оставаться в помещении лаборатории одному.

Каждый работающий в лаборатории должен принимать во внимание огнеопасность, токсичность некоторых веществ, возможность образования взрывоопасных смесей.

Студентам запрещается самовольно включать и выключать лабораторное оборудование: гидравлический пресс, сушильный шкаф, электронный влагомер и другие. Нельзя оставлять оборудование и приборы включенными по окончании работы. Работать на лабораторном оборудовании можно только с ведома преподавателя и после ознакомления с инструкцией по работе на данном оборудовании.

## Содержание отчета

Отчет оформляется в рабочей тетради на листах формата А 4 и подшивается в скоросшиватель, заполняются все полученные значения характеристик строительных материалов, а также зарисовываются схемы испытаний, заполняются таблицы и приводятся формулы расчета основных физико-механических показателей материалов.

### Методика и порядок выполнения лабораторной работы 7

**Задание:** охарактеризовать заполнители для тяжелого бетона по крупности частиц и определить их *зерновой состав*. Установить соответствие зернового состава заполнителей для тяжелого бетона требованиям нормативного стандарта ГОСТ ТУ. Определить *насыпную плотность* и *пустотность* заполнителей для бетона.

**Цель:** ознакомиться с понятиями *крупность частиц*, *зерновой состав* и крупного заполнителя *щебня или гравия* и мелкого заполнителя – *песка*.

#### **Задание 1. Определение зернового состава щебня (гравия)**

**Методика:** Зерновой состав щебня (гравия) определяют путем отсева пробы на стандартном наборе сит.

**Оборудование:**

- Весы настольные циферблатные по ГОСТ 29329 или лабораторные по ГОСТ Р 53228-2008
- Шкаф сушильный.
- Сита и проволочные круглые калибры с отверстиями, соответствующими номинальным размерам зерен данной фракции

***Ход выполнения работы***

**Подготовка к испытанию:** Для испытания используют лабораторную пробу высушенную до постоянной массы.

**Проведение испытания:** 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 механическом просеивании его продолжительность для применяемого прибора устанавливают в соответствии с указанным выше условием.

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).

Результаты обрабатывают по аналогии с песком без определения модуля крупности.

Для построения графика зернового состава крупного заполнителя предварительно необходимо определить его наибольшую и наименьшую крупность. Наибольшая крупность  $D$  характеризуется размером отверстий сита, полный остаток на котором еще не превышает 10%, а наименьшая крупность  $d$  – размером отверстий первого из сит по ходу просеивания, полный остаток на котором составляет не менее 95% массы просеиваемой пробы. Зерновой состав смеси фракций от 5 до 20 мм сопоставляют со стандартными требованиями, приведенными.

***Задание 2. Определение зернового состава песка***

**Методика:** Зерновой состав определяют путем рассева песка на стандартном наборе сит.

**Оборудование:**

- Весы по ГОСТ 29329\* или ГОСТ 24104\*.
- Набор сит по ГОСТ 6613 и сита с круглыми отверстиями диаметрами 10; 5, 2,5, 0,63, 0,315, и 0,16 мм.
- Шкаф сушильный.

***Ход выполнения работы***

**Подготовка к испытанию:** Аналитическую пробу песка массой не менее 2000 г высушивают до постоянной массы.

**Проведение испытания:**

Высушенную до постоянной массы пробу песка просеивают через сита с круглыми отверстиями диаметрами 10 и 5 мм.

Остатки на ситах взвешивают и вычисляют содержание в песке фракций гравия с размером зерен от 5 до 10 мм ( $Gp_5$ ) и св. 10 мм ( $Gp_{10}$ ) в процентах по массе по формулам:

$$Gp_{10} \quad Gp_5 = \frac{M_{10}}{M} \cdot 100; \quad M = \frac{M_5}{M} \cdot 100.$$

Где  $M_{10}$  – остаток на сите с круглыми отверстиями диаметром 10 мм, г;

$M_5$  – остаток на сите с круглыми отверстиями диаметром 5 мм, г;

$M$  – масса пробы, г.

Из части пробы песка, прошедшего через сито с отверстиями диаметром 5 мм, отбирают навеску массой не менее 1000 г для определения зернового состава песка.

Просеивание производят механическим или ручным способами. 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 навески. При механическом просеивании его продолжительность для применяемого прибора устанавливают опытным путем.

При ручном просеивании допускается определять окончание просеивания, интенсивно встряхивая каждое сито над листом бумаги. Просеивание считают законченным, если при этом практически не наблюдается падения зерен песка.

**Обработка результатов:**

По результатам просеивания вычисляют:

- частный остаток на каждом сите ( $a_i$ ) в процентах по формуле:

$$a_i = \frac{m_i}{m}$$

где  $m_i$  – масса остатка на данном сите, г;

$m$  – масса просеиваемой навески, г,

- полный остаток на каждом сите ( $A_i$ ) в процентах по формуле:

$$A_i = a_{2,5} + a_{1,25} + \dots + a_i,$$

где  $a_{2,5}$ ,  $a_{1,25}$ ,  $a_i$  – частные остатки на соответствующих ситах;

- модуль крупности песка ( $M_k$ ) без зерен размером крупнее 5 мм по формуле:

$$M_k = \frac{A_{2,5} + A_{1,25} + A_{0,63} + A_{0,315} + A_{0,16}}{100},$$

где  $A_{2,5} + A_{1,25} + A_{0,63} + A_{0,315} + A_{0,16}$  – полные остатки на сите с круглыми отверстиями диаметром 2,5 мм и на ситах с сетками N 1,25; 063; 0315; 016, %.

Результат определения зернового состава песка оформляют в соответствии с табл. или изображают графически в виде кривой просеивания согласно черт.

Таблица 7.7 – Результаты просеивания песка

| Показатели,<br>размерность | Размеры отверстий сит, мм |           |            |            |             |            | Проход через<br>сито 0,16 |
|----------------------------|---------------------------|-----------|------------|------------|-------------|------------|---------------------------|
|                            | 5                         | 2,5       | 1,25       | 0,63       | 0,315       | 0,16       |                           |
| Остатки частные ш, г       |                           |           |            |            |             |            |                           |
| Остатки частные а, %       | $a_5$                     | $a_{2,5}$ | $a_{1,25}$ | $a_{0,63}$ | $a_{0,315}$ | $a_{0,16}$ | $a_{0,08}$                |
| Остатки полные А, %        | $A_5$                     | $A_{2,5}$ | $A_{1,25}$ | $A_{0,63}$ | $A_{0,315}$ | $A_{0,16}$ | -                         |

Кривая просеивания



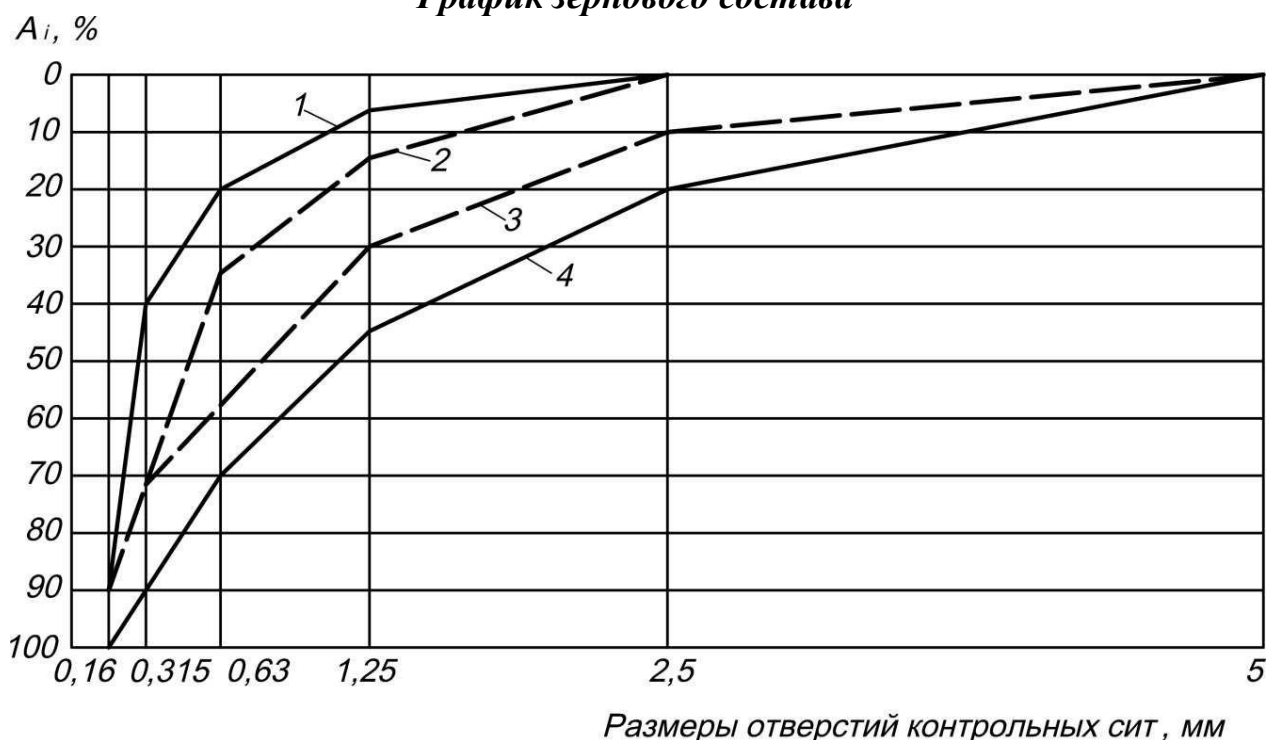
Из таблицы классификация песков по зерновому составу, пригодных для использования в тяжелом бетоне выбираем группу песка и его водопотребность и строим график фактического зернового состава песка.

Таблица 7.8 – Классификация песков по зерновому составу, пригодных для использования в тяжелом бетоне

| Группа песка            | Модуль<br>крупности | Полный остаток<br>на сите № 0,63,<br>% по массе | Водопотребность<br>песка, % |
|-------------------------|---------------------|-------------------------------------------------|-----------------------------|
| Повышенной<br>крупности | Св. 3,0 до 3,5      | Св. 65 до 75                                    | 5 ... 4                     |
| Крупный                 | Св. 2,5 до 3,0      | Св. 45 до 65                                    | 6 ... 5                     |

|         |                |              |          |
|---------|----------------|--------------|----------|
| Средний | Св. 2,0 до 2,5 | Св. 30 до 45 | 8 ... 6  |
| Мелкий  | Св. 1,5 до 2,0 | Св. 10 до 30 | 10 ... 8 |

**График зернового состава**



1 – допускаемая нижняя граница крупности песка (МК=1,5);  
 2 – рекомендуемая нижняя граница крупности песка (МК=2,0) для бетонов класса В15 и выше;  
 3 – рекомендуемая нижняя граница крупности песка (МК=2,5) для бетонов класса В25 и выше;  
 4 – допускаемая верхняя граница крупности песка (МК=3,25)  
 Делаем **вывод** о возможности использования песка в качестве заполнителя для тяжелого бетона.

### **Задание 3. Определение насыпной плотности и пустотности щебня (гравия)**

**Методика:** Насыпную плотность щебня (гравия) определяют взвешиванием определенного объема щебня (гравия) данной фракции (или смеси фракций), высушенного до постоянной массы по ГОСТ 8269.0-97.

#### **Оборудование:**

- Весы настольные циферблатные по ГОСТ 29329 или лабораторные по ГОСТ 24104.
- Шкаф сушильный.
- Цилиндры мерные по таблице 7.3 Порядок подготовки и проведения испытания.

### **Ход выполнения работы**

#### **Порядок подготовки и проведения 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 (гравия) применяют цилиндры в соответствии с таблицей 7.9.

Таблица 7.9 – Зависимость объема цилиндра от фракции щебня (гравия), мм

| 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                      |

Насыпную плотность щебня (гравия), кг/м<sup>3</sup>, определяют с точностью до 10 кг/м<sup>3</sup> по формуле:

$$\rho_n = \frac{m_1 - m}{V}$$

где  $m$  – масса мерного цилиндра, кг;

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

$V$  – объем мерного цилиндра, м<sup>3</sup>.

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

За результат принимают среднеарифметическое значение двух параллельных испытаний.

**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

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

Примечание - В зависимости от назначения щебня (гравия) пустотность его можно определить в уплотненном состоянии, подставив в формулу насыпную плотность в уплотненном состоянии.

#### ***Задание 4. Определение насыпной плотности и пустотности сухого песка и определение насыпной и уплотненной плотности влажного песка***

**Методика:** Насыпную плотность определяют путем взвешивания песка в мерных сосудах по ГОСТ 8735-88 «Песок для строительных работ. Методы испытаний»

##### **Оборудование:**

Весы по ГОСТ 29329, ГОСТ 24104 или платформенные весы.

- Сосуды мерные цилиндрические металлические вместимостью 1 дм<sup>3</sup> (диаметр и высота 108 мм) и вместимостью 10 дм<sup>3</sup> (диаметр и высота 234 мм).
- Шкаф сушильный.
- Линейка металлическая по ГОСТ 427.
- Сито с круглыми отверстиями диаметром 5 мм.

#### ***Ход выполнения работы***

##### **Порядок подготовки и проведения испытания**

При определении насыпной плотности в стандартном неуплотненном состоянии при входном контроле испытания проводят в мерном цилиндрическом сосуде вместимостью 1 дм<sup>3</sup>, используя около 5 кг песка, высушенного до постоянной массы и просеянного через сито с круглыми отверстиями диаметром 5 мм.

При определении насыпной плотности песка в партии для перевода количества поставляемого песка из единиц массы в объемные единицы при приемочном контроле испытания проводят в мерном цилиндрическом сосуде вместимостью 10 дм<sup>3</sup>. Песок испытывают в состоянии естественной влажности без просеивания через сито с отверстиями диаметром 5 мм.

При определении насыпной плотности песка в стандартном неуплотненном состоянии песок насыпают совком в предварительно взвешенный мерный цилиндр с высоты 10 см от верхнего края до образования над верхом цилиндра конуса. Конус без уплотнения песка снимают вровень с краями сосуда металлической линейкой, после чего сосуд с песком взвешивают.

При определении насыпной плотности песка в партии для перевода количества поставляемого песка из единиц массы в объемные единицы песок насыпают совком в предварительно взвешенный мерный цилиндр с высоты 100 см от верхнего края цилиндра до образования над верхом цилиндра конуса. Конус без уплотнения песка снимают вровень с краями сосуда металлической линейкой, после чего сосуд с песком взвешивают.

Насыпную плотность песка ( $\rho_H$ ) в кг/м<sup>3</sup> вычисляют по формуле:

$$\rho_{\text{H}} = \frac{m_1 - m}{V} \cdot 100$$

где  $m$  – масса мерного сосуда, г.

$m_1$  – масса мерного сосуда с песком, г.

$V$  – вместимость сосуда, м<sup>3</sup>.

Определение насыпной плотности песка проводят два раза, при этом каждый раз берут новую порцию песка.

*Определение насыпной плотности влажного песка проводят с помощью изменения количества воды в массе сухого материала. Для значений влажности 5, 10, 15 и 20 %. Определение уплотненной плотности находят путем уплотнения 20 % влажного песка на виброплите(виброплощадке).*

Влажность определяют путем сравнения массы песка в состоянии естественной влажности и после высушивания. Навеску массой 1000 г песка насыпают в противень и сразу же взвешивают, а затем высушивают в этом же противне до постоянной массы.

Влажность песка (W) в процентах вычисляют по формуле:

$$W = \frac{m - m_1}{m_1} \cdot 100$$

где  $m$  – масса навески в состоянии естественной влажности, г.

$m_1$  – масса навески в сухом состоянии, г.

### ***Задание 5. Определение дробимости щебня (гравия)***

**Методика:** Дробимость щебня (гравия) определяют по степени разрушения зерен при сжатии (раздавливании) в цилиндре по ГОСТ 8269.0-97 «Щебень и гравий из плотных горных пород и отходов промышленного производства для строительных работ. Методы физико-механических испытаний»

Прочность щебня и гравия характеризуют маркой по дробимости при сжатии (раздавливании) в цилиндре.

#### **Оборудование:**

- Пресс гидравлический с максимальным усилием до 500 кН по ГОСТ 28840.
- Цилиндры стальные с внутренними диаметрами 75 и 150 мм и высотой соответственно 75 и 150 мм со съемным дном и плунжером (рисунок 4).
- Дробилка щековая лабораторная марки ДЛЩ 60х100.
- Весы настольные циферблатные по ГОСТ 29329 или лабораторные по ГОСТ 24104.
- Сита из стандартного набора
- Шкаф сушильный.

### ***Ход выполнения работы***

#### **Порядок подготовки и проведения испытания**

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.

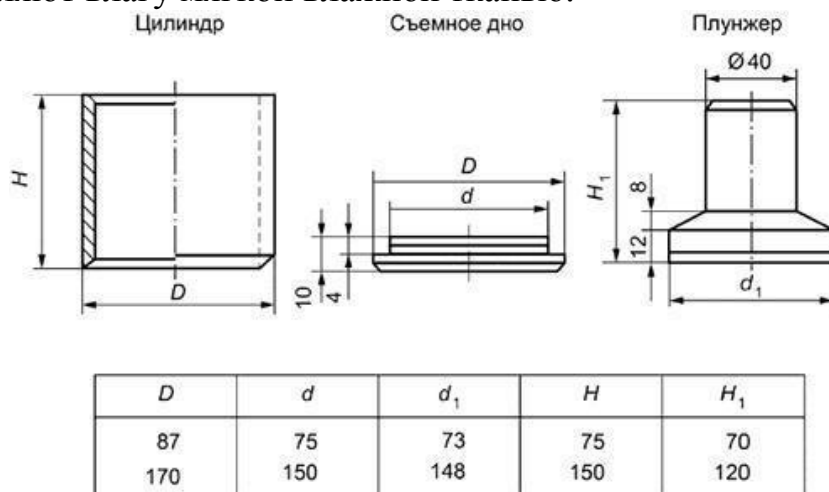


Рисунок 7.1 – Цилиндры стальные

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

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 пресса.

Увеличивая силу нажатия пресса 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  | для щебня (гравия) размером фракции | От 10 до 20 мм |
| 5,0 мм  | для щебня (гравия) размером фракции | От 20 до 40 мм |

Остаток щебня (гравия) на сите после просеивания взвешивают.

Дробимость  $D_r, \%$ , определяют с точностью до 1% по формуле:

$$D = \frac{m - m_1}{m} \cdot 100$$

$$\frac{P}{m}$$

где –  $m$  масса испытываемой 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.

### Контрольные вопросы

1. Для чего используется песок в строительстве?
2. Зависит ли прочность бетона от количества песка?
3. Существуют ли способы, которые позволяют определить, качественный песок или нет(в лаборатории или визуально)?
4. Можно ли визуально различить качество песка?
5. Как используется в строительстве щебень?
6. Могут ли песок и щебень друг друга заменять?
7. Как отличить гравий от щебня гравийного. В чем разница?
8. Заполнители для бетона (песок, щебень, гравий). Основные требования к качеству. Особенности применения
9. Какие требования предъявляются к воде?
10. Что такое крупность зерен, зерновой состав для чего они необходимы?
11. Назовите керамические заполнители для бетона?

## ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА 5

### Приготовление бетонной смеси и изготовление стандартных образцов

**Цель работы:** научиться приготавливать бетонную смесь, чтобы получить бетон требуемой прочности, морозостойкости и долговечности, а бетонную смесь – заданной удобоукладываемости при рациональном (оптимальном) соотношении компонентов. в соответствии с стандартом ГОСТ 7473–2010 «Смеси бетонные. Технические условия»

#### Теоретическая часть

**Бетонная смесь** — 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 качества — бетонная смесь, требуемые свойства и дополнительные характеристики которой задаются производителю, несущему ответственность за обеспечение этих требуемых свойств и дополнительных характеристик.

**Бетон** — это искусственный каменный строительный материал, получаемый в результате затвердевания рационально подобранной, тщательно перемешанной и уплотненной смеси, состоящей из вяжущего вещества, заполнителей, воды и добавок. До момента укладки эта смесь называется **бетонной смесью**, после укладки и уплотнения — **свежеуложенным бетоном**, после затвердевания — **бетоном**.

Бетон является универсальным долговечным материалом при условии, что компоненты и его состав подобраны с учетом условий эксплуатации конструкции. Несоблюдение этого правила может привести к преждевременному разрушению бетона. Например, бетоны на портландцементе оказываются нестойкими в морской и пресной проточной воде, сильно засоленных грунтах, на ряде промышленных предприятий. Находящиеся в окружающей среде соли, кислоты и щелочи взаимодействуют с продуктами гидратации цемента и постепенно разрушают цементный камень.

**Бетонная смесь заданного качества** — бетонная смесь, требуемые свойства и дополнительные характеристики которой задаются производителю, несущему ответственность за обеспечение этих требуемых свойств и дополнительных характеристик.

**Бетонная смесь заданного состава** — бетонная смесь, состав которой и используемые при ее приготовлении компоненты задаются производителю, несущему ответственность за обеспечение этого состава.

**Удобоукладываемость** — свойство бетонной смеси заполнять форму при определенном способе уплотнения, сохраняя при этом свою однородность. Характеризуется подвижностью и жесткостью

**Подвижность бетонной смеси (см)** — способность смеси расплываться под действием собственной массы.

**Жесткость бетонной смеси (с)** — время вибрирования, необходимое для выравнивания и уплотнения предварительно отформованного конуса бетонной смеси в стандартном приборе.

В соответствии с ГОСТ 7473–2010 технические требования к бетонным смесям предъявляются по показателям:

1. Удобоукладываемости;
2. Средней плотности;
3. Пористости;
4. Расслаиваемости;
5. Температуре;
6. Сохраняемости свойств во времени.

### **Классификация бетонных смесей**

Классификация бетонных смесей согласно ГОСТ 7473-2010:

1. По типу бетона:
  - бетонные смеси тяжелого бетона (БСТ);
  - бетонные смеси мелкозернистого бетона (БСМ);
  - бетонные смеси легкого бетона (БСЛ).
2. По удобоукладываемости бетона:
  - Жесткие (Ж) – по показателю жесткости;
  - Подвижные (П) – по осадке конуса;
  - Растекающиеся (Р) – по расплыву конуса.

### **Условные обозначения бетонных смесей по ГОСТ 7473-2010**

Условное обозначение бетонных смесей включает: сокращенное обозначение бетонной смеси в соответствии с типом бетона, класс бетона по прочности, марку бетонной смеси по удобоукладываемости и, при необходимости, другие нормируемые показатели качества, например, марки по морозостойкости, марки по водонепроницаемости, средней плотности бетона и др., и обозначение стандарта.

#### **Примеры условных обозначений:**

1. Бетонная смесь тяжелого бетона класса по прочности В25, марки по удобоукладываемости П1, марок бетона по морозостойкости F200 и водонепроницаемости W4:

***БСТ В25 П1 F200 W4 ГОСТ 7473–2010***

2. Бетонная смесь мелкозернистого бетона класса по прочности В30, марки по удобоукладываемости П41, марок бетона по морозостойкости F300 и водонепроницаемости W8:

***БСМ В30 П4 F300 W8 ГОСТ 7473–2010***

3. Бетонная смесь тяжелого бетона класса по прочности на сжатие В25 с минимальной требуемой прочностью бетона 33 МПа, марки по удобоукладываемости П1, с осадкой конуса 3 см, марок бетона по морозостойкости F200 и водонепроницаемости W4:

***БСТ В25 (RT  $m \geq 33$  МПа) П1 (ОК 3 см) F200 W4 ГОСТ 7473–2010***

4. Бетонная смесь легкого бетона класса по прочности 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***

В настоящих методических указаниях рассматривается методика подбора состава тяжелого бетона на цементах на основе портландцементного клинкера и плотных заполнителях – наиболее распространенного в современном строительстве, твердеющего в естественных условиях.

Бетон имеет неоднородное, конгломератное строение. На плоскости разреза бетона хорошо видны невооруженным глазом зерна крупного и мелкого заполнителя на фоне цементного камня, скрепляющего эти зерна. Изменяя крупность, форму зерен и соотношение крупного и мелкого заполнителей, расход цемента и воды, можно получать бетоны, значительно различающиеся по свойствам – прочности, морозостойкости, водонепроницаемости, трещиностойкости, усадке. Оптимальным для конкретных условий эксплуатации является состав бетона, удовлетворяющий техническим требованиям строительства и обладающий вместе с тем наименьшей стоимостью. Наиболее дорогостоящим компонентом бетона является цемент. Поэтому стремятся подобрать такой состав бетонной смеси, который обеспечивает получение бетона с минимальным расходом цемента. Кроме того, бетон должен обладать необходимой однородностью свойств и их стабильностью во времени. Отсюда следует, что определение состава бетона является важной технико-экономической задачей.

Правила подбора, назначения и выдачи в производство состава конструкционного тяжелого бетона для сборных бетонных и железобетонных изделий и монолитных конструкций содержатся в ГОСТ 27006–86.

***Задание на определение состава*** должно содержать требуемые показатели качества бетонной смеси и бетона для конкретной конструкции и условия ее эксплуатации, данные о режиме изготовления и твердения бетона, ограничения по составу бетона и качеству материалов, а также характеристики материалов, используемых для приготовления бетона.

***Подбор состава бетона включает:*** определение номинального состава, расчет и корректировку рабочего состава, расчет и передачу в производство рабочих дозировок.

***Номинальный состав*** бетона подбирают при организации производства новых видов конструкций, изменении нормируемых показателей качества бетона или бетонной смеси, технологии производства, характеристик применяемых материалов.

Подбор номинального состава бетона включает:

1. Выбор и определение характеристик исходных материалов;
2. Расчет начального состава;
3. Расчет дополнительных составов бетона с параметрами составов, отличающихся от принятых в начальном составе в большую и меньшую сторону на 15...30 % (варьируется цементно-водное отношение, соотношение крупного и мелкого заполнителей, расход добавок);
4. Изготовление пробных замесов начального и дополнительных составов, испытание бетонной смеси, изготовление образцов и их испытание по всем показателям качества;
5. Обработка полученных результатов с установлением зависимостей, отражающих влияние параметров состава на нормируемые показатели качества бетонной смеси и бетона;
6. Назначение номинального состава бетона, обеспечивающего получение бетонной смеси и бетона требуемого качества при минимальном расходе вяжущего.

Состав бетона подбирают исходя из **требуемой прочности** – минимально допустимого среднего значения прочности бетона в партии изделий, соответствующего нормируемой прочности бетона при её фактической однородности. Для определения требуемой прочности бетона необходимо знать нормируемую прочность бетона 5 (класс бетона, установленный проектом) и фактический коэффициент вариации прочности. В случае, если данные о фактической однородности прочности бетона отсутствуют, средний уровень прочности принимают равным требуемой прочности бетона данного класса при нормативном коэффициенте вариации (для тяжелого бетона – 13,5%).

**Рабочие составы** бетона назначают при переходе на новый номинальный состав и далее при поступлении новых партий материалов тех же видов и марок, которые принимались при подборе номинального состава, с учетом их фактического качества. Корректировку рабочего состава производят, если по данным входного контроля качества заполнителей и операционного контроля производства установлено изменение качества материалов или качества получаемой бетонной смеси, а также в случае, если фактическая прочность бетона оказывается ниже требуемой.

**Рабочую дозировку** назначают по рабочему составу бетонной смеси с учетом объема приготавливаемого замеса.

Далее в производственных условиях определяют фактическую однородность прочности бетона и устанавливают требуемую прочность бетона при фактическом коэффициенте вариации согласно ГОСТ 18105–2010. При их несоответствии принятым значениям производят корректировку номинального и рабочего составов.

## **Оборудование и материалы**

Весы лабораторные электронные, эксикатор, прибор (колба) Ле Шателье, ртутный лабораторный термометр; шкаф сушильный, посуда лабораторная стеклянная и фарфоровая, сито с размером ячеек 0,2 мм., весы технические гиревые, штангенциркуль, линейка измерительная металлическая, стандартная воронка для определения насыпной плотности материалов, мерный сосуд вместимостью 1 л, образцы строительных материалов.

## **Указания по технике безопасности**

Перед проведением лабораторных работ все студенты должны пройти инструктаж по технике безопасности и неуклонно соблюдать правила безопасности при работе в лаборатории.

Приступая к выполнению лабораторного задания, необходимо освободить лабораторный стол от ненужных предметов и следить за его чистотой. Для защиты одежды от загрязнений студенты должны пользоваться халатами или брезентовыми фартуками, резиновыми перчатками, холщовыми рукавицами и защитными очками. При работе, связанной с возможной угрозой для безопасности исполнителя, запрещается оставаться в помещении лаборатории одному.

Каждый работающий в лаборатории должен принимать во внимание огнеопасность, токсичность некоторых веществ, возможность образования взрывоопасных смесей.

Студентам запрещается самовольно включать и выключать лабораторное оборудование: гидравлический пресс, сушильный шкаф, электронный влагомер и другие. Нельзя оставлять оборудование и приборы включенными по окончании работы. Работать на лабораторном оборудовании можно только с ведома преподавателя и после ознакомления с инструкцией по работе на данном оборудовании.

## **Содержание отчета**

Отчет оформляется в рабочей тетради на листах формата А 4 и подшивается в скоросшиватель, заполняются все полученные значения характеристик строительных материалов, а также зарисовываются схемы испытаний, заполняются таблицы и приводятся формулы расчета основных физио-механических показателей материалов.

## МЕТОДИКА ВЫПОЛНЕНИЯ ЛАБОРАТОРНОЙ РАБОТЫ

### Приготовление бетонной смеси и определение ее марки по подвижности, жесткости и растекаемости

**Задание:** приготовить бетонную смесь заданной марки по прочности и определить ее марку по подвижности, жесткости и растекаемости; изготовить стандартные образцы-кубы из тяжелого бетона для испытаний.

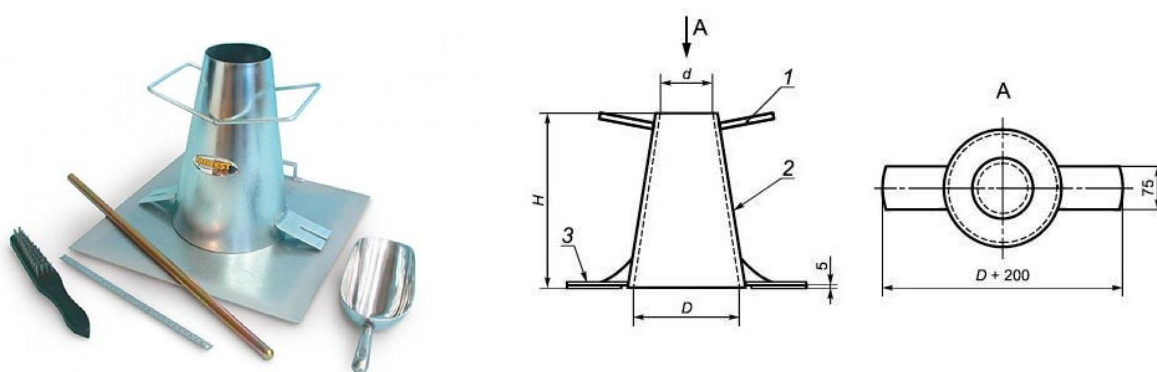
**Цель:** ознакомиться с понятиями *марка по прочности, подвижности, жесткости, растекаемости*.

#### Задание 1. Определение подвижности бетонной смеси по ГОСТ 10181–2014

**Сущность метода:** определение осадки стандартного конуса (см), отформованного из бетонной смеси.

##### Средства контроля и вспомогательное оборудование:

- конус стандартный нормальный (конус Абрамса)  
 $d \times D \times H = 100 \times 200 \times 300$  мм;
- воронка;
- стальной лист  $1000 \times 1000$  мм;
- конус стандартный увеличенный  $150 \times 300 \times 450$  мм;
- металлический стержень  $d \times L = 16 \times 600$  мм;
- алюминиевый совок  $V \sim 0,5$  л;
- кельма;
- секундомер;
- линейка.



**а**

**б**

Рисунок 8.1 – Стандартный конус (конус Абрамса):

а – внешний вид прибора; б – схема прибора:

1 – ручка; 2 – корпус; 3 – упоры

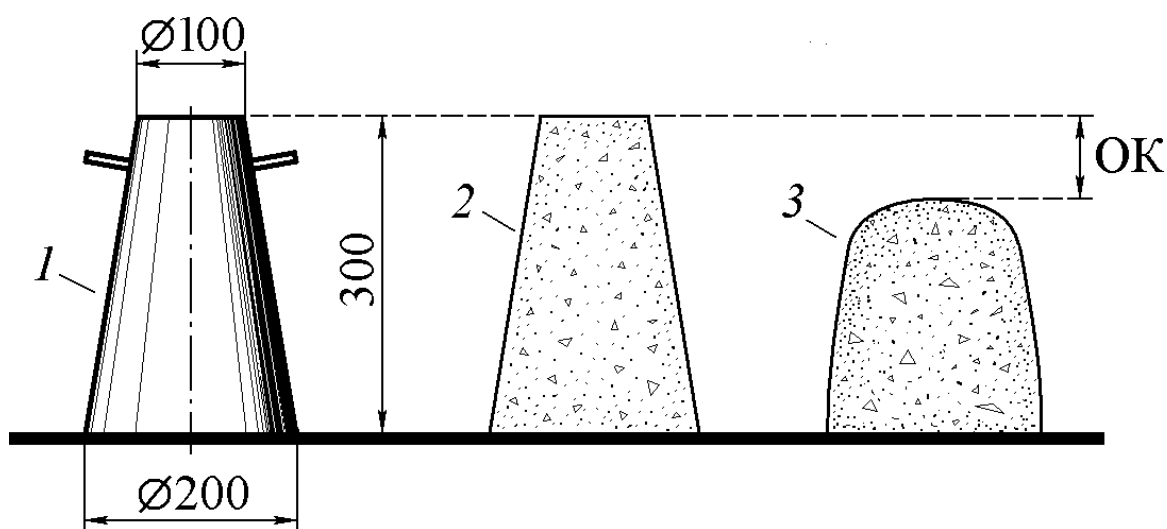


Рисунок 8.2 – Определение удобоукладываемости бетонной смеси:

1 – конус Абрамса; 2 – жесткая бетонная смесь ( $OK=0$ );

3 – подвижная бетонная смесь ( $OK>0$ )

Таблица 8.1 – Марки бетонной смеси по осадке конуса по ГОСТ

| Марка | Осадка конуса, см. |
|-------|--------------------|
| П1    | 1-4                |
| П2    | 5-9                |
| П3    | 10-15              |
| П4    | 16-20              |
| П5    | $\geq 20$          |

### **Задание 2. Определение жесткости бетонной смеси по ГОСТ 10181–2014**

**Сущность метода:** определение времени вибрирования (с), необходимого для выравнивания бетонной смеси и появления цементного теста в отверстиях прибора.

Для определения жесткости бетонной смеси применяют следующие методы: *метод Вебе*, *метод Красного*, *метод Скрамтаева*.

#### **Средства контроля и вспомогательное оборудование:**

- по методу Вебе: установка Вебе (рисунок 8.3), состоящая из стального цилиндра, конуса, воронки, а также штанги с диском с отверстиями, прикрепленной к основанию прибора;
- по методу Красного: прибор Красного, представляющий собой стальной диск с шестью отверстиями  $d = 10$  мм, усеченным конусом и ножками (рисунок 8.3, б); воронка; формы: ФК–150, ФК–200;
- по методу Скрамтаева: усеченный конус  $d \times D \times H = 100 \times 194 \times 300$  мм (рисунок 8.3, в); воронка; форма ФК–200;
- а также для всех методов: виброплощадка; металлический стержень  $d \times L = 16 \times 600$  мм; кельма; секундомер.



Рисунок 8.3 – Определение жесткости бетонной смеси:  
а – прибор Вебе; б – прибор Красного;  
в – прибор Скрамтаева

Таблица 8.2 – Определение Марки жесткости бетонной смеси по ГОСТ

| Марка | Жесткость, с |
|-------|--------------|
| Ж1    | 5-10         |
| Ж2    | 11-20        |
| Ж3    | 21-30        |
| Ж4    | 34-50        |
| Ж5    | >50          |

### ***Задание 3. Определение распыла бетонной смеси по ГОСТ 10181–2014***

**Сущность метода:** измерение распыла конуса бетонной смеси под действием собственного веса и динамических воздействий.

**Средства контроля и вспомогательное оборудование:**

Встряхивающий столик 700x700 мм; стандартный усеченный конус  $d \times D \times H = 130 \times 200 \times 200$  мм; уплотняющий брус; кельма; совок; линейка; секундомер.

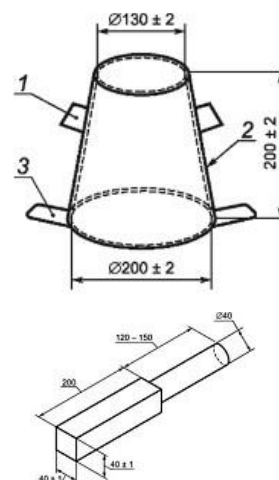


Рисунок 8.4 – Прибор для определения растекаемости бетонной смеси  
а – внешний вид прибора; б – схема конуса и уплотняющего бруса:

1 – ручка; 2 – корпус; 3 – упоры

Таблица 8.3 – Определение Марки по расплыву конуса по ГОСТ

| Марка | Расплыв конуса, см |
|-------|--------------------|
| P1    | <35                |
| P2    | 35-41              |
| P3    | 42-48              |
| P4    | 49-55              |
| P5    | 56-62              |

### Контрольные вопросы

1. Что называют бетоном?
2. Дайте классификацию бетонов в соответствии с ГОСТ 25192-2012.
3. Что такое класс бетона по прочности? Как его определить?
4. Как определить прочность бетона разрушающим методом?
5. Рассчитайте класс бетона по прочности, если при испытании двух серий по 15 образцов среднее значение прочности бетона составило 24 МПа, а коэффициент вариации 12%.
6. Определите требуемую прочность бетона при нормативном коэффициенте вариации ( $K_T=1,3$ ), если проектный класс бетона В25.
7. Как выбрать вид и марку цемента для бетона?
8. Какие технические требования предъявляются к заполнителям для тяжелого бетона? Как оценить зерновой состав заполнителей для бетона?
9. Что называют бетонной смесью?
10. Каковы основные технические свойства бетонных смесей?
11. Как определить удобоукладываемость бетонной смеси по показателям подвижности и жесткости? Каким образом регулируется удобоукладываемость бетонной смеси?
12. В чем заключается закон прочности бетона? Приведите формулы, графики.
13. Тяжёлый бетон имеет следующий состав: портландцемент ПЦ 400-Д0 – 260 кг, вода – 170 кг, песок – 680 кг, щебень – 1290 кг. Заполнители рядового качества. Определите прочность бетона в возрасте 28 сут нормального твердения.
14. Запишите уравнение абсолютных объёмов. В чём заключается его физический смысл?
15. Запишите уравнение заполнения пустот крупного заполнителя цементно-песчаным раствором. В чём заключается его физический смысл?
16. Приведите последовательность расчета начального состава бетона. Чем лабораторный состав бетона отличается от рабочего состава?
17. Как определить общую пористость бетона?
18. Какие производственные факторы влияют на качество бетона?
19. Какие существуют способы ускорения твердения бетона?

20. При испытании бетонных образцов в возрасте 28 суток среднее значение прочности бетона оказалось 27 МПа. Определите ожидаемую прочность бетона в возрасте 60 суток нормального твердения.

## ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА 6

### Бетон. Железобетон. Классы и марки бетонов

**Цель работы:** изучение определений, классификаций бетонных смесей, знакомство с техническими требованиями, предъявляемыми к бетонным смесям, а также с условными обозначениями в соответствии с стандартом ГОСТ 7473–2010 «Смеси бетонные. Технические условия»

#### Теоретическая часть

**Бетонная смесь** — 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 качества — бетонная смесь, требуемые свойства и дополнительные характеристики которой задаются производителю, несущему ответственность за обеспечение этих требуемых свойств и дополнительных характеристик.

**Бетон** — это искусственный каменный строительный материал, получаемый в результате затвердевания рационально подобранной, тщательно перемешанной и уплотненной смеси, состоящей из вяжущего вещества, заполнителей, воды и добавок. До момента укладки эта смесь называется **бетонной смесью**, после укладки и уплотнения — **свежеуложенным бетоном**, после затвердевания — **бетоном**.

Бетон является универсальным долговечным материалом при условии, что компоненты и его состав подобраны с учетом условий эксплуатации конструкции. Несоблюдение этого правила может привести к преждевременному разрушению бетона. Например, бетоны на портландцементе оказываются нестойкими в морской и пресной проточной воде, сильно засоленных грунтах, на ряде промышленных предприятий. Находящиеся в окружающей среде соли, кислоты и щелочи взаимодействуют с продуктами гидратации цемента и постепенно разрушают цементный камень.

*Основными свойствами бетона являются **прочность, деформативные свойства, водонепроницаемость, морозостойкость, стойкость к химической и другим видам коррозии.***

Прочность бетона характеризуют **классами по прочности на сжатие, прочностью на изгиб, прочностью на растяжение**. Основная характеристика прочности тяжелого бетона — это **класс по прочности на сжатие**, который определяется величиной гарантированной прочности на сжатие с обеспеченностью 95 % образцов бетона базового размера (кубов с ребром 15х15х15 см) в возрасте 28 суток после твердения в нормальных условиях (температура 20±2 °С, относительная влажность среды 95±5 %).

По показателям качества бетоны подразделяют (ГОСТ 26633):

1. по прочности:
  - на классы прочности на сжатие: B3,5; B5; B7,5; ... B100; B110; B120.
  - на классы прочности на осевое растяжение: B<sub>t</sub>0,8; B<sub>t</sub>1,2; B<sub>t</sub>1,6; ... B<sub>t</sub>4,4; B<sub>t</sub>4,8.
  - на классы прочности на растяжение при изгибе: B<sub>tb</sub>0,4; B<sub>tb</sub> 0,8; ... B<sub>tb</sub> 9,6; B<sub>tb</sub> 10,0. (Для тяжелых бетонов, применяемых в строительстве дорог и аэродромов)
  - по морозостойкости: F50; F75; .... F800; F1000.
  - по водонепроницаемости на марки: W2, W4, .... W18, W20.
  - по истираемости при испытании на круге истирания на марки: G1, G2, G3.

На производстве контролируют среднюю прочность бетона на сжатие или марку бетона по прочности на сжатие. Соотношение между классом бетона по прочности на сжатие и его средней прочностью на сжатие выражается уравнением

$$B = R \cdot (1 - 1,64 \cdot v),$$

где B – класс бетона по прочности на сжатие, МПа; R – средняя прочность на сжатие, МПа; 1,64 – значение коэффициента Стьюдента для обеспеченности (уровня доверительной вероятности) 95 %; v – коэффициент вариации прочности бетона на производстве (в долях единицы).

Для перехода от класса бетона к средней прочности, контролируемой на производстве, при нормативном коэффициенте вариации (13,5 %) используют формулу  $R = B / 0,778$ . Например, для класса B 5 получим среднюю прочность 6,43 МПа, а для класса B 40 – 51,4 МПа.

Средняя прочность бетона на сжатие на производстве характеризуется марками по прочности на сжатие (в десятых долях МПа ( $\text{кгс/см}^2$ )) – М50, М75, ... М500, М600 и выше.

Прочность бетона зависит в основном от прочности (активности) цемента, качества заполнителей, водоцементного отношения В/Ц, времени и условий твердения. Прочность бетона повышается с увеличением прочности цемента, улучшением качества заполнителей, уменьшением водоцементного отношения.

Зависимость прочности бетона от водоцементного отношения вытекает из физической сущности формирования структуры цементного камня и бетона и отражает по существу зависимость прочности бетона от его пористости. Указанная зависимость выполняется лишь в определенных пределах. При очень низких В/Ц не удастся получить удобоукладываемые бетонные смеси и их уплотнить, поэтому с уменьшением В/Ц ниже определенного предела, зависящего от эффективности уплотнения смеси, прочность бетона резко падает. Для определения состава бетона применяют зависимость прочности бетона от цементно-водного отношения Ц/В (обратной величины В/Ц), которая для уплотненных смесей в определенном диапазоне изменения Ц/В является прямолинейной.

Путем обобщения опытных данных получены две эмпирические формулы, отражающие зависимости прочности бетона от указанных выше факторов:

а) для обычного бетона при  $B/C \geq 0,4$  ( $C/B \leq 2,5$ )

$$R_6 = A \cdot R_u (C/B - 0,5);$$

б) высокопрочного бетона при  $B/C < 0,4$  ( $C/B > 2,5$ )

$$R_6 = A_1 \cdot R_u (C/B + 0,5),$$

где  $R_6$  – прочность бетона в возрасте 28 суток после твердения при нормальных условиях, МПа;  $A$  и  $A_1$  – коэффициенты, зависящие от качества заполнителей;  $R_u$  – активность цемента, МПа.

Со временем при благоприятных условиях твердения прочность бетона растет. Для ее ориентировочного определения в разном возрасте бетона используют формулу

$$R_n = R_{28} \frac{\lg n}{\lg 28},$$

где  $R_n$ ,  $R_{28}$  – пределы прочности бетона на сжатие в возрасте  $n$  и 28 суток.

Эта формула дает удовлетворительные результаты при  $n > 3$  суток для бетонов, приготовленных на рядовых портландцементов и твердеющих при температуре 15 – 20°C во влажной среде.

Высыхание бетона приводит к прекращению твердения, поэтому для набора его прочности требуется достаточная **влажность** окружающей среды (или принятие мер по предотвращению испарения влаги из бетона). При понижении температуры окружающей среды прочность бетона нарастает медленнее, чем при нормальной. При замерзании бетона его твердение прекращается, при этом замерзание в раннем возрасте вызывает резкое снижение прочности после оттаивания, что недопустимо. Повышение температуры среды по сравнению с нормальной активизирует взаимодействие цемента с водой и рост прочности бетона. На этом основан способ ускорения твердения бетона с помощью тепловой обработки при условии сохранения влажности окружающей среды.

Среди деформативных свойств бетона выделяют усадку, деформации при кратковременном и длительном (ползучесть) нагружениях, температурные деформации. **Усадка бетона** – это уменьшение его объема за счет действия капиллярных и молекулярных сил, проявляющееся со временем при недостаточной влажности среды, способствующей высыханию бетона. При твердении в воде или во влажных условиях усадка резко уменьшается. Быстрое высыхание бетона, особенно в раннем возрасте, приводит к значительной и неравномерной усадке, что вызывает появление усадочных трещин и ухудшение всех качественных показателей материала.

**Водонепроницаемость бетона** зависит от его пористости и ее характера. Бетон мелкопористой структуры, тщательно уплотненный и

затвердевший, обладает определенной водонепроницаемостью в слоях достаточной толщины. Для бетонов конструкций, к которым предъявляются требования ограничения проницаемости или повышенной плотности и коррозионной стойкости, назначают марки по водонепроницаемости. Эта характеристика определяется специальными испытаниями и показывает, до какого давления воды (в десятых долях МПа) бетон является для нее непроницаемым.

**Морозостойкость** бетона зависит от его структуры и прежде всего количества капиллярных открытых пор. Капиллярная пористость бетона уменьшается, а его морозостойкость увеличивается при меньших значениях В/Ц и достаточном сроке твердения.

### **Оборудование и материалы**

Весы лабораторные электронные, эксикатор, прибор (колба) Ле Шателье, ртутный лабораторный термометр; шкаф сушильный, посуда лабораторная стеклянная и фарфоровая, сито с размером ячеек 0,2 мм., весы технические гиревые, штангенциркуль, линейка измерительная металлическая, стандартная воронка для определения насыпной плотности материалов, мерный сосуд вместимостью 1 л, образцы строительных материалов.

### **Указания по технике безопасности**

Перед проведением лабораторных работ все студенты должны пройти инструктаж по технике безопасности и неуклонно соблюдать правила безопасности при работе в лаборатории.

Приступая к выполнению лабораторного задания, необходимо освободить лабораторный стол от ненужных предметов и следить за его чистотой. Для защиты одежды от загрязнений студенты должны пользоваться халатами или брезентовыми фартуками, резиновыми перчатками, холщовыми рукавицами и защитными очками. При работе, связанной с возможной угрозой для безопасности исполнителя, запрещается оставаться в помещении лаборатории одному.

Каждый работающий в лаборатории должен принимать во внимание огнеопасность, токсичность некоторых веществ, возможность образования взрывоопасных смесей.

Студентам запрещается самовольно включать и выключать лабораторное оборудование: гидравлический пресс, сушильный шкаф, электронный влагомер и другие. Нельзя оставлять оборудование и приборы включенными по окончании работы. Работать на лабораторном оборудовании можно только с ведома преподавателя и после ознакомления с инструкцией по работе на данном оборудовании.

## Содержание отчета

Отчет оформляется в рабочей тетради на листах формата А 4 и подшивается в скоросшиватель, заполняются все полученные значения характеристик строительных материалов, а также зарисовываются схемы испытаний, заполняются таблицы и приводятся формулы расчета основных физио-механических показателей материалов.

### МЕТОДИКА ВЫПОЛНЕНИЯ ЛАБОРАТОРНОЙ РАБОТЫ Определение класса бетона по прочности на сжатие

**Задание:** ознакомиться с методикой испытания стандартных образцов для контроля прочности бетона. Назначение класса и марки бетона

**Цель:** научиться назначать класс бетона по прочности на сжатие.

#### Задание 1. Определение класса бетона по прочности на сжатие

**Методика:** Определение прочности бетона состоит в измерении минимальных усилий, разрушающих специально изготовленные контрольные образцы бетона при их статическом нагружении с постоянной скоростью нарастания нагрузки, и последующем вычислении напряжений при этих усилиях (ГОСТ 10180).

Форма и номинальные размеры образцов в зависимости от метода определения прочности бетона должны соответствовать указанным ниже

| Метод                                                            | Форма образца | Размеры образца, мм                                              |
|------------------------------------------------------------------|---------------|------------------------------------------------------------------|
| Определение прочности на сжатие и на растяжение при раскалывании | Куб           | Длина ребра: 70; 100; 150; 200; 300                              |
|                                                                  | Цилиндр       | Диаметр $d$ : 70; 100; 150; 200; 300<br>Высота $h$ , равная $2d$ |

За базовый образец при всех видах испытаний принимают образец-куб или образец-призму с размером рабочего сечения 150x150 мм.

При уплотнении бетонной смеси марок по удобоукладываемости П1, П2, П3, Ж1 с использованием виброплощадки форму с уложенной и уплотненной штыкованием бетонной смесью жестко закрепляют на лабораторной виброплощадке и вибрируют до полного уплотнения, характеризуемого прекращением оседания бетонной смеси, выравниванием ее поверхности, появлением на ней тонкого слоя цементного теста.

Перед испытанием образцы подвергают визуальному осмотру, устанавливая наличие дефектов в виде трещин, околос ребер, раковин и инородных включений. Образцы, имеющие трещины, околы ребер глубиной более 10 мм, раковины диаметром более 10 мм и глубиной более 5 мм (кроме бетона крупнопористой структуры), а также следы расслоения и недоуплотнения бетонной смеси, испытанию не подлежат. Наплывы бетона на

ребрах опорных поверхностей образцов должны быть удалены абразивным камнем. При наличии дефектов фиксируют схему их расположения. Линейные размеры образцов измеряют с погрешностью не более 1%.

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.

Разрушенный образец подвергают визуальному осмотру. После испытаний отмечают:

- наличие крупных (объемом более  $1 \text{ см}^3$ ;
- наличие зерен заполнителя размером более  $1,5 d_{\text{max}}$ .

Результаты испытаний образцов, имеющих перечисленные дефекты структуры и характер разрушения, не учитывают.

Результаты испытаний оформляются в таблицу рабочей тетради

### Контрольные вопросы

1. Что называют бетоном?
2. Дайте классификацию бетонов в соответствии с ГОСТ 25192-2012.
3. Что такое класс бетона по прочности? Как его определить?
4. Как определить прочность бетона разрушающим методом?
5. Рассчитайте класс бетона по прочности, если при испытании двух серий по 15 образцов среднее значение прочности бетона составило 24 МПа, а коэффициент вариации 12%.
6. Определите требуемую прочность бетона при нормативном коэффициенте вариации ( $K_T=1,3$ ), если проектный класс бетона В25.
7. Как выбрать вид и марку цемента для бетона?
8. Какие технические требования предъявляются к заполнителям для тяжелого бетона? Как оценить зерновой состав заполнителей для бетона?
9. Что называют бетонной смесью?
10. Каковы основные технические свойства бетонных смесей?
11. Как определить удобоукладываемость бетонной смеси по показателям подвижности и жесткости? Каким образом регулируется удобоукладываемость бетонной смеси?
12. В чем заключается закон прочности бетона? Приведите формулы, графики.
13. Тяжёлый бетон имеет следующий состав: портландцемент ПЦ 400-Д0 – 260 кг, вода – 170 кг, песок – 680 кг, щебень – 1290 кг. Заполнители рядового качества. Определите прочность бетона в возрасте 28 сут нормального твердения.
14. Запишите уравнение абсолютных объёмов. В чём заключается его физический смысл?
15. Запишите уравнение заполнения пустот крупного заполнителя цементно-песчаным раствором. В чём заключается его физический смысл?

16. Приведите последовательность расчета начального состава бетона. Чем лабораторный состав бетона отличается от рабочего состава?
17. Как определить общую пористость бетона?
18. Какие производственные факторы влияют на качество бетона?
19. Какие существуют способы ускорения твердения бетона?
20. При испытании бетонных образцов в возрасте 28 суток среднее значение прочности бетона оказалось 27 МПа. Определите ожидаемую прочность бетона в возрасте 60 суток нормального твердения.

## ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА 7

### Проектирование состава дорожного асфальтобетона

**Цель работы:** определение оптимального соотношения между компонентами для получения асфальтобетона с заданными свойствами.

Проектирование асфальтобетона представляет собой комплексный процесс, позволяющий обосновать состав асфальтобетонной смеси с учетом назначения конструктивного слоя, состава, грузонапряженности и интенсивности дорожного движения и климатических условий района строительства. При этом должны быть учтены свойства всех исходных компонентов, регламентирована последовательность и порядок производства асфальтобетонных работ с привлечением экономических соображений.

### Теоретическая часть

Различают два типа дорожных одежд: жесткие и нежесткие.

К жестким относятся дорожные одежды, имеющие покрытия:

- из цементобетона на основаниях из различных материалов (укрепленных и неукрепленных);
- из асфальтобетона на основаниях из цементобетона разной прочности;
- сборное железобетонное на основаниях различных видов.

К нежестким дорожным одеждам относят одежды со слоями, устроенными из

- разного вида асфальтобетонов (дегтебетонов);
- материалов и грунтов, укрепленных битумом, цементом, известью, комплексными и другими вяжущими;
- слабосвязных зернистых материалов (щебня, шлака, гравия и др.).

Различают следующие элементы дорожной одежды.

**Покрытие** – верхняя часть дорожной одежды, состоящая из одного или нескольких единообразных по материалу слоев, воспринимающая усилия от колес транспортных средств и подвергающаяся непосредственному воздействию атмосферных факторов.

По поверхности покрытия могут быть устроены слои поверхностных обработок различного назначения (слои для повышения шероховатости, защитные слои и т.п.).

Между покрытием и основанием при необходимости укладывают выравнивающий слой из обработанных вяжущими зернистых материалов, который в качестве конструктивного слоя одежды не рассматривается и в расчетах не учитывается. Выравнивающий слой предназначен для устранения неровностей основания и обеспечения ровности слоев покрытия и возможности перемещения плит покрытия при изменении температуры. Если неровности основания не превышают 1 см, то допускается не

устраивать выравнивающий слой, а применять только слой, прерывающий сцепление плит с основанием и служащий изолятором против высыхания бетона в раннем возрасте и появления в покрытии усадочных трещин.

*Основание* – часть дорожной одежды, обеспечивающая совместно с покрытием перераспределение и снижение давления на нижележащие дополнительные слои или грунт земляного полотна.

Различают несущую часть основания (несущее основание) и дополнительные слои основания.

Несущая часть основания должна обеспечивать прочность дорожной одежды и быть морозоустойчивой.

*Дополнительные слои основания* – слои между несущим основанием и подстилающим грунтом, предусматриваемые при наличии неблагоприятных погодных-климатических и грунтово-гидрологических условий. Эти слои совместно с покрытием и основанием должны обеспечивать необходимые морозоустойчивость и дренирование конструкции и создавать условия для снижения толщины вышележащих слоев из дорогостоящих материалов. В соответствии с основной функцией, которую выполняет дополнительный слой, его называют:

- морозозащитным;
- теплоизолирующим;
- дренирующим.

К дополнительным слоям и прослойкам относят также гидро- и пароизолирующие, капилляропрерывающие, противозаиливающие и др. Дополнительные слои устраивают из песка и других местных материалов в естественном состоянии или укрепленных органическими, минеральными или комплексными вяжущими, из местных грунтов, обработанных вяжущими, из укрепленных смесей с добавками пористых заполнителей и т.д., а также из различного рода специальных индустриально выпускаемых материалов (геотекстиль, пенопласт, полимерная пленка и т.п.).

При применении дополнительных слоев необходимо учитывать технологические проблемы, связанные с движением по этим слоям построечного транспорта.

*Рабочий слой земляного полотна* (подстилающий грунт) – верхняя часть полотна в пределах от низа дорожной одежды до  $2/3$  глубины промерзания, но не менее 1,5 м от поверхности покрытия.

Кроме конструктивных слоев одежды различают краевую укрепительную полосу, обочину, откосы.

Капитальную и облегченную дорожные одежды с усовершенствованным покрытием проектируют с таким расчетом, чтобы за межремонтный срок не возникло разрушений и остаточных деформаций, а воздействие природных факторов и автомобилей не приводило к ухудшению ровности покрытия ниже допустимых норм.

Облегченные дорожные одежды с усовершенствованными покрытиями рассчитывают на менее продолжительный межремонтный срок службы, чем

капитальные одежды. Это позволяет применять менее долговечные и менее дорогие материалы.

При конструировании дорожной одежды необходимо соблюдать следующие принципы:

а) тип дорожной одежды и вид покрытия, конструкция одежды в целом должны удовлетворять транспортно-эксплуатационным требованиям, предъявляемым к дороге соответствующей категории и ожидаемым в перспективе составу и интенсивности движения с учетом изменения интенсивности движения в течение заданных межремонтных сроков и предполагаемых условий ремонта и содержания;

б) конструкция одежды может быть принята типовой или разработана индивидуально для каждого участка или ряда участков дороги, характеризующихся сходными природными условиями (грунт рабочего слоя земляного полотна, условия его увлажнения, климат, обеспеченность местными дорожно-строительными материалами и др.) с одинаковыми расчетными нагрузками.

При выборе конструкции одежды для конкретных условий предпочтение следует отдавать проверенной на практике в данных условиях типовой конструкции. Следует помнить, что так называемые типовые конструкции строились по традиционным принципам, когда повсеместно в качестве основания применялись щебеночные смеси и обеспечить при этом достаточную долговечность одежды было практически невозможно;

в) в районах, недостаточно обеспеченных стандартными каменными материалами, допускается применять местные каменные материалы, побочные продукты промышленности и грунты, свойства которых должны быть улучшены обработкой их вяжущими (цемент, битум, известь, активные золы и др.). Одновременно надо стремиться к созданию конструкции, по возможности наименее материалоемкой;

г) конструкция должна быть технологичной и обеспечивать возможность максимальной механизации и индустриализации дорожно-строительных процессов. Для достижения этой цели число слоев и видов материалов в конструкции должно быть минимальным;

д) при конструировании необходимо учитывать реальные условия проведения строительных работ (летняя или зимняя технология и др.).

При назначении типов покрытия для разных вариантов конструкций дорожных одежд следует руководствоваться положениями действующих стандартов и норм на дорожно-строительные материалы и изделия и нормами проектирования автомобильных дорог.

При выборе материалов для устройства слоев дорожной одежды необходимо учитывать следующие положения: покрытие и верхние слои основания должны соответствовать проектным воздействующим нагрузкам и быть водо-, морозо- и термостойкими.

Проектирование дорожных одежд с учетом свойств земляного полотна представляет собой единый процесс конструирования и расчета их на

прочность, деформативность, морозоустойчивость и дренирующую способность, а также технико-экономического обоснования вариантов.

Сроки службы жестких дорожных одежд определяются долговечностью материала верхнего слоя покрытия, для дорожных одежд капитального типа с цементобетонным покрытием они составляют не менее 25 лет, а для дорожных одежд с асфальтобетонным покрытием на бетонном основании – не менее 20 лет. Допускается проектировать конструкции на длительную перспективу по технико-экономическим соображениям со сроком службы 35 – 50 лет.

Дорожные одежды рассчитывают с учетом состава транспортного потока перспективной интенсивности движения к концу срока службы, грунтовых и природно-климатических условий.

1. В зависимости от вида органического вяжущего дорожные бетоны подразделяются на:

- асфальтобетоны, если применялись нефтяные битумы;
- дегтебетоны, если использовались дегти, продукты деструктивной термической переработки каменного угля, древесины, торфа, горючих сланцев и др.;
- полимербетоны, если использовались синтетические полимерные смолы, термопластичные или термореактивные.

Наибольшее применение в дорожном строительстве нашли асфальтобетонные смеси и асфальтобетоны.

2. В зависимости от вида каменного материала асфальтобетонные смеси и асфальтобетоны подразделяются на:

- щебеночные, состоящие из щебня, песка, минерального порошка и битума;
- гравийные, состоящие из гравия, песка или гравийно-песчаного природного материала, минерального порошка и битума;
- песчаные, состоящие из песка, минерального порошка и битума.

3. В зависимости от вязкости применяемого битума и температуры приготовления, укладки и уплотнения асфальтобетонные смеси подразделяются на горячие и холодные.

Горячие асфальтобетонные смеси готовят на вязких нефтяных дорожных битумах марок БНД 40/60, БНД 60/90, БНД 90/130, БНД 130/200, БНД 200/300 (БН 40/60, БН 60/90, БН 90/130, БН 130/200, БН 200/300) по ГОСТ 22245-90, а также на полимерно-битумных вяжущих и модифицированных битумах.

Температура горячих смесей при укладке должна быть не ниже 120 °С. Формирование асфальтобетона из таких смесей в основном заканчивается после уплотнения и остывания конструктивного слоя дорожной одежды.

Холодные асфальтобетонные смеси готовят на жидких нефтяных дорожных битумах марок СГ 70/130, СГ 130/200, МГ 130/200, МГО 70/130, МГО 130/200 по ГОСТ 11955-82. Холодные смеси до их укладки на дорогу можно хранить на складе от 2 недель до 8 месяцев. Укладка и

уплотнение холодных смесей производится при температуре воздуха не ниже 5 °С весной и 10 °С осенью или в летнее время. Холодные смеси из-за пониженного содержания битума и повышенного содержания минерального порошка являются жесткими и трудно уплотняются, поэтому слои из них в начальный период обладают повышенной пористостью. Формирование холодного асфальтобетона продолжается 4 –

10 недель в зависимости от класса жидкого битума, погодных условий и степени доуплотняющего воздействия автотранспорта.

4. Горячие асфальтобетонные смеси и асфальтобетоны в зависимости от наибольшего размера зерен щебня или гравия подразделяются на крупнозернистые (зерна до 40 мм), мелкозернистые (зерна до 20 мм) и песчаные (зерна до 5 мм).

Холодные асфальтобетонные смеси делятся на мелкозернистые и песчаные.

5. По плотности (пористости) асфальтобетоны из горячей смеси с учетом их назначения подразделяются на виды:

*высокоплотные* – с остаточной пористостью от 1,0 до 2,5 % объема, применяемые в однослойных и верхних слоях покрытий и обязательно содержащие минеральный порошок;

*плотные* – с остаточной пористостью от 2,5 до 5 % объема, применяемые в верхних слоях покрытий, в нижних слоях покрытий и верхних слоях оснований и обязательно содержащие минеральный порошок;

*пористые* – с остаточной пористостью от 5 до 10 % объема, применяемые в нижних слоях покрытий и верхних слоях оснований при пониженном содержании минерального порошка;

*высокопористые* – с остаточной пористостью от 10 до 18 % объема, применяемые в нижних слоях покрытий и основаниях при пониженном содержании минерального порошка.

Холодные асфальтобетоны в начале эксплуатации дороги должны иметь остаточную пористость св. 6 до 10 % объема из-за начального недоуплотнения, но в процессе формирования их плотность повышается (см. п. 3).

6. Плотные асфальтобетоны по содержанию в них щебня (гравия) или песка (природного окатанного и отсеков дробления) подразделяются на структурные типы, указанные в табл. 1.

7. Асфальтобетонные смеси и асфальтобетоны в зависимости от показателей физико-механических свойств асфальтобетона и применяемых материалов подразделяются на марки, указанные в табл. 2.

Таблица 1 – Типы асфальтобетона в зависимости от содержания щебня (гравия) или песка

| Тип                             | Содержание щебня (гравия), % массы минеральной части | Вид, характеристика и состав песка                                                                                                              |
|---------------------------------|------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Горячие                         |                                                      |                                                                                                                                                 |
| А                               | Св. 50 до 60                                         | Природный, отсев дробления и их смеси<br>То же<br>То же<br>Отсевы дробления или смесь с природным. Содержание природного не более 30 % по массе |
| Б                               | Св. 40 до 50                                         |                                                                                                                                                 |
| В                               | Св. 30 до 40                                         |                                                                                                                                                 |
| Г                               | От 0 до 20                                           |                                                                                                                                                 |
| Д                               | От 0 до 20                                           | Природный или смесь с отсевами дробления. Содержание последних менее 70 % по массе                                                              |
| Холодные                        |                                                      |                                                                                                                                                 |
| Б <sub>х</sub>                  | Св. 40 до 50                                         | Природный, отсева дробления и их смеси<br>То же<br>То же, что для типов Г и Д                                                                   |
| В <sub>х</sub>                  | Св. 30 до 40                                         |                                                                                                                                                 |
| Г <sub>х</sub> , Д <sub>х</sub> | От 0 до 20                                           |                                                                                                                                                 |

Таблица 2 – Марки асфальтобетона

| Виды и типы смесей и асфальтобетонов | Марки      |
|--------------------------------------|------------|
| Горячие:                             |            |
| Высокоплотные                        | I          |
| Плотные типов:                       |            |
| А                                    | I, II      |
| Б, Г                                 | I, II, III |
| В, Д                                 | II, III    |
| Пористые и высокопористые            | I, II      |
| Холодные типов:                      |            |
| Б <sub>х</sub> , В <sub>х</sub>      | I, II      |
| Г <sub>х</sub>                       | I, II      |
| Д <sub>х</sub>                       | II         |

1. Цель проектирования состава асфальтобетона состоит в определении такого соотношения компонентов (щебня или гравия, песка, минерального порошка и битума), при котором показатели свойств асфальтобетонной смеси и асфальтобетона заданных вида, типа и марки соответствуют техническим требованиям ГОСТ 9128-2013.

2. Разработаны и используются многочисленные методы проектирования состава асфальтобетона. В отечественной практике дорожного строительства принят метод предельных кривых зернового состава минеральной части асфальтобетона, в основе которого лежат следующие принципы:

- для обеспечения прочности, долговечности и экономичности асфальтобетона его минеральная часть должна обладать высокой плотностью, которая достигается при определенном содержании каждой узкой фракции зерен в общем зерновом составе минеральной части;

- зерновой состав минеральной части асфальтобетона ограничивается нормами допустимого содержания каждой фракции зерен или групп фракций;

- оптимальным (наилучшим) содержанием битума считается его минимальное количество, при котором физические и механические свойства асфальтобетона соответствуют техническим требованиям ГОСТ 9128-2013.

3. Из имеющегося щебня или гравия, песка и минерального порошка подбирают состав минеральной части таким образом, чтобы зерновой состав смеси укладывался в область, ограниченную нормами ГОСТ 9128-2013.

4. Содержание битума определяется исходя из принципа заполнения битумом межзерновых пустот в уплотненной минеральной части с учетом заданной остаточной пористости асфальтобетона. Расчетное содержание битума уточняется экспериментально по данным испытаний асфальтобетона.

5. Минеральный порошок в асфальтобетоне выполняет несколько функций. Являясь компонентом минеральной части, порошок повышает ее плотность (уменьшает пустотность). Являясь компонентом асфальтовяжущего, порошок структурирует битум и эффективно воздействует на прочность, вязкость, теплостойкость и клеящие свойства асфальтовяжущего. Избыточное содержание порошка может привести к росту хрупкости асфальтобетона, особенно при низких температурах.

Битум в асфальтобетоне также выполняет ряд функций. Играя вместе с порошком (или без него) роль вяжущего, битум склеивает в монолит зерна щебня (гравия) и песка. Кроме того, заполняя межзерновое пространство минеральной части, битум придает асфальтобетону требуемую плотность и водостойкость. Будучи термопластичным вяжущим, битум играет и роль смазки, уменьшающей внутреннее трение в минеральной части, поэтому избыточное содержание битума может привести к снижению прочности, теплостойкости и сдвигоустойчивости асфальтобетона.

Из указанного выше следует, что назначение необходимого и достаточного содержания минерального порошка и битума является важной и сложной задачей проектирования состава асфальтобетона.

6. Состав асфальтобетона проектируют в четыре этапа: 1) определение свойств и качества исходных минеральных компонентов и битума, оценка их пригодности для асфальтобетона заданного вида, типа и марки; 2) определение состава минеральной части асфальтобетона заданного вида, типа и марки из имеющихся минеральных компонентов; 3) определение оптимального содержания битума; 4) уточнение состава асфальтобетона по данным детального изучения его физико-механических свойств.

7. Необходимым условием достижения цели проектирования состава

асфальтобетона является точное и обоснованное формулирование технического задания на выполнение этой работы.

Покрытие состоит из нескольких конструктивных слоев, выполняющих различное назначение. В покрытии различают верхний и нижние слои – основание (искусственное и естественное). Верхний слой покрытия непосредственно воспринимает нагрузку от колес автомобилей, подвергается воздействию атмосферных факторов.

В зависимости от конструкции верхнего слоя жесткие покрытия подразделяются на: бетонные; армобетонные; железобетонные; монолитные предварительно-напряженные железобетонные; сборные из предварительно-напряженных плит заводского изготовления.

Искусственное основание – несущая часть конструкции, которая обеспечивает совместно с верхним слоем передачу усилий на грунтовое основание.

В состав искусственного основания могут входить дополнительные слои из щебня, гравия, песка и других местных материалов, которые одновременно могут выполнять функции дренирующих, морозо-защитных, противозаиливающих и капилляропрерывающих слоев.

Цель конструирования дорожной одежды – выбрать материалы, определить количество слоев и их размещение по глубине. При этом необходимо:

- 1) предусматривать при необходимости максимальное использование местных строительных материалов;
- 2) стремиться к уменьшению количества слоев;
- 3) предусматривать проезд построечного транспорта по основанию;
- 4) обеспечивать соответствие конструкции дорожной одежды технологии ее строительства и наибольшую механизацию работ;
- 5) учитывать категорию дороги, состав транспортного потока, интенсивность движения, напряженное состояние и механизм деформирования отдельных слоев и конструктивных элементов;
- 6) устанавливать срок службы покрытия и всей дорожной одежды до капитального ремонта;
- 7) учитывать природно-климатические и гидрогеологические условия местности (включая возведение высоких насыпей);
- 8) предусматривать условия и возможность дальнейшего поэтапного усиления, уширения и повышения капитальности автомобильной дороги.

Выравнивающий слой назначают для устранения неровностей основания и обеспечения ровности слоев покрытия и возможности перемещения плит покрытия при изменении температуры. Если неровности основания не превышают 1 см, то допускается не устраивать выравнивающий слой, а применять только слой, прерывающий сцепление плит с основанием и служащий изолятором против высыхания бетона в раннем возрасте и появления в покрытии усадочных трещин.

Выравнивающие слои устраивают из укрепленного вяжущим песка. Если

этот слой впитывает воду из бетонной смеси, то его закрывают изолирующим слоем или увлажняют непосредственно перед укладкой бетонной смеси в покрытие.

В зависимости от категории дороги, вида бетоноукладочного оборудования, устойчивости верхней части земляного полотна и способности его накапливать пластические или неравномерные деформации основание устраивают из бетона низких марок по прочности ( $B_{btb}$  0,8 –  $B_{btb}$  1,2); из нерудных материалов и грунтов, укрепленных неорганическим вяжущим, из щебня, шлака или гравия либо из песка.

Толщину и вид основания определяют расчетом.

При низкой интенсивности автомобильного движения и при строительстве покрытий легкими бетоноукладочными машинами с боковой или центральной загрузкой допускается при соответствующем технико-экономическом обосновании устройство покрытия на песчаном основании, выполняющем одновременно роль дренажного и морозозащитного слоя.

Для исключения образования в слое песчаного основания колеи от автомобилей-самосвалов основание должно быть укреплено путем устройства слоя из щебня, шлака или гравия толщиной 10 – 12 см, причем только в местах пропуска автомобилей-самосвалов, подвозящих цементобетонную смесь.

Минимальная толщина основания из бетона низкой прочности – 14 см; из нерудных материалов, укрепленных неорганическими вяжущими, – 16 см; из щебня, шлака или гравия – 15 см.

Толщина укрепленного вяжущими основания, по которому уже в раннем возрасте начинается движение гусеничных бетоноукладчиков, должна быть не менее 18 см, марка –  $R_c$  7,5.

При бетонировании покрытия гусеничными бетоноукладчиками со скользящими формами ширина укрепленного основания должна быть шире покрытия на 1,05 м с каждой стороны.

В слое укрепленного вяжущими основания рекомендуется устраивать поперечные швы через каждые 20 – 30 м, смещенные относительно швов в покрытии не менее чем на 1 м, путем закладки в нижнюю часть основания деревянных брусков высотой 4 – 7 см.

Во избежание появления трещин в основании под поперечными швами покрытия основание не должно сращиваться с плитами покрытия, что достигается укладкой прерывающих сцепление материалов.

Дополнительный слой основания устраивают из дренирующих, не подверженных пучению, материалов (песка, шлака, высевок, ракушечника и пр.).

Дополнительный слой основания должен иметь водослив – сплошные или прерывистые выходы дренирующего материала на от-косы земляного полотна и нижнюю плоскость (поверхность земляного полотна) с поперечным уклоном.

Для улучшения водоотвода можно применять геотекстиль в виде

сплошного или прерывистого слоя. Для уменьшения подтока влаги снизу можно предусматривать прерывающие прослойки из синтетических пленок.

Толщина дополнительного слоя основания определяется расчетом.

Дополнительный слой, выполняющий морозозащитную функцию, может быть заменен грунтом, обработанным (в смесителе) гид-рофобизирующими материалами. При небольшой интенсивности движения он может работать и в качестве основания.

Краевые укрепленные полосы устраивают из цемента- или асфальтобетона на бетонном основании, как правило, по типу основной дорожной одежды без устройства продольных швов.

Ширина краевых полос на дорогах I – II категорий – не менее 75 см, более низких категорий – не менее 50 см. Толщина краевых полос должна быть равна толщине покрытия.

Бетонные полосы разделяют поперечными швами, которые должны быть продолжением швов в покрытии. При устройстве бетонных покрытий со шпунтами на боковых гранях и при отсутствии штырей в поперечных швах бетонных покрытий в швах краевых полос ставят штыри – по одному-два стержня длиной 50 см и диаметром 16 – 18 мм по типу штырей в швах сжатия и расширения в покрытии (с обмазкой и с колпачками в швах расширения).

Бетонные краевые полосы швами от покрытия не отделяются. При устройстве вместо краевых полос уширения шириной более 3 м последние отделяются от бетонного покрытия пазами с заполнением их по типу шва сжатия. Поперечные швы полос уширения по конструкции и по месту расположения должны совпадать с поперечными швами покрытия.

### **Оборудование и материалы**

Весы лабораторные электронные, эксикатор, прибор (колба) Ле Шателье, ртутный лабораторный термометр; шкаф сушильный, посуда лабораторная стеклянная и фарфоровая, сито с размером ячеек 0,2 мм., весы технические гиревые, штангенциркуль, линейка измерительная металлическая, стандартная воронка для определения насыпной плотности материалов, мерный сосуд вместимостью 1 л, образцы строительных материалов.

### **Указания по технике безопасности**

Перед проведением лабораторных работ все студенты должны пройти инструктаж по технике безопасности и неуклонно соблюдать правила безопасности при работе в лаборатории.

Приступая к выполнению лабораторного задания, необходимо освободить лабораторный стол от ненужных предметов и следить за его чистотой. Для защиты одежды от загрязнений студенты должны пользоваться халатами или брезентовыми фартуками, резиновыми перчатками, холщовыми рукавицами и защитными очками. При работе, связанной с возможной угрозой для безопасности исполнителя, запрещается оставаться в помещении

лаборатории одному.

Каждый работающий в лаборатории должен принимать во внимание огнеопасность, токсичность некоторых веществ, возможность образования взрывоопасных смесей.

Студентам запрещается самовольно включать и выключать лабораторное оборудование: гидравлический пресс, сушильный шкаф, электронный влагомер и другие. Нельзя оставлять оборудование и приборы включенными по окончании работы. Работать на лабораторном оборудовании можно только с ведома преподавателя и после ознакомления с инструкцией по работе на данном оборудовании.

### Содержание отчета

Отчет оформляется в рабочей тетради на листах формата А 4 и подшивается в скоросшиватель, заполняются все полученные значения характеристик строительных материалов, а также зарисовываются схемы испытаний, заполняются таблицы и приводятся формулы расчета основных физико-механических показателей материалов.

#### Методика и порядок выполнения лабораторной работы Проектирование состава дорожного асфальтобетона

**Задание:** определение оптимального соотношения между компонентами для получения асфальтобетона с заданными свойствами.

**Цель:** изучить метод проектирования асфальтобетона как комплексный процесс, позволяющий обосновать состав асфальтобетонной смеси с учетом назначения конструктивного слоя, состава, грузонапряженности и интенсивности дорожного движения и климатических условий района строительства. При этом должны быть учтены свойства всех исходных компонентов, регламентирована последовательность и порядок производства асфальтобетонных работ с привлечением экономических соображений.

#### Задание 1. Проектирование состава дорожного асфальтобетона

**Методика:** Метод проектирования – расчетно-экспериментальный по предельным кривым плотных смесей (метод СоюздорНИИ).

Исходные постулаты метода:

- Соотношение диаметров зерен соседних фракций минеральной части:

$$\frac{d_1}{d_2} = \frac{d_2}{d_3} = \dots = \frac{d_{n-1}}{d_n} = 2 \quad ; \quad (1)$$

- Объемные доли последовательно уменьшающихся фракций смеси:

$$\frac{q_2}{q_1} = \frac{q_3}{q_2} = \dots = \frac{q_n}{q_{n-1}} = K = 0,65 \dots 0,90. \quad (2)$$

К- коэффициент сбега.

При таких соотношениях достигается максимальная плотность

минеральной смеси.

- Сумма всех фракций смеси составляет 100%:

$$q_1 + q_2 + q_3 + \dots + q_n = 100\%$$

или  $q_1 (1 + K + K^2 + K^3 + \dots + K^{n-1}) = 100\%$

$$\text{или} \quad q_1 = \frac{1 - K}{1 - K^n} 100. \quad (3)$$

здесь  $q_1$  – объемная доля первой фракции смеси (частный остаток), %;

$n$  – число фракций в смеси.

Число фракций смеси находят из выражения

$$n = 3,32 \lg \frac{d_{\max}}{d_{\min}}, \quad (4)$$

где  $d_{\max}$  - наибольший размер зерен смеси, мм (определяется при выборе типа смеси по крупности минеральных зерен, в зависимости от ее назначения);

$d_{\min}$  – наименьший размер зерен смеси, мм – принимается из расчета, что он должен быть крупнее размера частиц соответствующих глинистым (т.е. более 0,005 мм).

Таким образом, зная коэффициент сбега и число фракций, можно определить объемную долю первой фракции (из уравнения 3) и затем каждую последующую как произведение предыдущей на коэффициент сбега. Суммарный объем всех фракций после округления до целых чисел должен быть равен 100%.

Объемные доли (частные остатки) всех фракций переводят в полные остатки и строят графики предельных кривых плотных смесей. Для этого полные остатки откладывают на оси ординат в масштабе натуральных чисел, а размеры сит – в логарифмическом масштабе.

Для построения кривых приняты размеры ячеек сит, последовательно уменьшающиеся вдвое; в результате сита не всегда совпадают со стандартными. Поэтому точки расположения размеров стандартных сит, откладываемые на оси абсцисс, находят по формуле

$$X = 3,32 \text{ Iq} \frac{d_6}{d_x} m, \quad (5)$$

где  $x$  – расстояние по оси абсцисс между точками, соответствующими размерам сит, мм;

$d_6$  – размер отверстия большего сита, ближайшего к тому, местоположение которого определяется, мм

$d_x$  – размер отверстия сита, местоположение которого определяется на ином сите, мм;

$m$  – масштаб шкалы сит (расстояние между точками, отвечающими размерам соседних идеальных сит), мм.

Из точек, отвечающих размерам стандартных сит на оси абсцисс, восстанавливают перпендикуляры до пересечения с предельными кривыми. Расстояние по ним между предельными кривыми соответствует пределам полных остатков на стандартных ситах.

### ***Ход выполнения работы*** **или Основные этапы проектирования**

- 1) Выбор вида, типа и марки асфальтобетона
- 2) Выбор и оценка качества исходных материалов
- 3) Расчет непрерывного гранулометрического состава минеральной части асфальтобетона
- 4) Определение оптимального содержания битума
- 5) Приготовление асфальтобетонной смеси и формование контрольных образцов
- 6) Определение физико-механических свойств асфальтобетона с сопоставления их с требованиями ГОСТ 9128-2013
- 7) Заключение по составу

## Выбор вида, типа и марки асфальтобетона

По ГОСТ 9128-2013 «Смеси асфальтобетонные, полимерасфальтобетонные, асфальтобетон, полимерасфальтобетон для автомобильных дорог и аэродромов» выбирается вид, тип и марка асфальтобетона в зависимости от категории дороги, климатической зоны, условий эксплуатации дороги. В данной главе необходимо четко обосновать выбор вида и типа асфальтобетона.

Структура асфальтобетона выбирается в зависимости от условий эксплуатации дороги, типа асфальтового бетона и структуры покрытия.

Приводятся характеристики выбранного вида, типа, марки и структуры асфальтобетона.

## Выбор и проверка качества исходных материалов и их назначение в асфальтовом бетоне

Выбранный асфальтовый бетон, его вид, тип, марка и структура определяют требования к физико-механическим свойствам и гранулометрии каменных материалов, и также к марке битума.

Поэтому в данном разделе дается характеристика выбранных исходных материалов, сопоставляются их свойства с требованиями ГОСТов, дается определение каждому материалу и объясняется его роль в асфальтобетоне.

### Щебень (гравий)

Вид горной породы \_\_\_\_\_

Марка щебня по прочности, МПа \_\_\_\_\_

Марка щебня по износу \_\_\_\_\_

Морозостойкость \_\_\_\_\_

Твердость исходной горной породы \_\_\_\_\_

Плотность истинная, кг/м<sup>3</sup> \_\_\_\_\_

Плотность средняя, кг/м \_\_\_\_\_

Содержание пылеватых и глинистых частиц, \_\_\_\_\_

Содержание пластинчатых и игловатых зерен, % \_\_\_\_\_

Применяемые фракции щебня (гравия) и их количество заносятся в таблицу 3:

Таблица 3 – зерновой состав

| Остатки    | Содержание, % частиц с d, мм |    |    |   |         |
|------------|------------------------------|----|----|---|---------|
|            | 20                           | 15 | 10 | 5 | менее 5 |
| Частные, г |                              |    |    |   |         |
| Частные, % |                              |    |    |   |         |
| Полные, %  |                              |    |    |   |         |

**Вывод:** о соответствии качества щебня требованиям ГОСТ 8267, 9128

## Песок

Минералогический состав \_\_\_\_\_

Модуль крупности \_\_\_\_\_

Плотность истинная, кг/м<sup>3</sup> \_\_\_\_\_

Плотность насыпная, кг/м<sup>3</sup> \_\_\_\_\_

Содержание пылеватых и глинистых частиц, % \_\_\_\_\_

Применяемые фракции песка и их количество заносятся в таблице 4:

| Остатки    | Содержание, % частиц с d, мм |     |      |      |       |      |            |
|------------|------------------------------|-----|------|------|-------|------|------------|
|            | 5                            | 2,5 | 1,25 | 0,63 | 0,315 | 0,16 | Менее 0,16 |
| Частные, г |                              |     |      |      |       |      |            |
| Частные, % |                              |     |      |      |       |      |            |
| Полные, %  |                              |     |      |      |       |      |            |

**Вывод:** о соответствии качества песка требованиям ГОСТ 8736, 9128.

## Минеральный порошок

Вид порошка \_\_\_\_\_

Пористость, % по объему \_\_\_\_\_

Плотность, г/см<sup>3</sup> \_\_\_\_\_

Показатель битумоемкости, г/100 см<sup>3</sup> абсолютного объема \_\_\_\_\_

Влажность, % \_\_\_\_\_

Зерновой состав минерального порошка заносится в таблицу 5:

Таблица 5 – Зерновой состав минерального порошка

| Остатки              | Содержание, % частиц с d, мм |      |       |      |       |             |
|----------------------|------------------------------|------|-------|------|-------|-------------|
|                      | 1,25                         | 0,63 | 0,315 | 0,14 | 0,071 | Менее 0,071 |
| Частные, г           |                              |      |       |      |       |             |
| Частные, %           |                              |      |       |      |       |             |
| Полные, %            |                              |      |       |      |       |             |
| ГОСТ, A <sub>i</sub> |                              |      |       |      |       |             |

**Вывод:** о соответствии качества минерального порошка требованиям ГОСТ Р 52129, 9128

## Битум нефтяной дорожный

Марка битума \_\_\_\_\_

Обоснование выбора марки битума \_\_\_\_\_

Свойства битума:

Глубина проникания иглы, усл. град. \_\_\_\_\_

Растяжимость, см \_\_\_\_\_

Температура размягчения, °C \_\_\_\_\_

Температура вспышки, °C \_\_\_\_\_

Свойства битумов определяются путем испытания в лаборатории или принимаются по таблице ГОСТ 22245 или ГОСТ 11955.

## Расчет зернового состава минеральной части асфальтобетона

### Рекомендуемый зерновой состав

Рекомендуемый зерновой состав минеральной части асфальтобетонной смеси для выбранного вида и типа нахожу в соответствующей таблице ГОСТ 9128-2013 и заносу в таблицу 6:

Таблица 6 – Рекомендуемый зерновой состав асфальтобетонной смеси

| Остатки, проходы    | Содержание частиц размером, мм, %.мас |    |    |    |   |     |      |      |       |      |       |             |
|---------------------|---------------------------------------|----|----|----|---|-----|------|------|-------|------|-------|-------------|
|                     | 40                                    | 20 | 15 | 10 | 5 | 2,5 | 1,25 | 0,63 | 0,315 | 0,14 | 0,071 | менее 0,071 |
| Полные проходы (Pi) |                                       |    |    |    |   |     |      |      |       |      |       |             |
| Полные остатки (Ai) |                                       |    |    |    |   |     |      |      |       |      |       |             |

В таблице полные проходы записываю по таблице ГОСТ 9128-2013, а полные остатки определяю по разнице 100%-полный проход.

Расчет заключается в определении соотношения между щебнем различных фракций, природным и искусственным песком и минеральным порошком, обеспечивающего получение плотной минеральной смеси, полные остатки которой находятся между рекомендуемыми пределами для данного типа смеси по ГОСТ 9128-2013.

#### 1. Расчет объемной доли щебня.

Рекомендуемый ГОСТом фактический полный остаток на сите 5 мм (разность между 100 и полным проходом на сите 5 мм) и есть объемная доля щебня). Для расчета фактический полный остаток на сите 5 мм ( $A_{\text{ф}}^5$ ) назначается посередине между пределами полных остатков на данном сите. Объемная доля щебня  $D_{\text{о}}^{\text{щ}5}$  определяется по формуле:

$$D_{\text{о}}^{\text{щ}5} = A_{\text{ф}}^5 / A_{\text{зад}}^5 \quad (6)$$

$D_{\text{о}}^{\text{щ}5}$  – объемная доля щебня в смеси %

$A_{\text{ф}}^5$  – фактический полный остаток на сите 5, %

$A_{\text{зад}}^5$  – полный остаток на сите 5 мм в исходном щебне, %.

#### 2) Определение содержания минерального порошка

Минерального порошка должно быть столько, чтобы обеспечить необходимую степень структурирования битума в асфальтобетоне и, таким образом, показатели прочности последнего.

Для этого используют показатель полного прохода через сито с отверстием 0,071 мм ( $P^{0,071}$ ). Фактический полный проход принимают по минимальному рекомендуемому значению.

Расчет производю с помощью формулы:

$$D_{o}^{м.п.0.071} = P_{ф}^{0.071} / P_{зад}^{0.071} \cdot 100 \quad (7)$$

$D_{o}^{м.п.0.071}$  – доля минерального порошка %

$P_{ф}^{0.071}$  – фактический полный проход М.П. через сито 0,071 в принятом составе смеси

$P_{зад}^{0.071}$  – полный проход через сито 0,071 в исходном минеральном порошке.  
 $P_{ф}^{0.071}$  – фактический полный проход М.П. через сито 0,071 в принятом составе смеси

### 3. Расчет доли песка.

Так как сумма всех минеральных компонентов составляет 100%, то долю песка определяют по формуле:

$$D_o^п = 100 - (D_o^{ш} + D_o^{м.п.}) \quad (8)$$

Если плотности минеральных составляющих асфальтобетона различаются больше, чем на 200 кг/м<sup>3</sup>, в принятое объемное соотношение их необходимо вносить поправки. Поправочный коэффициент

$$P_x = \rho_x / \rho_э \quad (9)$$

где  $P_x$  – поправочный коэффициент

$\rho_x$  – плотность материала, кг/м<sup>3</sup>

$\rho_э$  – плотность эталонного материала, кг/м<sup>3</sup>.

Обычно за эталон принимают материал с наименьшей плотностью, либо материал, преобладающий в смеси.

Предварительно найденные доли компонентов умножают на поправочные коэффициенты.

Сумму уточненных долей считают равной 100% и, решая пропорции, определяют окончательное процентное содержание составляющих минеральной части асфальтобетона по массе.

Зная объемные доли щебня, минерального порошка и песка и частные остатки для фракций щебня, песка и минерального порошка в исходных материалах рассчитывают окончательное процентное содержание всех фракций минеральной части асфальтобетонной смеси.

Результаты расчета заносят в таблицу 7:

| Материал                    | Массовая доля зерен, % размером |    |    |    |   |     |      |      |       |      |       |        |
|-----------------------------|---------------------------------|----|----|----|---|-----|------|------|-------|------|-------|--------|
|                             | 40                              | 20 | 15 | 10 | 5 | 2,5 | 1,25 | 0,63 | 0,315 | 0,14 | 0,071 | <0,071 |
| Щебень                      |                                 |    |    |    |   |     |      |      |       |      |       |        |
| Песок                       |                                 |    |    |    |   |     |      |      |       |      |       |        |
| Минераль-<br>ный<br>порошок |                                 |    |    |    |   |     |      |      |       |      |       |        |
| Частные<br>остатки, %       |                                 |    |    |    |   |     |      |      |       |      |       |        |
| Полные                      |                                 |    |    |    |   |     |      |      |       |      |       |        |

|                 |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|-----------------|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|
| остатки в смеси |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| Требования ГОСТ |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |

Для сопоставления гранулометрического состава минеральной части проектируемой смеси с рекомендуемыми ГОСТом пределами строят график в координатах  $d$  (мм) –  $A_i$  (%), на который наносят данные расчета и стандарта.

Если зерновой состав проектируемой асфальтобетонной смеси не соответствует рекомендованным пределам ГОСТ 9128, то необходимо провести корректировку зернового состава. Для этого нужно изменить  $A_{рек}^5$  для щебня или  $P_{рек}^{0.075}$  для минерального порошка в зависимости от того, какие фракции не вписываются в пределы стандарта.

### Определение оптимального содержания битума

Оптимальное содержание битума можно определить двумя способами.

*I способ.* По битумоемкости минеральных зерен (метод ХАДИ)

*II способ.* По фактической пористости минерального остова стандартных образцов асфальтобетона.

Используя I способ, основанный на определении удельной битумоемкости каждой фракции минеральной смеси с учетом петрографической характеристики исходной горной породы щебня, песка и минерального порошка и пофракционной битумоемкости этих пород.

Оптимальное содержание битума в смеси определяют по формуле

$$B = K \sum B_i P_i \quad (10)$$

где  $B_i$  – битумоемкость фракции, %

$P_i$  – содержание фракции в смеси, в частях от целого;

$K$  – коэффициент, зависящий от марки битума: для БНД 60/90 – 1,05; БНД – 90/130 – 1,00; БНД 130/200 – 0,95; БНД 200/300 – 0,90.

Порядок расчета содержания битума в смеси по битумоемкости минеральных зерен:

1) Из таблицы определяем содержание фракций в частях от целого и заносим в таблицу в соответствующую строку для каждого минерального материала.

2) В графу 5,6,7 заносят табличные данные по величине битумоемкости соответствующего минерального материала и соответствующей фракции из таблицы. Перемножая содержание фракции ( $P_i$ ) на битумоемкость фракции ( $B_i$ ) получаю удельную битумоемкость фракции ( $P_i B_i$ ), строка 8. Суммируя удельные битумоемкости всех фракций, получаю общее содержание битума в смеси.

Так как на оптимальное содержание битума влияет шероховатость зерен, степень запыленности, содержание глинистых включений, активность минерального материала и битума, то и для корректировки необходимо приготовить три смеси с рассчитанным количеством битума и с содержанием

битума 0,5% от рассчитанного.

Из каждой смеси изготавливаются цилиндрические образцы диаметром и высотой 50,5 мм для определения свойств асфальтобетона.

II способ является экспериментальным. Оптимальное содержание битума в асфальтобетоне вычисляют с учетом фактической пористости минерального остова стандартных образцов асфальтобетона, приготовленных в лаборатории по рассчитанному составу минеральной части и заданной остаточной пористости проектируемого асфальтобетона по ГОСТ 9128-2013, с учетом климатических условий района строительства.

В соответствии с экспериментально-расчетным методом изготавливают смесь рассчитанного минерального состава с содержанием битума на 0,3...0,5% меньше нижнего предела по рекомендациям стандарта, формируют из нее три образца и определяют среднюю плотность асфальтобетона.

### **Заключение**

Рекомендуемый производству состав:

Щебень %

Песок %

Минер. Порошок %

Битум %

Проектирование дорожного цементного бетона

Расчетная прочность бетона

Прочность бетона в контролируемом возрасте характеризуют двумя способами:

– классами бетона по прочности на сжатие и осевое растяжение, причем основным является класс по прочности на сжатие;

– марками по прочности на сжатие, на осевое растяжение, на растяжение при изгибе.

Класс или марку по прочности на сжатие контролируют во всех случаях, а по другим характеристикам прочности – если установлено нормами проектирования конструкции. Прочность на сжатие контролируют на кубах с ребром 150 мм или цилиндрах диаметром 150 мм и высотой 300 мм. Марка соответствует средней прочности бетона, а класс – его гарантированной прочности с обеспеченностью 0,95.

В соответствии с требованиями ГОСТ 26633 для конструкций прочность бетона характеризуется классами. Между классом бетона  $B$  и прочностью бетона в партии  $R_m$ , МПа, принимаемой за расчетную, имеется зависимость

$$B = R_m \cdot (1 - t \cdot v), \quad (11)$$

где  $t$  – коэффициент, характеризующий принятую при проектировании обеспеченность класса бетона. При обеспеченности 0,95  $t = 1,64$ ;  $v$  – коэффициент вариации прочности бетона, %:

$$v = S_m / R_m, \quad (12)$$

где  $S_m$  – среднее квадратическое отклонение прочности бетона в партии, МПа. Среднее квадратическое отклонение прочности бетона в партии определяется по формуле

$$S_m = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (R_i - R_m)^2}{n-1}}. \quad (13)$$

За нормативное принимают значение  $v=13,5\%$ . При указанных значениях  $t$  и  $v$  расчетную кубиковую прочность определяют по формуле

$$R_m = B/0,0778, \quad (14)$$

где  $B$  назначается в МПа, а  $R_m$  в кгс/см<sup>2</sup>, принимая  $1 \text{ МПа} \approx 10 \text{ кгс/см}^2$ .

Прочность бетона в партии  $R_m$ , МПа, вычисляют по формуле

$$R_m = \frac{\sum_{i=1}^n R_i}{n}, \quad (15)$$

где  $R_i$  – единичное значение прочности бетона, МПа;  $n$  – общее число единичных значений прочности бетона в партии. За единичное значение прочности бетона принимают среднюю прочность бетона в одной серии образцов, определенную по ГОСТ 10180.

- при определении рациональности новых конструктивных или технологических решений.

Если неоднородность изготавливаемого бетона выше заданной, т.е.  $v > 13,5\%$ , то чтобы обеспечить назначенный для данной конструкции класс бетона, приходится согласно формуле (11) увеличивать расчетную марку бетона с соответствующим увеличением расхода цемента, что экономически невыгодно.

При контроле прочности по образцам среднее квадратическое отклонение прочности бетона в партии  $S_m$ , МПа, при числе единичных значений прочности бетона в партии  $n$  больше шести вычисляют по формуле (13). Если число единичных значений прочности бетона в партии от двух до шести, значение  $S_m$  вычисляют по формуле

$$S = \frac{W_m}{\alpha}, \quad (16)$$

где  $W_m$  – размах единичных значений прочности бетона в контролируемой партии, определяемый как разность между максимальным и минимальным единичными значениями прочности, МПа;  $\alpha$  – коэффициент, зависящий от числа единичных значений  $n$  и принимаемый по табл. 8.

Таблица 8 – Значения коэффициента  $\alpha$

|                                |      |      |      |      |     |
|--------------------------------|------|------|------|------|-----|
| Число единичных значений $n$   | 2    | 3    | 4    | 5    | 6   |
| Значение коэффициента $\alpha$ | 1,13 | 1,69 | 2,06 | 2,33 | 2,5 |

### Контрольные вопросы

1. Какие разновидности асфальтобетона существуют
2. Расскажите о маркировке асфальтобетона, к примеру, что

представляет собой щебеночно-мастичный асфальтобетон щма-15?

3. Чем отличается крупнозернистый асфальтобетон?
4. Что представляет собой укладка асфальта?

## ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА 8

### Гидроизоляционные материалы. Испытание кровельных материалов по ГОСТ

**Цель работы:** ознакомиться со стандартными методами испытания рулонных кровельных и гидроизоляционных материалов.

#### Теоретическая часть

#### Кровельные материалы

**Кровельные материалы** подвергаются периодическому увлажнению и высушиванию, воздействию прямого солнечного излучения (особенно опасно действие ультрафиолетовых лучей), нагреву, замораживанию, снеговым и ветровым нагрузкам. Для длительной работы в таких условиях кровельные материалы должны быть атмосферостойкими, свето-, водо- и морозостойкими и достаточно прочными. В тех же случаях, когда крыша является видимым элементом сооружения (мансардные, двухскатные и т.п. кровли), материал должен отвечать определенным архитектурно-декоративным требованиям.

Основной задачей, решаемой с помощью как кровельных, так и гидроизоляционных материалов, является создание **водонепроницаемого покрытия**, защищающего изолируемую конструкцию или здание в целом от воздействия влаги. Однако условия эксплуатации кровельных материалов отличаются от условий, в которых работают гидроизоляционные материалы.

Основными требованиями, предъявляемыми к гидроизоляционным материалам, являются полная водонепроницаемость, долговечность, базирующаяся на гнилостойкости и коррозионной стойкости, прочность на разрыв, а также технологичность и экономичность.

**Технологичность и экономичность** - общее требование ко всем кровельным и гидроизоляционным материалам.

Для изготовления кровельных и гидроизоляционных материалов и изделий используются разнообразные материалы: металлы, керамика, асбестоцемент, битумы, полимеры и др. Ниже рассмотрены кровельные и гидроизоляционные материалы, содержащие битумные вяжущие вещества.

#### Виды кровельных и гидроизоляционных материалов

Кровельные и гидроизоляционные битумосодержащие материалы выпускают в виде рулонов, мембран(плёнок), штучных изделий и мастик:

- **рулонные** - полотна шириной 1 м и длиной 7...20 м, поставляемые на стройку в рулонах;
- **мембранные (плёночные)** — большеразмерные полотна площадью до 900 м<sup>2</sup>, шириной до 15 м, длиной до 60 м.

- **штучные и листовые** — листы или полосы площадью до 1 м<sup>2</sup> и до 7 м<sup>2</sup> соответственно;

- **мастичные** — вязкие жидкости, образующие водонепроницаемую пленку после нанесения на изолируемую конструкцию.

Выбор того или иного типа материала зависит от многих факторов: *конструктивных* (угол наклона крыши, материал основания и др.); *технологических* (простота устройства покрытия); *архитектурно-декоративных* (цвет и фактура поверхности кровли); *экономических* (стоимость и долговечность).

## Рулонные материалы

**Рулонные материалы** применяются для устройства мягких кровель зданий с уклоном от 0 до 15%.

В соответствии с ГОСТ 30547-97 рулонные кровельные материалы классифицируют по следующим признакам:

- **по назначению:**

*кровельные*, предназначенные для устройства однослойного, верхнего и нижнего слоев многослойного кровельного ковра;

*гидроизоляционные*, предназначенные для устройства гидроизоляции строительных конструкций;

*пароизоляционные*, предназначенные для устройства пароизоляции строительных конструкций.

- **по структуре полотна:**

*на основные* (одно- и многоосновные) и *безосновные*;

- по виду основы:

*на картонной, асбестовой, стекловолокнуистой основе, на основе из полимерных волокон, на комбинированной основе*;

- по виду вяжущего: *на битумные* (наплавляемые и ненаплавляемые), *битумнополимерные* (наплавляемые и ненаплавляемые), *полимерные* (эластомерные вулканизованные и невулканизованные, термопластичные);

- по виду защитного слоя: *с посыпкой* (крупнозернистой, чешуйчатой, мелкозернистой, пылевидной), *с фольгой, с пленкой*.

Оценку качества рулонных кровельных и гидроизоляционных материалов производят в соответствии с ГОСТ 2678-94 по следующим основным показателям: *разрывной силе при растяжении, водопоглощению, гибкости на брусе, теплостойкости, водонепроницаемости и др.*

Разрывную силу при растяжении определяют испытанием трех образцов-полосок размерами 300x50 мм, вырезанных в продольном направлении. Образец помещают в захваты разрывной машины по установочным меткам, которые предварительно наносят на образец; расстояние между метками 200 мм. Разрывная машина для испытаний должна обеспечивать рабочую часть шкалы силоизмерителя в пределах измерений 0-1000 Н (0- 100 кгс) с ценой деления не более 2 Н (0,2 кгс) и постоянную скорость перемещения подвижного захвата (100±10) мм/мин.

За величину разрывной силы принимают максимальное показание шкалы силоизмерителя в момент разрыва образца.

Разрывная сила при растяжении рулонных основных битумных и битумо-полимерных материалов должна быть не менее, Н (кгс):

- 215 (22) – на картонной основе;
- 294 (30) – на стекловолокнутой основе;
- 343 (35) – на основе из полимерных волокон;
- 392 (40) – на комбинированной основе

• Водопоглощение определяют выдерживанием образцов материала размерами 100x100 мм в воде в течение определенного времени. Перед испытанием посыпки и пленку с образцов счищают хлопчатобумажной тканью или щеткой.

Подготовленный образец взвешивают ( $m_1$ ), а затем погружают на 60 с в сосуд с водой, после чего его извлекают из воды, вытирают хлопчатобумажной тканью или фильтровальной бумагой в течение 30-60 с и взвешивают ( $m_2$ ). Затем образец снова помещают в воду таким образом, чтобы слой воды над ним был не менее 50 мм и выдерживают в течение времени, указанного в технических условиях (ТУ) на конкретный материал (как правило, в течение 24 ч). После этого образец извлекают из воды, осушают и взвешивают ( $m_3$ ). Время с момента извлечения образца из воды до взвешивания не должно превышать 60 с.

Водопоглощение (W) в процентах по массе вычисляют по формуле:

$$W = \frac{m_3 - m_2}{m_1} \cdot 100$$

где  $m_1$  - масса сухого образца, г;  $m_2$  - масса образца после одноминутной выдержки в воде, г;  $m_3$  - масса образца после заданной выдержки в воде, г.

Водопоглощение рулонных материалов (кроме пергамина) предусмотрено не более 2,0% по массе.

• Стойкость к низким температурам или гибкость на брус - минимальная температура, при которой образец материала не трескается при загибе его вокруг бруса, изготовленного из твердой древесины, пластмассы или другого материала низкой теплопроводности и имеющего с одной стороны закругление радиусом R (рисунок 10.1). Радиус должен быть указан в ТУ на конкретный материал.

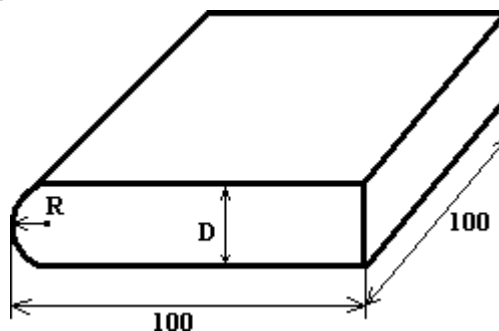


Рисунок 10.1 – Брус для испытания материалов на гибкость

Испытания проводят на трех образцах размерами 150x20 мм, вырезанных в продольном направлении.

Образцы и испытательный брус помещают в морозильную камеру, холодильник или охлаждающую смесь и выдерживают при заданной температуре 20 мин. По истечении заданного времени образец и испытательный брус извлекают из испытательной среды и прикладывают к ровной поверхности бруса нижней стороной таким образом, чтобы к нему прилегало около четверти длины образца. Свободный конец образца изгибают в течение 5 с вокруг закругленной части бруса до достижения другой ровной поверхности (образец принимает U-образную форму). Производят контроль внешнего вида образца. Время с момента извлечения образца из испытательной среды и до конца испытания не должно превышать 15 с.

Образец считают выдержавшим испытание, если на его лицевой стороне (для фольгоизола - на слое вяжущего) не появятся трещины (разрывы слоя вяжущего) и отслаивание вяжущего или посыпки. Рулонные материалы должны выдерживать испытание на гибкость в условиях, приведённых в таблице 10.1.

Таблица 10.1 – Условия испытания рулонных материалов на гибкость

| Вид материала         | Условия испытания рулонных материалов на гибкость |                              |
|-----------------------|---------------------------------------------------|------------------------------|
|                       | на брусе с закруглением радиусом, мм              | при температуре, °С, не выше |
| Битумные              |                                                   |                              |
| на картонной основе   | 25±0,2                                            | 5                            |
| на волокнистой основе | 25±0,2                                            | 0                            |
| Битумно-полимерные    | 25±0,2                                            | -15                          |
| Полимерные:           |                                                   |                              |
| эластомерные          | 5±0,2                                             | -40                          |
| термопластичные       | 5±0,2                                             | -20                          |

Теплостойкость определяют испытанием трех образцов материала размерами 100x50 мм, вырезанных в продольном направлении. Сушильный шкаф нагревают до температуры, указанной в ТУ на конкретный материал. Образец подвешивают в вертикальном положении на расстоянии не менее 50 мм от стенок шкафа и выдерживают в сушильном шкафу при заданной температуре в течение времени, установленного в ТУ на данный материал. Затем образец извлекают из шкафа, охлаждают и осматривают.

Образец считают выдержавшим испытание на теплостойкость, если на его поверхности отсутствуют вздутия, следы стекания покровного состава или вяжущего и сползание посыпки.

Водонепроницаемость материала оценивают отсутствием пропускания воды через образец за определенное время под определенным давлением: для кровельных материалов - не менее 0,001 МПа (10 см вод. столба); для гидроизоляционных материалов — не менее 0,2 МПа (20 м вод. столба).

Испытание проводят на трех образцах размерами 150х150 мм.

Для испытания *кровельных материалов* в центр образца устанавливают стальную трубу диаметром 100-110 мм и длиной не более 120 мм. Для создания давления 0,001 МПа (10 см вод. ст.) в трубу наливают воду высотой 100 мм, количество которой поддерживают на постоянном уровне в течение времени, установленного в ТУ на конкретный материал (как правило, в течение 72 ч).

Испытание *гидроизоляционных материалов* проводят с помощью устройства, обеспечивающего создание избыточного гидростатического давления до 0,3 МПа (30 м вод.ст.) в течение времени, указанного в ТУ на конкретный материал (как правило, в течение 2 ч).

Образец считают выдержавшим испытание, если в течение установленного времени при заданном давлении на его нижней поверхности не появится вода.

### **Битумные материалы на картонной основе**

Первые рулонные материалы, среди которых *пергамин* и *рубероид*, появились еще в конце XIX в. Основой этих материалов служит кровельный картон, пропитанный и покрытый битумными вяжущими.

Кровельный картон получают из вторичного текстиля, макулатуры и древесного сырья. Он имеет рыхлую структуру и хорошо впитывает влагу и другие жидкости (в частности, расплавленный битум). При увлажнении, под действием солнечного излучения и в результате гниения картон теряет свои свойства. Пропитка битумом замедляет эти процессы. Основными качественными показателями кровельного картона являются впитываемость, время пропитки и разрывной груз. В зависимости от качественных показателей картон подразделяется на шесть марок, которые определяются его поверхностной плотностью (массой 1 м<sup>2</sup> картона в г): А-420, А-350, А-250, Б-420, Б-350, Б-250.

*Рубероид* (ГОСТ 10923-93) получают пропиткой кровельного картона мягким нефтяным битумом с последующим покрытием материала с обеих сторон тугоплавким битумом. Для повышения атмосферостойкости лицевая сторона рубероида покрывается «бронирующей» крупнозернистой, чешуйчатой или мелкозернистой посыпкой (песком, слюдой, сланцевой мелочью и т.п.); для предотвращения слипания поверхностей полотна на нижнюю сторону наносят мелкую пылевидную посыпку (порошок из известняка или талька).

В зависимости от вида посыпки и поверхностной плотности картона рубероид подразделяется на несколько марок, в обозначении которых первая буква «Р» указывает, что это рубероид; вторая буква «К» или «П» - на вид - кровельный или подкладочный; третья буква «К», «Ч», «М» или «П» означает вид посыпки (крупнозернистая, чешуйчатая, мелкозернистая, пылевидная (подкладочный рубероид имеет пылевидную посыпку с двух сторон)), число

обозначает марку кровельного картона. Например, РПП-300, РКП-350, РКК-350, РКЧ350, РКК-400.

Таблица 10.2 – Физико-механические показатели рубероида

| Марка рубероида                                         | РКК-400 | РКП-350 | РПП-300 |
|---------------------------------------------------------|---------|---------|---------|
| Разрывная нагрузка, Н, не менее                         | 340     | 280     | 220     |
| Водопоглощение, %, не более                             | 2       | 2       | 2       |
| Гибкость на брусе, мм/°С                                | 15/+5   | 15/+5   | 15/+5   |
| Теплостойкость, °С, не ниже                             | 80      | 80      | 80      |
| Водонепроницаемость при давлении 0,001 МПа в течение, ч | 72      | 72      | 72      |

*Пергамин* (ГОСТ 2697-83) - беспокровный рулонный материал, получаемый пропиткой кровельного картона легкоплавким нефтяным битумом. Применяют пергамин для устройства пароизоляции строительных конструкций и реже для нижних слоев кровельного ковра. Марки пергамина П-250; П-300; П-350 («П» - пергамин; 250, 300, 350 - марка картона)

Таблица 10.3 – Физико-механические показатели пергамина

| Марка пергамина                                         | П-250 | П-300 | П-350 |
|---------------------------------------------------------|-------|-------|-------|
| Разрывная нагрузка, Н, не менее                         | 220   | 270   | 270   |
| Водопоглощение, %, не более                             | 20    | 20    | 20    |
| Гибкость на брусе, мм/°С                                | 6/+18 | 6/+18 | 6/+18 |
| Теплостойкость, °С, не ниже                             | 80    | 80    | 80    |
| Водонепроницаемость при давлении 0,001 МПа в течение, ч | 10    | 10    | 10    |

К преимуществам всех рулонных материалов можно отнести то, что они вне зависимости от условий производства работ и состояния поверхности создают изоляционный слой с необходимой гарантированной толщиной.

Серьезным недостатком кровель из пергамина и рубероида является их недолговечность. Обусловлено это, с одной стороны, невысокой теплостойкостью, прочностью и биостойкостью картонной основы. С другой стороны, быстрым «старением» битума под воздействием солнечной радиации: из-за испарения масел и окисления битума это вяжущее становится хрупким, интенсивно идут процессы растрескивания по поверхности полотна. Через образовавшиеся трещины вода беспрепятственно проникает до картонной основы, которая разлагается под воздействием влаги и в результате материал разрушается.

Серьезным недостатком материалов на картонной основе является их высокое водопоглощение и невозможность получения абсолютно герметичного стыка полотнищ; поэтому 10 такие кровли делаются многослойными (4÷5 слоев). Реальный срок безремонтной эксплуатации битумных кровель не превышает, как правило, 2-3 лет. В настоящее время в массовом многоэтажном строительстве рубероид запрещен к применению.

В связи с этим возник вопрос улучшения качества рулонных кровель путём осуществления усовершенствования рулонных кровельных материалов в следующих направлениях:

- замена картона на более прочную и долговечную основу;
- модификация битумного вяжущего;
- применение новых видов «бронирующих» посыпок.

Существенно облегчить и ускорить устройство кровельного ковра и создать возможность работы при относительно низких температурах позволил выпуск *наплавляемых рулонных материалов*. Такие материалы, в отличие от ненаплавляемых, имеют утолщённый слой из приклеивающей битумной мастики. Полотна приклеиваются к подготовленному основанию путем оплавления мастичного слоя газовой горелкой.

Примером такого материала может служить рулонный кровельный и гидроизоляционный наплавляемый материал на стекловолоконистой основе *рубемаст*.

*Рубемаст* - наплавляемый рулонный материал на основе стеклохолста, на обе поверхности которого нанесены покровные слои, состоящие из высококачественного кровельного битума, наполнителя и пластификаторов. Кровельные и гидроизоляционные ковры из данного материала укладываются без применения мастик путем подплавления нижнего слоя материала. Рубемаст выпускается на картонной (целлюлозной) основе и на негниющей основе - из армированного стеклохолста. Марки материала – ХПП 1,5, ХПП 2,0, ХПП 2,5, ХПП 3,0, ХКП 4,0, где первая буква указывает на тип основы («Х» - стеклохолст), вторая буква – тип лицевой стороны («К» - крупнозернистая посыпка, «П» - полимерная плёнка), третья буква – тип нижней стороны («П» - полимерная плёнка), защищающая слои материала от слипания при хранении.

Таблица 10.4 – Физико-механические показатели рубемаста

| Марка рубемаста                                         | ХПП  | ХКП  |
|---------------------------------------------------------|------|------|
| Разрывная нагрузка, Н, не менее                         | 363  | 363  |
| Водопоглощение, %, не более                             | 1,5  | 1,5  |
| Гибкость на брус, мм/°С                                 | 25/0 | 25/0 |
| Теплостойкость, °С, не ниже                             | 85   | 85   |
| Водонепроницаемость при давлении 0,001 МПа в течение, ч | 72   | 72   |

### Битумные материалы на негниющих основах

Повышение долговечности рулонных материалов возможно путем замены непрочного и нестойкого к гниению кровельного картона на более прочные водо- и гнилостойкие осно-вы из полимерных волокон (полиэфир), стекловолокна (стеклохолст, стеклоткань) и алю-миниевой фольги. В настоящее время промышленность выпускает целый ряд битумных рулонных материалов на негниющей основе: гидростеклоизол, линокром, фольгоизол и др. Срок службы битумных покрытий на негниющих основах составляет 10÷15 лет.

*Гидростеклоизол* (ТУ 5774-010-051108038-99) - гидроизоляционный наплавляемый битумный материал на стекловолоконистой (стеклоткань — «Т»; стеклохолст — «Х») основе, предназначенный для гидроизоляции железобетонных отделок тоннелей, пролетных строений мостов, путепроводов и подземных переходов, фундаментов и подвалов в гражданском и промышленном строительстве, а также для нижнего слоя кровельного ковра. Тип покрытия лицевой стороны или нижней стороны — полиэтиленовая пленка («П»), крупно- зернистая посыпка («К») или суспензия («С»). Марки гидростеклоизола: ТСП, ТСС, ХПП, ТПП, ХКП, ТКП.

Таблица 10.5 – Физико-механические показатели гидростеклоизола

| Марка гидростеклоизола                                  | ХПП/ХКП | ТПП/ТКП |
|---------------------------------------------------------|---------|---------|
| Разрывная нагрузка, Н, не менее                         | 363     | 500     |
| Водопоглощение, %, не более                             | 2,0     | 2,0     |
| Гибкость на брусе, мм/°С                                | 25/-8   | 25/-8   |
| Теплостойкость, °С, не ниже                             | 85      | 85      |
| Водонепроницаемость при давлении 0,001 МПа в течение, ч | 72      | 72      |

*Линокром* — битумный рулонный наплавляемый материал на гнилостойкой основе (стеклохолст, стеклоткань, полиэфир). Материал с крупнозернистой минеральной посыпкой предназначен для верхнего слоя кровельного ковра, с пылевидной посыпкой - для нижних слоев и гидроизоляции. Марки устанавливаются в зависимости от типа основы. Линокром ХПП и ХКП (СХ) - основа стеклохолст, линокром ТПП и ТКП (СТ) — основа стеклоткань, линокром ЭПП и ЭКП – основа полиэстер. Вторая буква в обозначении марки подразделяет линокром на подкладочный («П») и кровельный («К»).

Таблица 10.6 – Физико-механические показатели линокрома

| Марка линокрома                                         | ТПП/ТКП | ХПП, ХКП | ЭПП/ЭКП |
|---------------------------------------------------------|---------|----------|---------|
| Разрывная нагрузка, Н, не менее                         | 360     | 500      | 350     |
| Водопоглощение, %, не более                             | 1,0     | 1,0      | 1,0     |
| Гибкость на брусе, мм/°С                                | 25/-5   | 25/-5    | 25/-5   |
| Теплостойкость, °С, не ниже                             | 85      | 85       | 85      |
| Водонепроницаемость при давлении 0,001 МПа в течение, ч | 72      | 72       | 72      |

*Фольгоизол* (ГОСТ 20429-84) — рулонный материал на основе алюминиевой фольги (толщиной 0,08÷0,2 мм), покрытой с нижней стороны слоем резино-битумного или резино-полимерного вяжущего, состоящего из битума, резины и минерального наполнителя. Фольгоизол выпускают двух марок: кровельный - ФК и гидроизоляционный — ФГ. Кровельный применяется для устройства верхнего слоя рулонного ковра с различными уклонами и конфигурацией кровель, гидроизоляционный - для устройства защитного гидроизоляционного слоя теплоизоляции трубопроводов, герметизации стыков на кровельном покрытии. Срок службы - 20 лет.

Таблица 10.7 – Физико-механические показатели фольгоизола

| Марка фольгоизол                                        | ФК     | ФГ     |
|---------------------------------------------------------|--------|--------|
| Разрывная нагрузка, Н, не менее                         | 240    | 240    |
| Водопоглощение, %, не более                             | 0,5    | 0,5    |
| Гибкость на брусе, мм/°С                                | 25/-25 | 25/-15 |
| Теплостойкость, °С, не ниже                             | 100    | 110    |
| Водонепроницаемость при давлении 0,001 МПа в течение, ч | 72     | 2      |

### Битумно-полимерные материалы на негниющих основах

Серьезным недостатком материалов на битумном вяжущем является узкий интервал их рабочих температур: *битум* становится хрупким при охлаждении до  $0\div 5^{\circ}\text{C}$  и начинает течь при  $80\div 90^{\circ}\text{C}$ . Расширить интервал рабочих температур, придав битуму эластичность на морозе и подняв температуру текучести, а также повысить устойчивость к ультрафиолетовому излучению удалось путем модификации битума полимерами. Для этого используют синтетические каучуки, в частности, стирол-бутадиен-стирольный каучук (СБС), и термопласты, в основном, атактический полипропилен (АПП). Материалы этой группы являются наплавляемыми и укладываются в 2 слоя. Срок службы битумно-полимерной изоляции составляет  $25\div 30$  лет.

Ниже представлены некоторые примеры рулонных битумно-полимерных материалов на негниющей основе.

*Филизол* (ТУ 5774-002-04001232-99) - битумно-полимерный кровельный и гидроизо-ляционный материал на стекловолоконной или полиэфирной основе. В зависимости от типа покрытия поверхности существуют следующие марки: *филизол В* - поверхность покрыта крупнозернистой посыпкой - применяется для устройства верхнего слоя кровельного ковра, *филизол Н* - поверхность покрыта пылевидной посыпкой или полиэтиленовой пленкой - применяется для нижнего слоя кровельного ковра. Так же в настоящее время выпускается *филизол Супер*, предназначенный для укладки кровельного ковра в один слой.

Таблица 10.8 – Физико-механические показатели филизола

| Марка филизола                                          | Филизол В | Филизол Н | Филизол Супер |
|---------------------------------------------------------|-----------|-----------|---------------|
| Разрывная нагрузка, Н, не менее                         | 490       | 294       | 500           |
| Водопоглощение, %, не более                             | 1,5       | 1,5       | 1,5           |
| Гибкость на брусе, мм/°С                                | 25/-18    | 25/-18    | 25/-18        |
| Теплостойкость, °С, не ниже                             | 85        | 85        | 85            |
| Водонепроницаемость при давлении 0,001 МПа в течение, ч | 72        | 2         | 72            |

*Изопласт* (ТУ 5774-005-05766480-95) - битумно-полимерный кровельный и гидроизо-ляционный материал. Основа — нетканое полотно из полиэфирных волокон. У марок, предназначенных для верхнего слоя кровельного ковра, - *изопласт К* - лицевая сторона за-щищена крупнозернистой посыпкой, а у марок, рекомендуемых для нижнего слоя кро-вельного ковра, - *изопласт П* («П» - подкладочный) - лицевая сторона защищена мелко-зернистой посыпкой или полиэтиленовой пленкой; нижняя сторона того и другого мате-риала покрыта полиэтиленовой пленкой. *Изопласт П* рекомендуется также для устройства гидроизоляции фундаментов, подземных сооружений, бассейнов, мостов и т.п.

Таблица 10.9 – Физико-механические показатели изопласта

| Марка изопласта                                         | Изопласт К | Изопласт П |
|---------------------------------------------------------|------------|------------|
| Разрывная нагрузка, Н, не менее                         | 600        | 360        |
| Водопоглощение, %, не более                             | 1,0        | 1,0        |
| Гибкость на брусе, мм/°С                                | 10/-15     | 10/-15     |
| Теплостойкость, °С, не ниже                             | 120        | 120        |
| Водонепроницаемость при давлении 0,001 МПа в течение, ч | 72         | 2          |

### Безосновные битумно-полимерные материалы

*Изол* (ГОСТ 10296-79) - безосновный, биостойкий, гидроизоляционный и кровельный материал, получаемый из резино-битумного вяжущего, пластификатора, наполнителя, ан-тисептика и полимерных добавок. Нижняя поверхность полотна (внутренняя в рулоне) по-крыта пылевидной посыпкой. Выпускают *изол* двух марок: *И-БД* (без полимерных добавок) и *И-ПД* (с полимерными добавками). Изол предназначен для устройства плоских кровель, для гидроизоляции подвалов и фундаментов зданий, туннелей, мостов и бассейнов, паро-изоляции покрытий, для защиты наружной поверхности стальных труб тепловых сетей от коррозии. Изол долговечнее рубероида в 2 раза. Он эластичен, гниlostоек, обладает хорошей деформативностью даже при отрицательных температурах, водонепроницаем, пластичен и биостоек.

Таблица 10.10 – Физико-механические показатели изола

| Марка изола                                             | И-БД  | И-ПД  |
|---------------------------------------------------------|-------|-------|
| Разрывная нагрузка, Н, не менее                         | 40    | 120   |
| Водопоглощение, %, не более                             | 1,0   | 0,8   |
| Гибкость на брусе, мм/°С                                | 5/-15 | 5/-15 |
| Теплостойкость, °С, не ниже                             | 150   | 120   |
| Водонепроницаемость при давлении 0,001 МПа в течение, ч | 72    | 2     |

## Кровельные и гидроизоляционные мембраны

Для устройства кровель промышленных и общественных зданий с малыми уклонами (от 0 до 10%) и прочными плотными основаниями в последнее время находят всё более широкое применение *кровельные и гидроизоляционные мембраны*.

Мембраны изготавливают из смесей на основе высокоэластичных полимеров, таких как пластифицированные ПВХ, сополимер этилена, полиэтилена и диена (ЭПДМ), термопластичных полиолефинов (ТПО). Применяют так же мембраны, армированные полиэфирной сеткой. Особенностью ПВХ мембран является их несовместимость с нефтепродуктами в отличие от ТПО мембран, что необходимо учитывать при выборе гидроизоляционного материала. Однако сбалансированные добавки в составе мембраны ПВХ позволяют применять данную кровельную мембрану на объектах с повышенными требованиями по огнестойкости (атомных электростанциях).

Материал мембран имеет относительное удлинение 200-400%, обладает высокой прочностью на растяжение и прокол, характеризуется высокой водонепроницаемостью и атмосферостойкостью. Материал сохраняет свои свойства в интервале температур от минус 60°C до плюс 100°C.

В заводских условиях производят сварку заготовленных полос материала в полотнища необходимого размера в соответствии с планом конкретной кровли. Прочность сварочного шва превышает прочность самого материала. Площадь мембранных полотнищ до 900 м<sup>2</sup>, что обуславливает быстроту устройства кровельных покрытий. При толщине 1,2-1,5 мм масса 1 м<sup>2</sup> составляет 1,4-1,8 кг.

Полотнища подаются на крышу в сложенном виде в строго определённое место кровли и раскатываются, покрывая все элементы конструкции с учётом фонарей, вентиляционных шахт и другого инженерного оборудования.

Мембрана крепится к основанию сплошным приклеиванием, точечным приклеиванием или пригружается гравием либо бетонными плитками. В последнем случае крыша может быть эксплуатируемой.

На российский строительный рынок основными поставщиками кровельных и гидроизоляционных мембран являются фирмы Icopal, Sika, Firestone, Технониколь и др.

Ниже представлены физико-механические свойства некоторых типов мембран (ГОСТ 2678-94 с изм. 1 и доп. По ТУ 5774-001-56818267-2005).

Таблица 10.11 – Физико-механические показатели мембран *Logicroof TPO*

| Марка                           | P     | P-MW  |
|---------------------------------|-------|-------|
| Разрывная нагрузка, Н, не менее | 14.7  | 14.4  |
| Водопоглощение, %, не более     | 0     | 0,2   |
| Гибкость на брусе, мм/°C        | 5/-55 | 5/-55 |

|                                                         |     |     |
|---------------------------------------------------------|-----|-----|
| Теплостойкость, °С, не ниже                             | 100 | 100 |
| Водонепроницаемость при давлении 0,001 МПа в течение, ч | 72  | 2   |

Таблица 10.12 – Физико-механические показатели мембран *Logicroof PVC*

| Марка                                                   | RP    | R2P   | SR    |
|---------------------------------------------------------|-------|-------|-------|
| Разрывная нагрузка, Н, не менее                         | 17.7  | 13.9  | 15.2  |
| Водопоглощение, %, не более                             | 0.1   | 0,1   | 0     |
| Гибкость на брус, мм/°С                                 | 5/-40 | 5/-40 | 5/-50 |
| Теплостойкость, °С, не ниже                             | 100   | 100   | 100   |
| Водонепроницаемость при давлении 0,001 МПа в течение, ч | 72    | 72    | 2     |

## Штучные материалы

Рулонные материалы в основном применяют для крыш с малым уклоном. Зрительно они образуют монотонную темно-серую лишенную декоративности поверхность. Для плоских «невидимых» для людских глаз крыш это не имеет значения, в связи с чем в современном строительстве всё больше входят в моду крыши с большим уклоном ( $15\div 60^\circ$ ), применяемые для вальмовых и мансардных крыш, поверхность которых - один из основных декоративных элементов здания. Такие крыши уже являются важным архитектурным элементом здания, и в этом случае необходимы кровельные материалы, придающие кровле цвет и фактуру. Традиционно такими материалами были черепица, асбестоцементные листы, натуральный шифер (плитки из глинистого сланца) и т.п. Ниже рассмотрены мягкая черепица и гофрированные листы типа «ондулин», обязательным компонентом которых является битум.

*Мягкая (гибкая) черепица (мягкая кровля, битумная плитка, битумная черепица)* - штучный материал, получаемый на основе традиционных рулонных материалов вырубкой из полотна фигурных полос, которые при укладке напоминают кровлю из ленточной черепицы, натурального шифера или дранки. Минимальный угол наклона кровли  $10^\circ$ .

Основой плиток служит стеклохолст, покрытый с двух сторон окисленным битумом. В качестве «бронирующей» посыпки используют минеральные гранулы, покрытые керамической краской. Нижняя поверхность плитки покрыта слоем битумно-полимерного вяжущего и защищена тонкой полимерной пленкой, удаляемой в момент монтажа. Это обеспечивает исключительную устойчивость материала к воздействию ультрафиолета, ежедневным перепадам температур, атмосферным осадкам и другим неблагоприятным климатическим условиям. Прогнозируемая долговечность мягкой черепицы не менее 30 лет.

Один из наиболее популярных видов гибкой черепицы «Руфлекс» производится финской фирмой «Катепал». Этот материал представляет собой листы размером 1000х317 мм, имитирующие 4 штуки простейшей ленточной черепицы различной формы.

Таблица 10.13 – Физико-механические показатели плиток *Руфлекс*

|                                 |       |
|---------------------------------|-------|
| Разрывная нагрузка, Н, не менее | 600   |
| Гибкость на брусе, мм/°С        | 30/-5 |
| Теплостойкость, °С, не ниже     | 85    |

Кроме гибкой черепицы «Руфлекс» финской фирмы «Катепал», всё более широкое применение на российском строительном рынке находят мягкая черепица итальянской компании «Тегола», финской компании «Икопал», а так же российский аналог «Шин-гласс» компании «Технониколь».

*Гофрированные кровельные листы* (типа «Ондулин») - штучный материал для кровель в виде гибких волнистых листов размером 200х100 см и толщиной 3 мм (вес листа около 6 кг). Листы представляют собой гофрированный картон, пропитанный битумно-полимерным вяжущим и окрашенный с лицевой стороны атмосферостойкой краской на винил-акриловом связующем. Окраска создает декоративный эффект и защищает картон и битум от действия солнечного излучения. Гофрированный кровельный лист обеспечивает хорошую звукоизоляцию, характеризуется высокой химической и биостойкостью, а также хорошей погодостойкостью. Долговечность материала более 30 лет.

Таблица 10.14 – Физико-механические показатели листов типа «Ондулин»

|                                 |     |
|---------------------------------|-----|
| Разрывная нагрузка, Н, не менее | 960 |
| Гибкость на брусе, мм/°С        | 0,5 |
| Теплостойкость, °С, не ниже     | 110 |

## Мастичные материалы

Мастиками называют материалы, получаемые смешиванием органических вяжущих веществ с тонкодисперсными наполнителями и добавками, обладающими клеящей способностью.

Мастики применяют для устройства и ремонта мягких кровель, приклеивания отделочных, теплоизоляционных материалов; для защиты наземных и подземных сооружений и конструкций фундаментов, стен и полов подвалов, открытых помещений, бассейнов, очистных сооружений; для антикоррозионной защиты металлоконструкций.

В отличие от рулонных материалов мастики после нанесения и отвердевания образуют гидроизоляционную пленку, практически не имеющую стыков. Мастики позволяют формировать ковер на поверхностях, имеющих сложную конфигурацию с большим количеством архитектурных деталей. Применение мастик позволяет в 2-4 раза снизить стоимость гидроизоляции.

В соответствии с ГОСТ 30693-2000 мастики классифицируют по следующим основным признакам:

- по назначению: *кровельные* (предназначенные для устройства мастичных и ремонта всех типов кровель); *приклеивающие* (для приклеивания рулонных кровельных и гидроизоляционных материалов и для устройства защитных слоев кровель); *гидроизоляционные* и *пароизоляционные* (для устройства мастичных слоев гидро- и пароизоляции);
- по виду основных исходных компонентов: *битумные*, *битумно-эмульсионные*, *битумно-резиновые*, *битумно-полимерные*, *полимерные*;
- по виду разбавителя мастики подразделяют на содержащие: *воду*, *органические растворители*;
- по характеру отверждения: *отверждающиеся* (в том числе вулканизирующиеся), *неотверждающиеся*. Отверждающиеся мастики могут быть одно- и многокомпонентными;
- по способу применения: *горячие* (с предварительным подогревом перед применением); *холодные* (не требующие подогрева, содержащие растворитель и эмульсионные).

В зависимости от условий эксплуатации к мастикам предъявляют определенные технические требования по условной прочности, теплостойкости, гибкости, водопоглощению и др.

- *Условную прочность* битумно-полимерных мастик определяют испытанием образцов-лопаток типа 1 или 2.

Тип образца-лопатки выбирают в зависимости от вида мастики и указывают в ТУ на мастику этого вида. Образец помещают в захваты разрывной машины по установочным меткам. Приводят в действие механизм растяжения и фиксируют силу и длину рабочего участка в момент разрыва или максимального значения силы.

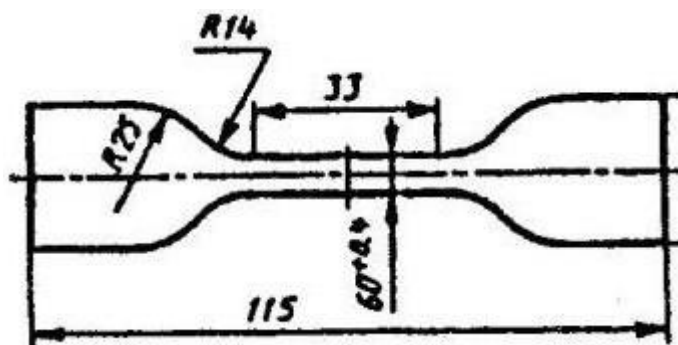


Рисунок 10.2 – Образец лопатка типа 1

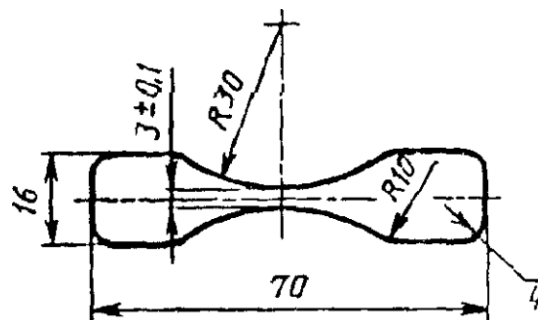


Рисунок 10.3 – Образец лопатка типа 2

Условную прочность ( $\sigma$ ) в МПа (Н/см<sup>2</sup>) вычисляют по формуле:

где  $P_r$  - разрывная сила, Н,  $b$  - ширина образца-лопатки, см,  $h_0$  - толщина образца-лопатки, см;

- *Теплостойкость* определяют испытанием образцов материала, отформованных в виде пленок размерами 100x50 мм. Сушильный шкаф нагревают до температуры, указанной в ТУ на мастику конкретного вида.

Измеряют первоначальную длину образца-пленки ( $l_1$ ). Образец подвешивают в сушильном шкафу в вертикальном положении на расстоянии не менее 50 мм от стенок шкафа и выдерживают при заданной температуре в течение времени, указанного в НД на мастику конкретного вида. Затем образец извлекают из шкафа, охлаждают, осматривают и измеряют длину ( $l_2$ ).

Мастику считают выдержавшей испытание на теплостойкость, если на поверхности образца не появятся вздутия и подтеки, а также не происходит увеличение длины сверх нормативной.

Увеличение длины ( $\Delta l$ ) в процентах вычисляют по формуле:

$$\Delta l = \frac{l_2 - l_1}{l_1} \cdot 100,$$

где  $l_1$  - длина образца-пленки до испытания, мм;  $l_2$  - длина образца-пленки после испытания, мм.

Результат округляют до 1%.

- *Гибкость* горячих битумных мастик определяют по ГОСТ 2889-80 путем изгибания образца пергамина предварительно выдержанного в воде размером 50x100 мм с нанесенной на него мастикой по полуокружности стержня определенного диаметра при заданной температуре.

*Гибкость* битумно-полимерных, битумно-резиновых мастик определяют загибом образцов размерами 120x20 мм вокруг бруса, изготовленного из твердой древесины, пластмассы или другого материала низкой теплопроводности и имеющего с одной стороны закругление радиусом  $R$  (см. п. 2.1.). Радиус должен быть указан в ТУ на конкретный материал.

Перед испытанием при положительной температуре образец помещают в сосуд с водой, температура которого должна соответствовать установленной в ТУ на мастику конкретного вида, и выдерживают 10 +/- 0,5 мин. При проведении испытания при 0°C образец помещают в воду со льдом, а при отрицательных температурах - в морозильную камеру или охлаждающую смесь и выдерживают в течение 20 +/- 0,5 мин. Состав охлаждающей смеси должен быть указан в НД на мастику конкретного вида.

В обоих случаях мастику считают выдержавшей испытание, если на поверхности образца не образуются трещины.

- *Водопоглощение* определяют выдерживанием образцов материала размерами 50x50 мм в воде в течение определенного времени по методике, описанной в п. 2.1.

- *Водонепроницаемость* материала определяют временем, в течение которого образец не пропускает воду при определенном давлении: для кровельных мастик - не менее 0,001 МПа (10 см вод. ст.) в течение не менее 72 ч; для гидроизоляционных мастик - не менее 0,03 МПа (3 м вод. ст.) в течение не менее 10 мин. Испытание проводят на образцах размерами 150x150 мм (см. п. 2.1).

Ниже приведены состав и основные физико-механические свойства мастик на битумо-содержащих вяжущих.

## Горячие мастики

Горячие мастики используют с предварительным подогревом до  $160\div 180^{\circ}\text{C}$ . В состав горячих мастик входят битумосодержащие вяжущие и наполнители. Наполнителями служат измельченные волокна асбеста, минеральной ваты, тонкомолотые известняки, мел, доломит, тальк, золы. Мастика может изготавливаться с добавками антисептиков и гербицидов. Мастики предназначены для устройства бесшовного кровельного покрытия, приклеивания рулонных материалов, для гидроизоляции строительных конструкций.

*Горячие битумные мастики* подразделяются на марки по теплостойкости (ГОСТ 2889-80): МБК-Г-55, МБК-Г-65, МБК-Г-75, МБК-Г-85, МБК-Г-100. Обозначения: "М" - мастика, "Б" - битумная, "К" - кровельная, "Г" - горячая.

Таблица 10.15 – Физико-механические показатели горячих битумных мастик

|                                    |           |
|------------------------------------|-----------|
| Водопоглощение, %, не более        | 2         |
| Гибкость на стержне, мм/°C         | 10-40*/18 |
| Теплостойкость, в течение 5 ч., °C | 55-110    |

\*Диаметр стержня выбирают в зависимости от марки мастики.

Горячие битумно-полимерные мастики изготавливают из битумно-полимерного вяжущего и минеральных наполнителей. Модификация битумного вяжущего полимером позволяет улучшить физико-механические характеристики исходного битума (прочность, эластичность, адгезию и др.), расширить температурный диапазон применения и замедлить процесс его старения. Примерами таких материалов могут служить российские мастики «Ижора», «Битален», «Эврика» и др.

Таблица 10.16 – Физико-механические показатели горячих битумно-полимерных мастик

|                                              |       |
|----------------------------------------------|-------|
| Условная прочность, МПа, не менее            | 0,2   |
| Водопоглощение, в течение 24 ч., %, не более | 2     |
| Гибкость на брусе, мм/°C                     | 5/-15 |
| Теплостойкость, °C, не ниже                  | 100   |

## Холодные мастики

Холодные мастики применяют при повышенных требованиях к технической безопасности, невозможности применения открытого огня при устройстве и ремонте мягких кровель, гидроизоляции металлических, железобетонных и других конструкций, для ремонта всех гибких водонепроницаемых соединений между кровельным покрытием и такими деталями, как трубы дымохода, вентиляционные трубы, купола, сливы и др., для заполнения щелей, трещин, пузырей в старых гидроизоляционных

битумных покрытиях. Холодные мастики представляют собой смеси органических вяжущих с наполнителями, разжижителями и добавками (пластификаторами). В качестве разбавителей (разжижителей) для получения холодных мастик применяют различные органические вещества: бензин, лигроин, керосин (летучие растворители), соляровое масло, мазут, нефть (нелетучие растворители). Нанесение холодных битумных мастик допускается производить при отсутствии атмосферных осадков и температуре окружающего воздуха не ниже +5°C.

По виду вяжущего холодные кровельные битумосодержащие мастики подразделяются на битумные и битумно-полимерные.

#### *Холодные битумные мастики*

*МБК-Х-1* изготавливается из смеси тугоплавкого битума БНК 90/40, извести-пушонки, асбеста и растворителя (солярового масла). Основные технические характеристики: теплостойкость - не менее 70°C; время затвердевания - не более 48 ч. Применяется для гидроизоляции строительных конструкций и защиты от коррозии.

#### *Холодные битумно-полимерные мастики*

*Битурел, армабизел, мабизел* - двухкомпонентные полиуретан-битумные композиции. Применяются для защиты наземных и подземных сооружений и конструкций фундаментов, стен и полов подвалов, открытых помещений, бассейнов, очистных сооружений, стальных трубопроводов, опор мостов, мачт ЛЭП и др. Обладают клеящим эффектом: на свежий гидроизоляционный слой можно приклеивать отделочные, теплоизоляционные, кровельные и другие материалы. Могут наноситься на влажное основание. Срок службы более 15 лет.

Таблица 10.17 – Физико-механические показатели битурела

|                                              |       |
|----------------------------------------------|-------|
| Условная прочность, МПа, не менее            | 1,0   |
| Водопоглощение, в течение 24 ч., %, не более | 1,5   |
| Гибкость на стержне, мм/°C                   | 5/-50 |
| Теплостойкость, °C, не ниже                  | 120   |

## **Оборудование и материалы**

Весы лабораторные электронные, емкость для выдерживания образцов, секундомер, пресс гидравлический, металлическая чашка с водой, измерительная линейка. ртутный лабораторный термометр; шкаф сушильный, посуда лабораторная стеклянная и фарфоровая, весы технические гиревые, штангенциркуль, линейка измерительная металлическая

## **Указания по технике безопасности**

Перед проведением лабораторных работ все студенты должны пройти инструктаж по технике безопасности и неуклонно соблюдать правила безопасности при работе в лаборатории.

Приступая к выполнению лабораторного задания, необходимо освободить лабораторный стол от ненужных предметов и следить за его чистотой. Для защиты одежды от загрязнений студенты должны пользоваться халатами или брезентовыми фартуками, резиновыми перчатками, холщовыми рукавицами и защитными очками. При работе, связанной с возможной угрозой для безопасности исполнителя, запрещается оставаться в помещении лаборатории одному.

Каждый работающий в лаборатории должен принимать во внимание огнеопасность, токсичность некоторых веществ, возможность образования взрывоопасных смесей.

Студентам запрещается самовольно включать и выключать лабораторное оборудование: гидравлический пресс, сушильный шкаф, электронный влагомер и другие. Нельзя оставлять оборудование и приборы включенными по окончании работы. Работать на лабораторном оборудовании можно только с ведома преподавателя и после ознакомления с инструкцией по работе на данном оборудовании.

### **Содержание отчета**

Отчет оформляется в рабочей тетради на листах формата А 4 и подшивается в скоросшиватель, заполняются все полученные значения характеристик строительных материалов, а также зарисовываются схемы испытаний, заполняются таблицы и приводятся формулы расчета основных физико-механических показателей материалов.

#### **Методика и порядок выполнения лабораторной работы**

#### **Определение стойкости к низким температурам – гибкости на брус, теплостойкости и разрывной нагрузки (условной прочности) рулонных кровельных и гидроизоляционных материалов**

**Задание:** ознакомиться со стандартными методами испытания рулонных кровельных и гидроизоляционных материалов.

#### ***Задание 1. Методы испытаний рулонных материалов по ГОСТ 2678-94***

**Методика:** Определить стойкость к низким температурам – гибкость на брус, теплостойкость, разрывную нагрузку (условную прочность), водонепроницаемость в соответствии с требованиями нормативной литературы ГОСТ ТУ.

Результаты испытаний вписать в таблицу рабочей тетради.

### **Контрольные вопросы**

1. Основные химические элементы, входящие в состав битума?
2. Каковы основные эксплуатационные свойства битума?

3. По каким показателям определяется марка битума?
4. Основные области применения битумов?
5. Приведите классификацию рулонных кровельных и гидроизоляционных материалов в соответствии с ГОСТ 30547-97:
- по назначению
  - по структуре полотна
  - по виду основы
  - по виду вяжущего
  - по виду защитного слоя
6. Как повысить эксплуатационные свойства битумных вяжущих веществ и материалов на их основе?

## ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА 9

### Теплоизоляционные материалы. Определение теплопроводности

**Цель работы:** научиться определять теплопроводность строительных материалов, и оценивать их теплоэффективность

#### Теоретическая часть

Теплоизоляционными называют материалы, имеющие теплопроводность не более  $0,175 \text{ Вт/(м}^\circ\text{С)}$  и среднюю плотность не выше  $500 \text{ кг/м}^3$ . Они предназначены для сокращения теплообмена с окружающей средой (теплопотерь) через ограждающие конструкции зданий и изоляцию технологического оборудования и трубопроводов.

Эффективность слоя изоляции характеризуется его сопротивлением теплопередаче, которое зависит от толщины слоя и теплопроводности используемого материала. Сопротивление теплопередаче тем выше, чем толще слой изоляции и ниже теплопроводность. Современным направлением повышения уровня теплозащиты является использование материалов с теплопроводностью не более  $0,06 \text{ Вт/(м}^\circ\text{С)}$ .

По теплопроводности ( $\lambda$ ) теплоизоляционные материалы принято делить на три класса: низкой теплопроводности [до  $0,06 \text{ Вт/(м}^\circ\text{С)}$ ]; средней теплопроводности [от  $0,06$  до  $0,12 \text{ Вт/(м}^\circ\text{С)}$ ]; «повышенной» теплопроводности [от  $0,12$  до  $0,175 \text{ Вт/(м}^\circ\text{С)}$ ].

Теплопроводность определяют на специальных приборах в условиях стационарного теплового потока при температуре материала  $25^\circ\text{С}$  (для материалов, работающих в нормальных условиях), а для материалов, применяемых при температуре изолируемой поверхности до  $500$  и выше  $500^\circ\text{С}$ , соответственно, при  $125$  и  $300^\circ\text{С}$ .

Основными факторами, определяющими теплопроводность материала, являются пористость, строение порового пространства, состав и структура твердого каркаса, фазовый состав материала (содержание воздуха, влаги или льда в порах) и температура.

Низкая теплопроводность теплоизоляционных материалов обеспечивается их высокой пористостью (в некоторых случаях до 98%). Воздух, обычно заполняющий поры в материале, имеет теплопроводность в спокойном состоянии  $0,023 \text{ Вт/(м}^\circ\text{С)}$ , что много меньше, чем у твердых тел и жидкостей.

Для предотвращения движения воздуха (конвекции), значительно повышающего интенсивность теплообмена, поры в материале должны быть преимущественно мелкими и замкнутыми.

Понижению теплопроводности способствует использование материалов, имеющих стеклообразное строение скелета, так как вещества в аморфном состоянии имеют теплопроводность на порядок ниже, чем

кристаллические. Обычно вещества, имеющие более сложный химический состав, менее теплопроводны.

Значительное влияние на теплопроводность оказывает влажность, так как у воды, замещающей воздух в порах, теплопроводность составляет 0,58 Вт/(м°С), т.е. в 25 раз выше, чем у воздуха. При замерзании воды теплопроводность материала возрастает в еще большей степени, так как  $\lambda$  льда 2,32 Вт/(м°С). Минимальному увлажнению способствует закрытая пористость, гидрофобность материала и конструктивная защита теплоизоляции от увлажнения. Для большинства материалов с повышением температуры теплопроводность увеличивается, что необходимо учитывать при расчете толщины изоляции для различных условий эксплуатации.

Материалы с высокой пористостью получают, используя следующие технологические приемы:

- волокнообразование и формирование из волокон каркаса неплотной упаковки (минераловатные изделия, древесноволокнистые плиты);
- введение в сырьевую смесь газообразующих добавок (ячеистые пластмассы, газобетон), а также веществ, выгорающих в процессе обжига изделий - выгорающих добавок (диатомитовые изделия);
- смешивание формовочной массы с технической пеной (пенобетон);
- применение сырьевых смесей с высоким водосодержанием (известковокремнеземистые изделия);
- вспучивание при обжиге сырья, содержащего химически связанную воду (вспученный перлит).

Высокопористое строение закрепляют тепловой обработкой отформованных изделий (пропаривание, автоклавная обработка, сушка или обжиг).

Для повышения пустотности теплоизоляционных засыпок используют пористые зернистые материалы монофракционного гранулометрического состава.

Ввиду многообразия теплоизоляционных материалов государственным стандартом «Материалы и изделия строительные теплоизоляционные» регламентированы их основные классификационные признаки.

По виду исходного сырья теплоизоляционные материалы делят на неорганические и органические. Если материалы включают в себя минеральные и органические составляющие, то их относят к группе преобладающего по содержанию компонента.

В соответствии с ГОСТом структура теплоизоляционных материалов определяется как волокнистая, ячеистая, зернистая и пластинчатая. Волокнистое строение присуще материалам из минеральных или органических волокон. Ячеистое строение характеризуется наличием равномерно распределенных в объеме материала пор, форма которых близка к сферической. Зернистое строение имеют сыпучие материалы. Пустотность сыпучей массы зависит от ее зернового состава. Пластинчатое строение характерно для вспученного вермикулита и материалов на его основе.

По внешнему виду и форме теплоизоляционные материалы бывают сыпучие и штучные. Сыпучие материалы представляют собой рыхлые порошкообразные, зернистые или волокнистые массы. В сухом виде их используют в качестве засыпки в полости стен, межэтажных перекрытий. Некоторые порошкообразные и волокнистые материалы затворяют водой и в виде мастики наносят на изолируемую поверхность трубопроводов и оборудования. Штучные материалы выпускают в виде плит, блоков, кирпичей, фасонных изделий (цилиндры, полуцилиндры и сегменты), гибких матов, полос и шнуров. Штучные материалы называют теплоизоляционными изделиями.

Применение изделий позволяет повысить качество ограждений и уровень индустриализации строительных работ по сравнению с использованием засыпок или мастичной изоляции.

Из-за сложности экспериментального определения теплопроводности материалы классифицируют по средней плотности (далее плотности), значение которой с известной степенью приближения дает представление о теплопроводности. Теплоизоляционные материалы по плотности в сухом состоянии ( $\text{кг/м}^3$ ) делят на марки: 15, 25, 35, 50, 75, 100 (особо легкие), 125, 150, 175, 200, 250, 300 (легкие) и 400, 450, 500 (тяжелые).

Для изделий на основе минеральной ваты предусмотрено деление по жесткости, критерием которой является относительная деформация сжатия в процентах при стандартном давлении (сжимаемость). По этому показателю изделия подразделяют на мягкие, полужесткие, жесткие, повышенной жесткости и твердые.

Поведение теплоизоляционных материалов в условиях пожара характеризуется пожарной опасностью. Негорючие материалы (НГ) не обладают пожарной опасностью. Горючие материалы способствуют возникновению и развитию опасных проявлений пожара (высокой температуры, пламени, дыма и др.). Для горючих теплоизоляционных материалов пожарная опасность оценивается горючестью, воспламеняемостью и дымообразующей способностью, главной из которых является горючесть.

Горючесть устанавливают испытанием материала в камере сжигания под действием пламени газовой горелки. В ходе испытания определяют степень повреждения образца по массе и длине, продолжительность самостоятельного горения и температуру отходящих газов. По горючести материалы делят на четыре группы: Г1 - слабогорючие, Г2 - умеренногорючие, Г3 - нормальногорючие, Г4 - сильногорючие.

Возможность использования теплоизоляционного материала для изоляции горячих поверхностей определяется предельной температурой применения, которую материал может выдерживать длительное время без потери физико-механических свойств.

Она зависит от химического состава и у органических материалов не превышает  $100\ldots 150^\circ\text{C}$ . Минеральные материалы в зависимости от состава

выдерживают нагрев до 500...800°C. Для больших температур производится специальная высокотемпературная изоляция.

Учитывая расширение областей применения теплоизоляции в строительстве, к современным эффективным универсальным утеплителям наряду с требованием пониженной теплопроводности предъявляются требования по паропроницаемости и гидрофобности, водостойкости, прочности, звукоизолирующей способности, а также биостойкости и отсутствию токсичных выделений.

По назначению теплоизоляционные изделия делят на общестроительные и технические (для изоляции агрегатов и трубопроводов). Строительная теплоизоляция предназначена для повышения изолирующей способности основных элементов зданий и сооружений:

наружных стен (системы «вентилируемые и штукатурные фасады», «колодезная кладка», железобетонные и металлические «сэндвич-панели»);

плоских и скатных кровель, в том числе над чердачными и мансардными помещениями;

перекрытий над неотапливаемыми подвалами, холодными подпольями и проездами;

межэтажных перекрытий и межкомнатных перегородок с целью улучшения акустической комфортности (в том числе «плавающий пол»).

Техническая изоляция используется в системах отопления, горячего и холодного водоснабжения, для изоляции промышленного оборудования, работающего при повышенных (котлы, печи, теплообменники, парогенераторы и др.) и пониженных (холодильные камеры, промышленные холодильники) температурах.

Использование теплоизоляционных материалов позволяет:

- снизить энергопотребление на отопление за счет повышения уровня теплозащиты ограждающих конструкций;
- уменьшить массу зданий и сооружений, а также транспортные расходы в процессе строительства;
- улучшить внутренний микроклимат и звукоизоляцию помещений;
- улучшить экологию окружающей воздушной среды из-за снижения выбросов в атмосферу углекислого газа, серы и других вредных веществ, образующихся при сгорании топлива.

### **Основные теплоизоляционные материалы и изделия**

Минеральная вата представляет собой рыхлый материал, состоящий из тончайших взаимно переплетающихся волокон, находящихся в стекловидном состоянии, и неволоконистых включений в виде капель застывшего материала. Для изготовления ваты используют магматические горные породы (габбро, базальт, диабаз), многокомпонентные смеси осадочных и вулканических пород, промышленные отходы, прежде всего щебень из доменного шлака, и другие сырьевые материалы.

Производство минеральной ваты включает плавление сырьевой смеси, которое проводят обычно в вагранках, и волокнообразование из силикатного

расплава. Для этого используют один из трех основных способов: центробежно-дутьевой (75% всей минеральной ваты), центробежно-многовалковый и фильерно-вертикально-дутьевой. Минеральное волокно в виде ковра собирается в камере волокноосаждения, туда же вводят обеспыливающие замасливающие добавки в количестве до 1% (эмульсол, битум, пек, мазут и др.).

Свойства минеральной ваты определяются, в основном, природой минерального сырья и диаметром волокна. По виду сырья неорганические волокна делятся на три разных типа: шлаковата, каменная и стеклянная вата.

В зависимости от диаметра волокна вату подразделяют на три вида: минеральная вата из супертонкого волокна диаметром менее 3 мкм; минеральная вата из тонкого волокна диаметром от 3 до 6 мкм; минеральная вата с диаметром волокна от 6 до 12 мкм. Длина волокна в вате 2...60 мм. Насыпная плотность ваты в стандартно уплотненном состоянии составляет 30...100 кг/м<sup>3</sup>. Теплопроводность при температуре 25°C - 0,04...0,06 Вт/(м°C). Товарная вата относится к негорючим материалам (НГ). Применяется для изготовления теплоизоляционных, звукоизоляционных и звукопоглощающих изделий, а также в качестве теплоизоляции в строительстве и промышленности для изоляции поверхностей с температурой до 700°C. При более высокой температуре изолируемой поверхности (до 1100°C) используется минеральная вата, получаемая из специального сырья, например, кварцевого песка или каолина.

Стеклянная вата - разновидность минеральной ваты. Стеклянные волокна получают, в основном, фильерными способами из расплава сырьевой смеси, основными компонентами которой являются кварцевый песок, известняк, кальцинированная сода, борная кислота, а также стеклобой. Волокно может иметь длину до 50 см и называется штапельным. Особенности стеклянной ваты являются большая длина волокон, меньшее содержание неволоконистых включений, повышенная эластичность, гибкость и влагостойкость. Применяемая в строительстве стекловата имеет насыпную плотность 20...60 кг/м<sup>3</sup>, теплопроводность 0,035...0,05 Вт/(м°C) и предельную температуру использования 500°C.

Минераловатные изделия в зависимости от наличия связующего вещества подразделяются на несодержащие (товарная рулонированная вата, прошивные маты, полосы и шнуры) и содержащие связующее вещество и требующие тепловой обработки (плиты, цилиндры и полуцилиндры).

**Прошивные маты** из минеральной ваты представляют собой гибкие изделия, сохраняющие форму за счет механического переплетения волокон и дополнительной прошивки слоя волокнистого материала стальной низкоуглеродистой проволокой, стеклянными нитями и др.

Маты выпускают без обкладочного материала и с обкладками с одной или двух сторон из бумаги, стеклоткани, металлической сетки и др. Обкладки обеспечивают сохранность материала в процессе транспортирования, монтажа и эксплуатации изделий.

Размеры матов (мм): длина 1000...6000, ширина 500 и 1000, толщина 50... 120 с интервалом 10. Плотность составляет 60...135кг/м<sup>3</sup>, теплопроводность 0,042...0,064 Вт/(м°С), сжимаемость 30...40%.

Маты предназначены для тепловой изоляции ограждающих конструкций зданий, промышленного оборудования и трубопроводов при температуре поверхности от минус 180 до плюс 700°С. Маты, изготовленные без использования органических компонентов, относятся к негорючим материалам (НГ) и их можно применять в огнестойких конструкциях.

**Минераловатные плиты, цилиндры и полуцилиндры** изготавливают формованием и тепловой обработкой минераловатного ковра с введением в него связующего вещества. Связующее в количестве до 3% (иногда до 10%) обеспечивает скрепление минеральных волокон между собой в местах их соприкосновения. В качестве связующего обычно используют вещества органического происхождения (синтетические смолы, битумы и др.). Наиболее эффективны синтетические смолы: фенолоспирты, карбамидные смолы и композиции на их основе. Для повышения влагостойкости изделий к связующему добавляют гидрофобизирующие вещества.

Раствор связующего в минераловатный ковер вводят распылением (сухой способ), поливом с последующим удалением избытка раствора и мокрым способом - приготавливая смесь с высоким содержанием воды, которая удаляется при формовании и тепловой обработке. Тепловая обработка обеспечивает удаление влаги, внесенной со связующим, и его отверждение. Заключительным этапом производства плит является раскрой волокнистого ковра и упаковка готовой продукции.

Размеры плит (мм): длина 1000 (1200), ширина 500 (600) и толщина от 50 до 120 с шагом 10. В

зависимости от вида и содержания связующего и степени обжата ковра при формовании получают изделия различной жесткости. Средняя плотность плит 50...150 кг/м<sup>3</sup> (мягкие, полужесткие и жесткие), 175...300 кг/м<sup>3</sup> (повышенной жесткости и твердые). Теплопроводность 0,047...0,065 Вт/(м°С). Температура применения зависит от вида связующего. Плиты на синтетическом связующем используют для изоляции поверхностей при температуре до 400°С; на битумном связующем - от минус 100 до плюс 60°С. Плиты на синтетическом связующем относятся к негорючим материалам (НГ), а на битумном - к слабо горючим (Г 1). Основной областью применения плит является утепление ограждающих конструкций зданий (покрытий, стен и т.п.).

Цилиндры и полуцилиндры выпускают марок 100, 150 и 200 размерами (мм): длина 500 (1000), внутренний диаметр 18...219 и толщина 40...80 с шагом 10. Их используют для тепловой изоляции трубопроводов при температуре изолируемой поверхности от минус 180 до плюс 400°С.

**Изделия из стеклянного волокна** (маты, полосы, плиты, цилиндры и полуцилиндры) отличаются пониженной плотностью 20...75 кг/м<sup>3</sup>, несколько меньшей теплопроводностью 0,035...0,055 Вт/(м°С), повышенной эластичностью и упругостью; изделия в процессе эксплуатации не дают

усадки и не оседают при вертикальном расположении в конструкции. Пеностекло - материал ячеистой структуры с равномерно распределенными порами размером 0,1...5 мм.

*Пеностекло* получают из тщательно перемешанной смеси стекольного порошка и газообразователя (антрацит, кокс и полукокс, карбонатные горные породы и др.). При нагревании до 700...850°C образуется углекислый газ, вспучивающий размягченное стекло. Ячеистую структуру фиксируют быстрым охлаждением массы.

*Пеностекло* выпускают в виде блоков размерами (мм): длина 200...600 с интервалом 50, ширина 200...450 с интервалом 50, толщина 60, 80, 100 и 120. Плотность 100...250 кг/м<sup>3</sup>, теплопроводность 0,046...0,086 Вт/(м°C), водопоглощение не более 6%, прочность при сжатии 0,8...2,0 МПа, предельная температура применения 450°C. Пеностекло - негорючий материал (НГ) с высокой влагостойкостью, устойчив к действию микроорганизмов, насекомых и грызунов. Применяется для теплоизоляции ограждающих строительных конструкций, а также холодильных установок и тепловых агрегатов.

*Ячеистый бетон* (теплоизоляционный) изготавливают поризацией смеси вяжущего (портландцемента или извести), кремнеземистого компонента (кварцевого песка, золы, шлака) и воды с использованием газообразователя (обычно алюминиевой пудры) или технической пены. Пену получают в пеногенераторе с помощью пенообразователей, как правило, на основе синтетических моющих средств. В зависимости от состава смеси отформованные изделия твердеют в естественных условиях, при пропаривании или автоклавной обработке.

Изделия (камни, блоки) выпускают размерами (мм): длина от 500 до 1000, ширина 400, 500 и 600, толщина от 80 до 240 с шагом 20. Материал легко обрабатывается, негорючий (НГ), экологически чистый и долговечный. Марки по плотности 350 и 400. Теплопроводность 0,073...0,104 Вт/(м°C). Предел прочности при сжатии 0,8... 1,5 МПа. Изделия из ячеистого бетона применяют для изоляции строительных конструкций и промышленного оборудования при температуре до 400°C.

Диатомитовые изделия (кирпич, плиты, полуцилиндры, сегменты) получают путем формования, сушки и обжига по ризованной массы из воды и диатомита - рыхлой пористой осадочной горной породы, состоящей, в основном, из аморфного кремнезема. Поризуют массу введением выгорающих добавок, технической пены, перлитового песка и др. В зависимости от плотности изделия делят на марки: 300, 350, 400 и 500. теплопроводность 0,065...0,114 Вт/(м°C). Материал негорючий (НГ). Изделия применяют для тепловой изоляции строительных конструкций, промышленного оборудования и трубопроводов при температуре изолируемых поверхностей до 900°C.

Известково-кремнеземистые изделия выпускают в виде плит, полуцилиндров, сегментов. Сырье для производства – воздушная известь,

кремнеземистый компонент (диатомит, трепел, кварцевый песок) и хризотил-асбест.

Изделия получают формованием и автоклавной обработкой сырьевой смеси в виде водной суспензии. Размеры плит (мм): длина 1000, ширина 500, толщина 75 и 100. Изделия подразделяют на марки 200 и 225. Теплопроводность 0,048...0,087 Вт/(м°С). Известковокремнеземистые изделия относятся к негорючим (НГ) и рекомендуются для тепловой изоляции промышленного оборудования и трубопроводов при температуре изолируемой поверхности до 600°С.

Вспученный перлит (песок, щебень) получают обжигом при температуре до 1200°С дробленых вулканических пород (перлита, обсидиана), содержащих до 7% кристаллизационной воды. Вспучивание предварительно размягченной породы происходит вследствие взрывообразного выделения водяного пара.

Перлитовый песок состоит из зерен размером до 5 мм; перлитовый щебень - от 5 до 20 мм. Насыпная плотность 75...500 кг/м<sup>3</sup>, теплопроводность 0,047...0,093 Вт/(м°С). Перлит - коррозионно- и биологически стойкий, негорючий материал (НГ). Применяется в качестве теплоизоляционных засыпок при температуре изолируемой поверхности от минус 200 до плюс 875°С; при изготовлении теплоизоляционных и акустических изделий (перлитокерамических, перлитобитумных и др.); в качестве заполнителя в теплоизоляционных и жаростойких растворах и бетонах.

Вспученный вермикулит - сыпучий зернистый материал пластинчатого строения, получаемый обжигом природного вермикулита (гидрослюда). При нагреве до 900...1000°С происходит вспучивание зерен в направлении, перпендикулярном плоскостям спайности. Вспучивание приводит к 15...20-кратному увеличению объема. При этом вермикулит расщепляется на отдельные пластинки, частично соединенные между собой.

Марки вермикулита по насыпной плотности 100, 150 и 200, теплопроводность 0,065...0,075 Вт/(м°С). Вермикулит - негорючий материал (НГ). Его применяют для изготовления теплоизоляционных изделий (например, асбестовермикулитовых), в составах для защиты от действия огня металлических и деревянных конструкций, в огнеупорных и акустических материалах. Температура применения вспученного вермикулита от минус 260 до плюс 1100°С.

### **Органические и смешанные материалы**

*Ячеистые пластмассы* - высокопористые материалы (пористость 90...98%) с преимущественно замкнутыми порами. Ячеистая структура формируется в результате поризации полимерной композиции газообразующими добавками (например, легкокипящими жидкостями - изопентаном, гексаном и др.) с последующим отверждением. Наиболее широко в строительстве применяются теплоизоляционные изделия на основе

полистирола, полиуретана, полиэтилена, феноло-формальдегидных и мочевино-формальдегидных полимеров. Газонаполненные пластмассы характеризуются высокой теплоизолирующей способностью в сочетании с низкой плотностью и, следовательно, уменьшенным расходом полимерного сырья при достаточной прочности. Недостатком пластмасс является ограниченная теплостойкость; большинство из них горючи и выделяют при горении токсичные вещества.

*Пенополистирол беспрессовый (ППС)* – плитный материал, получаемый вспениванием гранул суспензионного полистирола в закрытых формах при температуре 80...100°C. Пенополистирол состоит из склеившихся между собой вспененных гранул без добавки или с добавкой антипирена. Гранулы содержат преимущественно замкнутые микропоры, а между ними имеются сообщающиеся пустоты разных размеров (пустотность 3...6%).

Размеры плит (мм): длина 900...5000 с интервалом 50, ширина 500...1300 с интервалом 50, толщина 20...500 с интервалом 10. Марки по плотности 15, 25, 35 и 50. Теплопроводность в сухом состоянии 0,037...0,043 Вт/(м°C). Беспрессовый пенополистирол отличается гигроскопичностью, водопоглощением (до 20%) и, как следствие, повышенной влажностью, что увеличивает теплопроводность до 0,06 Вт/(м°C) и снижает его долговечность в условиях эксплуатации.

ППС с добавкой антипирена – материал нормальногорючий (Г3) с временем самостоятельного горения не более 4 с.

Плиты используют в качестве среднего слоя ограждающих конструкций, для дополнительного утепления наружных стен, теплоизоляции горизонтальных и наклонных крыш, подложки под сайдинг и напольные покрытия. Предельная температура применения 80°C.

*Пенополистирол экструзионный (ЭППС)* в виде плит получают переработкой вспенивающейся полистирольной композиции в экструдере, на выходе из которого при тепловом воздействии поверхностный слой изделий оплавлялся. Материал характеризуется замкнутой микроячеистой структурой с пора́ми размером 0,1...0,2 мм и, как следствие, ничтожными гигроскопичностью, паропроницаемостью и водопоглощением (менее 0,3%). Сочетание этих свойств обуславливает высокую долговечность теплоизоляции из ЭППС, постоянство ее термического сопротивления при любых условиях эксплуатации. Прочность при сжатии ЭППС в 2...3 раза выше, чем у ППС той же плотности.

Размеры плит (мм): длина 1250, 2500 и 4000, ширина 600, толщина варьируется от 30 до 120. Для упрощения укладки и предотвращения образования мостиков холода, кроме плит с плоскими кромками, выпускаются изделия с кромками в виде ступенчатого фальца и кромками в виде гребня и паза.

Средняя плотность ЭППС 30...50 кг/м<sup>3</sup>, теплопроводность 0,028...0,035 Вт/(м°C). Материал умеренногорючий (Г2).

Наряду с традиционными областями применения плиты из ЭППС могут использоваться для утепления фундаментов, подвалов, подземных сооружений, кровель в инверсионном варианте, а также утепления оснований шоссе, железных дорог и аэродромов.

*Пенополиэтилен (ППЭ)* – гибкий, эластичный, упругий высокопористый материал, изготавливаемый экструзионным методом из полиэтилена высокого давления. Представляет собой закрытопористую пену.

Выпускается в виде полых цилиндров с внутренним диаметром от 16 до 120 мм и длиной 2 м, а также в виде полотен толщиной от 2 до 16 мм, поставляемых в рулонах. Материал не гигроскопичен, во до поглощение не более 1%; может работать в диапазоне температур от минус 60 до плюс 75°C. ППЭ с добавкой замедлителя горения (антипирена) – материал умеренногорючий (Г2) и не способствует распространению пламени.

Плотность 40...60 кг/м<sup>3</sup>, теплопроводность 0,028...0,032 Вт/(м°C). Материал экологически чистый, не повреждается грызунами и насекомыми. Для повышения эффективности и долговечности ППЭ может быть сдублирован с алюминиевой фольгой, полипропиленовой светоотражающей пленкой или слоем нетвердеющего клея (самоклеящаяся теплоизоляция). Используется для теплоизоляции инженерных коммуникаций и оборудования, а также в строительных конструкциях, к которым предъявляются требования тепло- и пароизоляции.

*Древесноволокнистые плиты (ДВП)* – листовой материал, состоит из древесных или растительных волокон, получаемых из отходов деревообработки, неделовой древесины, а также костры, камыша, хлопчатника и др. Для повышения прочности, огнестойкости и долговечности при изготовлении плит вводят специальные добавки (водные эмульсии синтетических смол, антипирены, антисептики и др.). Волокнистое сырье измельчают с большим количеством воды и смешивают с добавками. Жидкотекучую массу на отливочной машине обезвоживают и уплотняют, а затем сушат и режут на плиты заданного размера (мм): длина от 1200 до 3000, ширина от 1200 до 1600 при толщине от 8 до 25.

Средняя плотность плит 150...350 кг/м<sup>3</sup>, теплопроводность 0,046...0,093 Вт/(м°C), предел прочности при изгибе 0,4...2 МПа. ДВП обладают значительными гигроскопичностью и водопоглощением; при изменении влажности существенно деформируются. Древесноволокнистые плиты с антипиренами относятся к умеренно горючим материалам (Г 2), температура их применения не должна превышать 100°C. ДВП применяют для утепления стен, перегородок, перекрытий.

*Полистиролбетон* – представляет собой композиционный материал, в состав которого входит портландцемент, пористый заполнитель – гранулы вспененного полистирола, вода, а также воздухововлекающая добавка (СДО). В случае необходимости получения тяжелых плотностей полистиролбетона, в его состав может входить минеральный наполнитель (песок). Благодаря сочетанию теплоизолирующего материала, которым являются

полистирольные гранулы и бетона в одном продукте удалось получить оптимальную комбинацию характеристик для строительного материала - устойчивость к гниению, гидрофобность, высочайшие показатели несущих характеристик, теплоизоляции, огнезащиты, звукоизоляции, морозоустойчивости. Полистиролбетон используется для производства строительных блоков и фасадных декоративных панелей. Преимущественно изготавливают полистиролбетонные блоки плотностью от 200 до 600 кг/м<sup>3</sup>. Полистиролбетон широко применяется в качестве строительной теплоизоляции (теплопроводность 0,055 — 0,145 Вт/(м°С)). Полистиролбетон соответствует следующим требованиям пожарной безопасности: группа по горючести – Г1 (слабогорючие), группа по воспламеняемости - В1 (трудновоспламеняемые).

*Фибролит* – плитный материал волокнистой структуры, изготавливаемый из древесной шерсти и неорганического вяжущего (портландцемента или магнезиального вяжущего). Древесная шерсть представляет собой тонкие узкие ленты длиной от 20 до 50 см, которые предварительно обрабатывают минерализатором (например, раствором хлористого кальция).

Плиты формируют при давлении 0,5 МПа с последующим твердением и сушкой до влажности не более 20%. Плиты выпускают размерами (мм): длина 2400 и 3000, ширина 600 и 1200 и толщина от 30 до 150. По плотности изделия делят на марки: 300, 400 и 500 с пределом прочности при изгибе, соответственно, не менее 0,35, 0,6 и 1 МПа. Теплопроводность 0,08... 0,1 Вт/(м°С).

*Фибролит* - слабогорючий материал (Г 1) с температурой применения до 100°С. Магнезиальный фибролит имеет более высокую прочность по сравнению с цементным, но обладает меньшей водостойкостью и большей гигроскопичностью.

Применяют в качестве теплоизоляции перекрытий, перегородок и каркасных стен с последующим оштукатуриванием.

*Целлюлозная вата* (эковата) – волокнистый материал серого цвета, изготавливаемый из макулатуры. Эковата представляет собой тонкоизмельченную газетную бумагу (80 % массы), обработанную модифицирующими борсодержащими добавками: антисептиками и антипиренами. Макулатуру подвергают двухстадийному измельчению (грубому и тонкому); на втором этапе к волокнам примешивают добавки.

*Эковата* – гигроскопичный материал с малой воздухопроницаемостью. Свойства в стандартно-уплотненном состоянии: плотность 35... 70 кг/м<sup>3</sup>, теплопроводность 0,042... 0,05 Вт/(м°С). Соединения бора защищают эковату и соприкасающиеся с ней деревянные конструкции от гниения, поражения насекомыми и грызунами. Материал экологически чистый, не содержит летучих веществ, опасных для здоровья человека. Вследствие повышенного содержания антипиренов эковата является умеренногорючим материалом (Г

2) и эффективно замедляет распространение пламени в конструкциях. Предельная температура применения 100°C.

По традиционной схеме эковата в сухом виде может использоваться в качестве засыпки для утепления перекрытий и каркасных стен. Более эффективным и производительным методом является напыление эковаты совместно с клеевым составом компрессором на вертикальные, наклонные и горизонтальные потолочные поверхности. Это позволяет получить сплошной (без швов и стыков) теплоизоляционный слой, плотно прилегающий к изолируемой поверхности.

*Торфяные плиты* получают из слаборазложившегося торфа из верхних слоев торфяников, сохранившего волокнистое строение и содержащего не менее 80 % мха-сфагнума.

Изготавливают плиты из водной суспензии, содержащей 5...10 % торфяных волокон и специальные добавки (антисептики, антипирены, гидрофобизаторы и др.). Изделия формуют из частично обезвоженной смеси при давлении около 0,5 МПа и сушат при 150...260°C. В процессе нагревания волокна склеиваются смолистыми веществами, выделяющимися из самого торфа. Размеры торфяных плит (мм): длина 1000, ширина 500 и 1000, толщина 30. Плиты могут склеиваться в блоки, состоящие из двух, трех и более плит.

В материале преобладают мелкие сообщающиеся поры (общая пористость 80...90 %). Плотность в сухом состоянии торфяных плит 170...260 кг/м<sup>3</sup>, теплопроводность 0,052...0,075 Вт/(м°C). Материал склонен к гигроскопическому и капиллярному увлажнению. Торфяные плиты с добавкой антипирена относятся к группе умеренногорючих материалов (Г 2), предельная температура эксплуатации 100°C. Применяются в качестве тепловой изоляции ограждающих конструкций для помещений с сухим и нормальным влажностным режимом эксплуатации.

## **Методика и порядок выполнения лабораторной работы 16**

### **Определение теплопроводности строительных материалов**

#### ***Задание 1. Определение теплопроводности строительных материалов***

**Методика:** Определите экспериментальным путем теплопроводность некоторых строительных материалов: оргстекла, утеплителя и асфальтобетона.

Результаты испытаний запишите в таблицу рабочей тетради.

#### **Контрольные вопросы**

1. Какие материалы относятся к теплоизоляционным?
2. Основные факторы, влияющие на теплопроводность
3. Особенности структуры и свойств теплоизоляционных материалов

- 4.** Марки теплоизоляционных материалов
- 5.** В чем заключается эффективность применения теплоизоляционных материалов?
- 6.** Основные области применения теплоизоляционных материалов
- 7.** общестроительного назначения и технического назначения
- 8.** Основные технологические приемы получения высокопористой структуры теплоизоляционных материалов (проиллюстрировать примерами):
- 9.** Классы теплоизоляционных материалов:
- 10.** Показатели пожарной опасности горючих теплоизоляционных материалов:
- 11.** Приемы улучшения эксплуатационных свойств теплоизоляционных материалов:

**МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ  
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ  
Федеральное государственное автономное образовательное  
учреждение высшего образования  
«СЕВЕРО-КАВКАЗСКИЙ ФЕДЕРАЛЬНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ»**

**МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ  
по организации самостоятельной работы  
ДИСЦИПЛИНЫ**

**Строительные материалы**

для студентов

направления подготовки 08.03.01 Строительство

## Содержание

### Введение

1. Самостоятельная работа как важнейшая форма учебного процесса
2. Цели и основные задачи самостоятельной работы
3. Виды самостоятельной работы
4. Организация самостоятельной работы
5. Общие рекомендации по организации самостоятельной работы
6. Методические рекомендации для студентов по отдельным формам самостоятельной работы
7. Критерии оценки самостоятельной работы

## Введение

Основная задача высшего образования заключается в формировании творческой личности профессионала, способного к саморазвитию, самообразованию и инновационной деятельности.

Успешное усвоение дисциплин по различным образовательным программам предполагает активное, творческое участие обучающегося на всех этапах ее освоения путем планомерной, повседневной не только аудиторной, но и самостоятельной работы.

Самостоятельная работа студентов является одной из важнейших составляющих образовательного процесса. Самостоятельная работа – это процесс активного, целенаправленного приобретения обучающимися новых знаний, умений без непосредственного участия преподавателя, характеризующийся предметной направленностью, эффективным контролем и оценкой результатов деятельности обучающегося.

Объем самостоятельной работы (в часах) определен учебным планом.

Методические указания по организации самостоятельной работы студентов (далее – СРС) являются обязательной частью учебно-методических комплексов учебных дисциплин.

Методические указания по организации самостоятельной работы для студентов, наряду с методическими указаниями по выполнению лабораторных работ, практических занятий и работе с лекционным материалом; по формам текущего, промежуточного и итогового контроля; по выполнению курсовых работ/проектов, расчетно-графических работ, контрольных работ; по подготовке и защите выпускных квалификационных работ, составляют единый комплекс методического обеспечения УМК каждой учебной дисциплины.

Цель методических указаний СРС – определить роль и место самостоятельной работы студентов в учебном процессе; конкретизировать ее уровни, формы и виды; обобщить методы и приемы выполнения определенных типов учебных заданий; объяснить критерии оценивания.

### 1. Самостоятельная работа как важнейшая форма учебного процесса

Самостоятельная работа - планируемая учебная, учебно-исследовательская, научно-исследовательская работа обучающихся, выполняемая во внеаудиторное время по заданию и при методическом руководстве преподавателя, но без его непосредственного участия (при частичном непосредственном участии преподавателя, оставляющем ведущую роль за работой обучающихся).

Самостоятельная работа обучающихся является важным видом учебной и научной деятельности. В связи с этим, обучение включает в себя две, практически одинаковые по объему и взаимовлиянию части – процесса обучения и процесса самообучения. Поэтому СРО должна стать эффективной и целенаправленной работой.

Концепцией модернизации российского образования определены основные задачи высшего образования – «подготовка квалифицированного работника соответствующего уровня и профиля, конкурентоспособного на рынке труда, компетентного, ответственного, свободно владеющего своей профессией и ориентированного в смежных областях деятельности, способного к эффективной работе по специальности на уровне мировых стандартов, готового к постоянному профессиональному росту, социальной и профессиональной мобильности».

Решение этих задач невозможно без повышения роли самостоятельной работы обучающихся над учебным материалом, усиления ответственности преподавателей за развитие навыков самостоятельной работы, за стимулирование профессионального роста обучающихся, воспитание творческой активности и инициативы.

К современному специалисту общество предъявляет достаточно широкий перечень требований, среди которых немаловажное значение имеет наличие у выпускников определенных способностей и умения самостоятельно добывать знания из различных источников, систематизировать полученную информацию, давать оценку конкретной финансовой ситуации. Формирование такого умения происходит в течение всего периода обучения через участие обучающихся в практических занятиях, лабораторных работах, выполнение контрольных и расчетно-графических работ, написание курсовых работ (проектов) и выпускных квалификационных работ. При этом самостоятельная работа обучающихся играет решающую роль в ходе всего учебного процесса.

Формы самостоятельной работы студентов разнообразны. Они включают в себя:

- изучение и систематизацию официальных государственных документов - законов, постановлений, указов, нормативно-инструкционных и справочных материалов с использованием информационно-поисковых систем «Консультант-плюс», «Гарант», глобальной сети «Интернет»;
  - изучение учебной, научной и методической литературы, материалов периодических изданий с привлечением электронных средств официальной, статистической, периодической и научной информации;
  - подготовку докладов и рефератов, написание выпускных квалификационных работ;
  - участие в работе студенческих конференций, комплексных научных исследованиях.
- Самостоятельная работа приобщает студентов к научному творчеству, поиску и решению актуальных современных проблем.

## **2. Цели и основные задачи самостоятельной работы**

Ведущая цель организации и осуществления СРС должна совпадать с целью обучения студента. При организации СРС важным и необходимым условием становятся формирование умения самостоятельной работы для деятельности.

Цели самостоятельной работы:

- систематизация и закрепление полученных теоретических знаний и практических умений;
- углубление и расширение теоретических знаний;
- формирование умений использовать нормативную, правовую, справочную документацию и специальную литературу;
- развитие познавательных способностей, активности обучающихся, творческой инициативы, самостоятельности, ответственности и организованности;
- формирование самостоятельности мышления, способностей к саморазвитию, самосовершенствованию и самореализации;
- развитие исследовательских умений.

Основными задачами СРМ являются:

- систематизация и закрепление полученных теоретических знаний и практических умений студентов;
- углубление и расширение теоретических знаний;
- формирование умений использовать нормативную, правовую, справочную документацию и специальную литературу;
- развитие познавательных способностей и активности студентов: творческой инициативы, самостоятельности, ответственности и организованности;
- формирование самостоятельности мышления, способностей к саморазвитию, самосовершенствованию и самореализации;
- развитие исследовательских умений;
- использование материала, собранного и полученного в ходе самостоятельных занятий на семинарах, на практических и лабораторных занятиях, при написании курсовых и выпускной квалификационной работ, для эффективной подготовки к промежуточной аттестации - зачетам и экзаменам.

## **3. Виды самостоятельной работы**

Самостоятельная работа студент включает:

- самостоятельное изучение основной и дополнительной литературы;
- подготовка к лекциям;
- подготовка к практическим занятиям;
- подготовка к лабораторным работам;
- написание рефератов;
- выполнение контрольной работы;
- выполнение курсовой работы (проекта);
- выполнение расчетно-графической работы;
- подготовка исследовательской работы (написание статьи, доклада);
- подготовка выпускной квалификационной работы;
- подготовка к текущей и промежуточной аттестации;

- подготовка к государственной итоговой аттестации.

Для выполнения самостоятельной работы студентам необходимо ознакомиться с содержанием рабочей программы дисциплины, с целями и задачами дисциплины, ее связями с другими дисциплинами образовательной программы, методическими разработками по данной дисциплине, с графиком консультаций преподавателей кафедры, с перечнем ресурсов информационно-телекоммуникационной сети «Интернет», необходимых для освоения дисциплины.

#### **4. Организация самостоятельной работы**

Самостоятельная работа студента – способ активного, целенаправленного приобретения новых знаний и умений без непосредственного участия в этом процессе преподавателей.

Организационные мероприятия, обеспечивающие развитие навыков самостоятельной работы студентов, воспитание их творческой активности и инициативы, а также, в целом, обеспечивающие нормальное функционирование самостоятельной работы студентов, должны основываться на следующих предпосылках:

- самостоятельная работа должна быть конкретной по своей предметной направленности;
- самостоятельная работа должна сопровождаться эффективным, непрерывным контролем и оценкой ее результатов.

Предметно и содержательно самостоятельная работа определяется федеральным государственным образовательным стандартом по направлению подготовки, основной образовательной программой, учебным планом, рабочими программами дисциплин.

Контроль самостоятельной работы и оценка ее результатов организуются как единство двух форм:

- самоконтроль и самооценка;
- внешний контроль и оценка со стороны преподавателей, государственных экзаменационных комиссий и др.

#### **5. Общие рекомендации по организации самостоятельной работы**

Организация самостоятельной работы студентов направлена на решение следующих задач:

а) закрепление, обобщение и повторение пройденного учебного материала; применение полученных знаний в традиционных педагогических ситуациях и при решении задач высокого уровня неопределенности;

б) совершенствование умений и навыков по изучаемой дисциплине; формирование межпредметных, общеучебных, исследовательских умений;

в) активизация учебной и научно-исследовательской деятельности обучающихся, ее максимальная индивидуализация с учетом индивидуальных особенностей и академической успеваемости студентов;

г) формирование готовности студентов к самообразованию в течение всей жизни.

Видами занятий для самостоятельной работы могут быть:

**Для овладения знаниями:**

- чтение текста (учебника, первоисточника, дополнительной литературы, конспектов лекций);
- составление плана текста, графическое изображение структуры текста;
- конспектирование текста; выписки из текста, работа со словарями и справочниками, ознакомление с нормативными документами;
- учебно-исследовательская работа, использование аудио и видеозаписей, компьютерной техники, интернета и др.

**Для закрепления и систематизации знаний:**

- работа с конспектом лекций, повторная работа над материалом;
- составление плана и тезисов ответа;
- составление таблиц для систематизации учебного материала;
- ответы на контрольные вопросы;
- аналитическая обработка текста (анализ, аннотирование, рецензирование, реферирование, контент-анализ);

- подготовка сообщения для выступления на конференции;
- подготовка рефератов, докладов;
- составление библиографии.

**Для формирования умений:**

- выполнение контрольных работ;
- выполнение чертежей, схем, расчетно-графических работ;
- проектирование и моделирование разных видов и компонентов профессиональной деятельности.

- подготовка курсовых и дипломных работ (проектов);

**Для формирования компетенций:**

- принятие решений по конкретной ситуации;
- грамотная формулировка задания для исполнения;
- организация контроля по сферам деятельности.

## **6. Методические рекомендации для студентов по отдельным формам самостоятельной работы**

Система вузовского обучения подразумевает значительную самостоятельность студентов в планировании и организации своей деятельности.

### **6.1 Самостоятельное изучение основной и дополнительной литературы**

Работа с литературой является основным методом самостоятельного овладения знаниями. Это сложный процесс, требующий выработки определенных навыков, поэтому студенту нужно обязательно научиться работать с книгой.

Осмысление литературы требует системного подхода к освоению материала. В работе с литературой системный подход предусматривает не только тщательное (иногда многократное) чтение текста и изучение специальной литературы, но и обращение к дополнительным источникам – справочникам, энциклопедиям, словарям. Эти источники – важное подспорье в самостоятельной работе студента, поскольку глубокое изучение именно их материалов позволит студенту уверенно «распознавать», а затем самостоятельно оперировать теоретическими категориями и понятиями, следовательно – освоить новейшую научную терминологию. Такого рода работа с литературой обеспечивает решение студентом поставленной перед ним задачи (подготовка к практическому занятию, выполнение контрольной работы и т.д.).

Выбор литературы для изучения делается обычно по предварительному списку литературы, который выдал преподаватель, либо путем самостоятельного отбора материалов. После этого непосредственно начинается изучение материала, изложенного в книге.

Наиболее надежный способ собрать нужный материал – составить план или конспект. *Конспект, план-конспект* – это последовательная фиксация отобранной и обдуманной в процессе чтения информации.

*Цель* – зафиксировать, переработать тот или иной научный текст. Они позволяют восстановить в памяти ранее прочитанное без дополнительного обращения к самой книге.

*План* – это «скелет» текста, он компактно отражает последовательность изложения материала. План как форма записи обычно более подробно передает содержание частей текста, чем оглавление книги или подзаголовки статей. Самые важные места в книге отмечайте, используя для этого легко стирающийся карандаш или вкладные листки. Запись любых планов следует делать так, чтобы ее легко можно было охватить одним взглядом.

Вся рекомендуемая для изучения курса литература подразделяется на основную и дополнительную. К основной литературе относятся источники, необходимые для полного и твердого усвоения учебного материала (учебники и учебные пособия). Необходимость изучения дополнительной литературы диктуется прежде всего тем, что в учебной литературе (учебниках) зачастую остаются неосвещенными современные проблемы, а также не находят отражение новые документы, события, явления, научные открытия последних лет. Поэтому дополнительная литература рекомендуется для более углубленного изучения программного материала.

### **6.2 Подготовка к лекциям и работа с конспектом лекций**

При подготовке к лекции студенты должны предварительно ознакомиться с учебным материалом по данной теме и при конспектировании лекции акцентировать внимание на новых

теоретических положениях, правовых и иных данных, не нашедших отражения в учебной литературе.

Лекция имеет цель – систематизация основы научных знаний по дисциплине, сконцентрировать внимание обучающихся на наиболее актуальных проблемах.

В ходе лекций преподаватель излагает и разъясняет основные, наиболее сложные понятия темы, а также связанные с ней теоретические и практические проблемы. Дает рекомендации на практические занятия и указания на самостоятельную работу.

Предварительное не углубленное знакомство с материалом очередной лекции дает многое. Студенты получают общее представление о ее содержании и структуре, о главных и второстепенных вопросах, о терминах и определениях. Все это облегчает работу на лекции и делает ее целеустремленной.

Основные моменты лекционных занятий конспектируются. Отдельные темы предлагаются для самостоятельного изучения с обязательным составлением конспекта.

Краткие записи лекций, их конспектирование помогает усвоить учебный материал. Конспект является полезным тогда, когда записано самое существенное, основное и сделано это самим обучающимся.

Запись лекций рекомендуется вести по возможности собственными формулировками. Желательно запись осуществлять на одной странице, а следующую оставлять для проработки учебного материала самостоятельно в домашних условиях.

Самостоятельную работу следует начинать с доработки конспекта, желательно в тот же день, пока время не стерло содержание лекции из памяти. С целью доработки необходимо в первую очередь прочитать записи, восстановить текст в памяти, а также исправить описки, расшифровать не принятые ранее сокращения, заполнить пропущенные места, понять текст, вникнуть в его смысл. Далее прочитать материал по рекомендуемой литературе, разрешая в ходе чтения, возникшие ранее затруднения, вопросы, а также дополнения и исправляя свои записи. Записи должны быть наглядными, для чего следует применять различные способы выделений. В ходе доработки конспекта углубляются, расширяются и закрепляются знания, а также дополняется, исправляется и совершенствуется конспект.

Работая над конспектом лекций, всегда необходимо использовать не только учебник, но и ту литературу, которую дополнительно рекомендовал лектор. Именно такая серьезная, кропотливая работа с лекционным материалом позволит глубоко овладеть знаниями.

### **6.3 Подготовка к практическим занятиям**

Целью практических занятий является получение базовых навыков по применению теоретических знаний. Это необходимо при решении всевозможных задач на различных этапах практической деятельности.

Задачи подготовки и проведения практических занятий:

- закрепление и углубление знаний;
- создание практических навыков и умений в практической деятельности и повседневной жизни для: поиска, первичного анализа и использования информации;
- анализа конкретных ситуаций и условий их реализации;
- изложения и аргументации собственных суждений по практической ситуации;
- развитие стремления и способности к самостоятельному исследованию изучаемых реальностей, их критической оценки.

Подготовка к практическим занятиям включает: изучение нормативных актов, учебной литературы, лекционного материала; подготовка рефератов.

Практические занятия по дисциплине проводятся в форме различных дискуссий (семинарских занятий) и (или) анализа конкретных ситуаций (выполнение практических заданий).

### **6.4 Подготовка к лабораторным работам**

Лабораторные работы составляют важную часть теоретической и профессиональной практической подготовки студентов. Они направлены на формирование учебных и профессиональных практических умений.

На лабораторных занятиях задания выполняются по материалам согласно плану.

До начала лабораторных занятий обучающиеся должны пройти инструктаж по технике безопасности.

Перед выполнением лабораторной работы обучающийся должен изучить теоретический материал по теме лабораторной работы по основной и дополнительной литературе, ознакомиться с

ресурсами информационно - телекоммуникационной сети «Интернет». При этом обучающийся должен учесть рекомендации преподавателя и требования учебной программы.

В ходе подготовки к лабораторным занятиям необходимо ознакомиться с методическими указаниями; с порядком ее выполнения; освоить основные понятия; изучить алгоритмы; методы и технологии, необходимые для реализации этих алгоритмов; ответить на контрольные вопросы.

После выполнения работы производится обработка полученных результатов, составляется и защищается отчет. Без защиты отчета студент, как правило, не допускается к очередной работе.

### **6.5 Написание рефератов**

Реферат представляет собой краткое изложение в письменной форме содержания научного труда по определенной теме, возможно выходящего за рамки учебной программы, а также изложение книги, статьи, исследования. Иными словами, реферат – это индивидуальная научная работа, раскрывающая содержание исследуемой проблемы с различных позиций и точек зрения, с формированием самостоятельных выводов.

Целью написания реферата является сообщение определенной информации для развития навыков научно-исследовательской работы.

В процессе подготовки реферата, обучающиеся, глубже постигают вопросы изучаемого предмета, поскольку:

- анализируются различные точки зрения, факты и события;
- ведется научно обоснованная полемика;
- обобщается материал;
- лаконично излагаются мысли;
- правильно оформляется работа с составлением плана, библиографии и систематизацией информации.

Подготовка реферата включает в себя:

- выбор и формулирование темы, которая должна обладать новизной, актуальностью и оригинальностью;
- подбор литературы и изучение основных источников;
- составление содержания, раскрывающего название работы;
- выписки из литературных источников с целью накопления теоретического и практического материала;
- написание реферата и его оформление;
- составление списка использованной литературы.

### **6.6 Выполнение контрольной работы**

Контрольная работа является одной из составляющих учебной деятельности студента по овладению знаниями в области теплогазоснабжения и вентиляции. К ее выполнению необходимо приступить только после изучения тем дисциплины.

Целью контрольной работы является определения качества усвоения лекционного материала и части дисциплины, предназначенной для самостоятельного изучения.

Задачи, стоящие перед студентом при подготовке и написании контрольной работы:

1. закрепление полученных ранее теоретических знаний;
2. выработка навыков самостоятельной работы;
3. выяснение подготовленности студента к будущей практической работе.

Преподаватель готовит задания либо по вариантам, либо индивидуально для каждого студента. По содержанию работа может включать теоретический материал, задачи, тесты, расчеты и т.п. выполнению контрольной работы предшествует инструктаж преподавателя.

Ключевым требованием при подготовке контрольной работы выступает творческий подход, умение обрабатывать и анализировать информацию, делать самостоятельные выводы, обосновывать целесообразность и эффективность предлагаемых рекомендаций и решений проблем, четко и логично излагать свои мысли. Подготовку контрольной работы следует начинать с повторения соответствующего раздела учебника, учебных пособий по данной теме и конспектов лекций.

### **6.7 Выполнение курсовой работы (проекта)**

Курсовая работа (проект) - это самостоятельное исследование обучающимся определенной проблемы, комплекса взаимосвязанных вопросов, касающихся конкретной профессиональной ситуации.

Курсовая работа (проект) не должна состояться из фрагментов статей, монографий, пособий. Кроме простого изложения фактов и цитат, в курсовой работе (проекте) должно проявляться авторское видение проблемы и ее решения.

Рассмотрим основные этапы подготовки курсовой работы (проекта).

Выполнение курсовой работы (проекта) начинается с выбора темы.

Затем студент приходит на первую консультацию к руководителю, которая предусматривает:

- обсуждение цели и задач работы, основных моментов избранной темы;
- консультирование по вопросам подбора литературы;
- составление предварительного плана;
- составление графика выполнения курсовой работы (проекта).

Следующим этапом является работа с литературой. Необходимая литература подбирается студентом самостоятельно.

После подбора литературы целесообразно сделать рабочий вариант плана работы. В нем нужно выделить основные вопросы темы и параграфы, раскрывающие их содержание.

Составленный список литературы и предварительный вариант плана уточняются, согласуются на очередной консультации с руководителем.

Затем начинается следующий этап работы - изучение литературы. Только внимательно читая и конспектируя литературу, можно разобраться в основных вопросах темы и подготовиться к самостоятельному (авторскому) изложению содержания курсовой работы (проекта). Конспектируя первоисточники, необходимо отразить основную идею автора и его позицию по исследуемому вопросу, выявить проблемы и наметить задачи для дальнейшего изучения данных проблем.

Систематизация и анализ изученной литературы по проблеме исследования позволяют написать первую (теоретическую) главу.

Выполнение курсовой работы (проекта) предполагает проведение определенного исследования. На основе разработанного плана обучающийся осуществляет сбор фактического материала, необходимых цифровых данных. Затем полученные результаты подвергаются анализу, статистической, математической обработке и представляются в виде текстового описания, таблиц, графиков, диаграмм. Программа исследования и анализ полученных результатов составляют содержание второй (аналитической) главы.

В третьей (рекомендательной) части должны быть отражены мероприятия, рекомендации по рассматриваемым проблемам.

Рабочий вариант текста курсовой работы (проекта) предоставляется руководителю на проверку. На основе рабочего варианта текста руководитель вместе со студентом обсуждает возможности доработки текста, его оформление. После доработки курсовая работа (проект) сдается на кафедру для ее оценивания руководителем.

Защита курсовой работы (проекта) обучающихся проходит в сроки, установленные графиком учебного процесса.

При подготовке к защите курсовой работы (проекта) обучающийся должен знать основные положения работы, выявленные проблемы и мероприятия по их устранению, перспективы развития рассматриваемой экономической ситуации.

Защита курсовой работы (проекта) проводится на кафедре при наличии у обучающегося курсовой работы (проекта). Оценка - дифференцирована. Преподаватель оценивает защиту курсовой работы (проекта) и заполняет графу "оценка" в ведомости и в зачетной книжке.

Не допускаются к защите варианты курсовых работ (проектов), найденные в Интернет, сканированные варианты учебников и учебных пособий, а также копии ранее написанных работ.

## **6.8 Выполнение расчетно-графической работы**

Расчетно-графическая работа является важным элементом учебного процесса, предусмотрена учебным планом.

Цель расчетно-графической работы – систематизация и закрепление теоретических знаний, и развитие практических навыков по решению задач в области теплогазоснабжения и вентиляции, выработка навыков анализа данных и формулирования выводов по полученным результатам.

Задачами расчетно-графической работы являются:

- развитие навыков самостоятельной работы в области решения практических задач;

– подбор и систематизация теоретического материала, являющегося основой для решения практической задачи, развитие навыков самостоятельной работы с учебной и методической литературой;

- проведение расчетов показателей по исходным данным и анализ полученных значений;
- формулирование выводов по полученным результатам.

Выполнение расчетно-графической работы проводится студентом по конкретному варианту задания, который необходимо уточнить у преподавателя.

Содержанием расчетно-графической работы является краткое изложение теоретического материала к каждой задаче, решение задачи по индивидуальному варианту, включающее в себя расчет основных показателей, анализ полученных результатов, формулирование выводов.

Расчетно-графическая работа должна содержать:

1. Титульный лист.
2. Условие задачи.
3. Теоретическая часть по каждой задаче (1-3 страницы).
4. Практическая часть и выводы по каждой задаче.
5. Библиографический список (не менее 5 источников).

Условие задачи оформляется по центру заголовком «Задача №».

Текст условия задачи должен совпадать с текстом в методических указаниях, включая таблицы, при их наличии.

Далее излагается теоретический материал, лежащий в основе решения задачи, включающий в себя основные определения, формулы расчетов показателей и др.

В практической части излагается подробное решение задачи. При необходимости результаты оформляются в виде сводной таблицы.

К каждой задаче необходимо сформулировать выводы, проанализировав полученные результаты.

Расчетно-графическая работа должна выполняться в соответствии с установленным графиком. В процессе выполнения расчетно-графической работы допускаются консультации у преподавателя на практических занятиях.

Выполнение основных этапов контролируется преподавателем и учитывается при проведении текущего контроля по дисциплине и при оценке расчетно-графической работы.

### **6.9 Подготовка исследовательской работы (написание статьи, научного доклада)**

Научный доклад представляет собой исследование по конкретной проблеме, изложенное перед аудиторией слушателей. Работа по подготовке научного доклада включает не только знакомство с литературой по избранной тематике, но и самостоятельное изучение определенных вопросов.

Научный доклад может быть подготовлен для выступления на семинарском занятии, конференции научного общества, или в рамках круглого стола. В любом случае успешное выступление во многом зависит от правильной организации самого процесса подготовки научного доклада.

Подготовка научного доклада включает несколько этапов работы:

- выбор темы доклада;
- подготовка материалов;
- работа над текстом доклада;
- подготовка к выступлению.

Подготовка к научному докладу начинается с выбора темы Вашего будущего выступления.

Не следует выбирать слишком широкую тему научного доклада. Это связано с ограниченностью докладчика во времени. Доклад должен быть рассчитан на 7-15 минут.

Работа по подбору материалов для доклада связана с изучением соответствующей тематике литературы.

В процессе работы над текстом доклада обучающиеся глубже постигают вопросы изучаемого предмета, поскольку:

- анализируются различные точки зрения, факты и события; ведется научно обоснованная полемика;
- обобщается материал; лаконично излагаются мысли;
- правильно оформляется работа с составлением плана, библиографии и систематизацией информации.

Текст научного доклада должен включать три основные части:

- введение – краткое знакомство слушателей с обсуждаемой в докладе проблемой;
- основную часть – логическое продолжение вопросов, обозначенных автором во введении.

В этой части доклада раскрывается тема выступления, приводятся необходимые доказательства (аргументы);

- заключение – обобщение основной мысли и идеи выступления. В заключении можно кратко повторить основные выводы и утверждения, прозвучавшие в основной части доклада.

Научный доклад представляет собой устное произведение и чтение вслух подготовленного текста недопустимо.

К секретам хорошего выступления можно отнести следующие моменты:

- до и после важных мыслей следует делать паузу;
- для большего акцента сказанного необходимо менять тон голоса и тембр речи. Это сделает Вашу речь более выразительной;
- необходимо иметь контакт с аудиторией.

#### **6.10 Подготовка выпускной квалификационной работы**

ВКР представляет собой самостоятельное логически завершенное исследование, связанное с решением научной или научно-практической задачи. При его выполнении студент должен показать способности и умения, опираясь на полученные знания, решать на современном уровне задачи профессиональной деятельности, грамотно излагать специальную информацию, докладывать и отстаивать свою точку зрения перед аудиторией.

Цель защиты ВКР – установление уровня подготовленности выпускника к выполнению профессиональных задач в соответствии с требованиями ФГОС ВО к квалификационной характеристике и уровню подготовки выпускника.

Студенту предоставляется право самостоятельного выбора темы ВКР. Для подготовки ВКР назначается научный руководитель и, при необходимости, консультанты.

ВКР состоит из текста (рукописи) и графических материалов, отражающих решение профессиональных задач в соответствии с избранной тематикой. Структура ВКР включает:

- титульный лист;
- задание, включая календарный план;
- содержание;
- введение;
- основной текст;
- заключение;
- список использованных источников;
- приложения.

Руководитель выпускной работы выдает задание; оказывает помощь в организации и выполнении работы; проводит систематические консультации обучающегося; проверяет выполнение работы; дает письменный отзыв о работе.

Представление иллюстративного материала к публичной защите возможно в виде:

- плакатов и чертежей;
- раздаточного материала с иллюстрациями; с использованием:
- проекционной техники;
- компьютерной презентации.

Конкретные требования к содержанию, структуре, формам представления и объемам устанавливаются в соответствующих Положениях о выпускных квалификационных работах и методических указаниях по их подготовке и оформлению.

#### **6.11 Подготовка к текущей и промежуточной аттестации**

Система контроля включает в себя текущий и промежуточный контроль. Текущий контроль должен быть непрерывным. Формы текущего контроля устанавливаются по усмотрению преподавателя. Промежуточный контроль – это итог работы студента за семестр с учетом всех видов учебной работы.

**Текущий контроль.** Текущий контроль успеваемости обучающихся – это систематическая проверка учебных достижений обучающихся, проводимая в целях оценивания хода освоения дисциплин в соответствии с рабочей программой.

Текущий контроль успеваемости студентов очной формы обучения проводится по всем дисциплинам учебного плана в течение семестра:

- на лабораторных, семинарских, практических занятиях, по которым рабочими программами дисциплин предусмотрены отчетности;
- по всем формам самостоятельной работы студентов в заранее установленное время.

Текущий контроль успеваемости студентов осуществляется преподавателями кафедр, за которыми закреплены дисциплины учебного плана, и может проводиться в следующих формах:

- собеседование,
- контрольная работа,
- защита лабораторной работы,
- реферата,
- расчетно-графическая работа, и др.

Виды и сроки проведения текущего контроля успеваемости студентов устанавливаются рабочей программой дисциплины.

Текущий контроль успеваемости является элементом внутривузовской системы контроля качества подготовки обучающихся и способствует активизации познавательной деятельности студентов в ходе аудиторных занятий, при выполнении программ самостоятельной и индивидуальной работы.

Текущий контроль успеваемости должен учитывать выполнение обучающимися всех видов учебных занятий, предусмотренных учебным планом и рабочей программой дисциплины, самостоятельную, исследовательскую работу и посещаемость учебных занятий.

Анализ результатов текущего контроля студентов, обучающихся на основе рейтинговой оценки знаний, проводится 2 раза в семестр:

- в первом полугодии - на 1 ноября, на 10 декабря;
- во втором полугодии - на 1 апреля, на 20 мая.

Анализ результатов текущего контроля студентов, не участвующих в рейтинговой системе оценки знаний, проводится в институтах: к указанным выше датам итоги текущего контроля и количество пропущенных занятий (в часах) преподаватели, ведущие занятия, проставляют в листы текущего контроля успеваемости, которые анализируются и хранятся в институтах.

**Промежуточная аттестация.** Промежуточная аттестация призвана оценить уровень сформированности компетенций, полученных студентами в процессе изучения дисциплины, курсового проектирования и обеспечить контроль качества освоения образовательных программ.

Промежуточная аттестация проводится по завершении изучения какой - либо дисциплины.

Формами промежуточной аттестации являются зачет и экзамен.

При явке на промежуточную аттестацию обучающийся обязан предъявить зачетную книжку. Фамилия обучающегося должна значиться в зачетно-экзаменационной ведомости.

Зачеты студентам по изучаемым дисциплинам выставляются преподавателем, проводившим практические, семинарские или лабораторные занятия группы (подгруппы), на последнем занятии по результатам работы в семестре. Для студентов, обучающихся на основе рейтинговой системы оценки знаний, зачет выставляется автоматически при условии сдачи всех контрольных мероприятий, предусмотренных текущим контролем успеваемости.

#### **6.12 Подготовка к государственной итоговой аттестации**

В соответствии с образовательным стандартом по направлению подготовки и образовательной программой по направлению подготовк, в состав государственной итоговой аттестации входят:

- государственный экзамен;
- защита выпускной квалификационной работы.

#### **Подготовка к государственному экзамену**

Цель государственного экзамена – оценить глубину полученных знаний, практические навыки применения этих знаний при решении профессиональных задач (компетентность).

В связи с необходимостью объективной оценки степени сформированности компетенций выпускника, тематика экзаменационных вопросов и заданий должна быть комплексной и соответствовать избранным разделам из различных учебных дисциплин, формирующих конкретные компетенции.

Например, в экзаменационное задание (вопрос) могут входить элементы нескольких дисциплин (модулей) общенаучного, и профессионального циклов.

На государственном экзамене могут контролироваться как отдельные компетенции, так и элементы различных компетенций.

Государственный экзамен может проводиться в письменной, устной и смешанной форме. Экзаменационные билеты включают несколько вопросов из представленного перечня дисциплин. Один из вопросов рекомендуется делать комплексным, ситуационным или представляющим задание практического характера. Перед итоговым экзаменом предполагается предэкзаменационная консультация и выделение времени на подготовку к экзамену не менее 7 дней. Для подготовки студентов к государственному экзамену разрабатывается программа, где должна быть отражена процедура подготовки и проведения государственного экзамена, критерии оценки.

В содержание программы включается перечень вопросов и заданий, выносимых на экзамен, и позволяющих оценить результаты обучения.

### ***Подготовка к защите ВКР***

Выпускная квалификационная работа (ВКР) представляет собой самостоятельную и логически завершённую выпускную квалификационную работу, связанную с решением задач того вида (видов) деятельности, к которым готовится студент (научно-исследовательской, научно-педагогической, проектной, технологической, исполнительской, творческой, организаторской и другим).

Выпускник должен не только подготовить ВКР, но и уметь защитить ее на итоговой государственной аттестации.

При подготовке к защите необходимо:

- повторить основные требования руководящих документов на текущий год по теме ВКР;
- подготовить все графические иллюстрации; составить доклад для устного изложения;
- изучить отзыв и рецензию на ВКР, подготовить ответы на замечания рецензента и окончательно уточнить свой доклад;
- ознакомиться с новыми руководящими документами и литературой по вопросам ВКР, а также с последними изменениями по вопросам теплогазоснабжения и вентиляции;
- провести предварительную защиту.

Демонстрационные материалы представляются по согласованию с руководителем.

Подготовка выпускником доклада по выполненной ВКР является важным этапом подготовки к защите. К подготовке доклада приступают после оформления пояснительной записки (текстуальной части) ВКР, запланированных в задании графических документов и разработки иллюстративного материала.

По времени доклад должен занимать 10...12 минут. За это время можно изложить 5...8 страниц машинописного текста доклада.

В докладе отражается: актуальность темы работы; теоретические положения, на которых базируется ВКР; результаты проведенного анализа изучаемой проблемы; конкретные предложения по деятельности соответствующих органов; дается разъяснение и убедительное обоснование положений и выводов по этим вопросам, исходя из полученных результатов. Особое внимание необходимо сосредоточить на собственных разработках и предложениях.

Доклад при защите ВКР может быть построен по следующей схеме: вначале излагается наименование темы, актуальность, раскрывается цель и задачи исследования, затем в необходимой логической последовательности докладывается содержание важнейших узловых вопросов темы и делается заключение. При изложении основного содержания ВКР следует показать постановку задач на исследование заданных вопросов, методику решения поставленных задач, основные результаты и выводы, к которым пришел выпускник в ходе выполнения выпускной квалификационной работы.

Основные выводы и предложения обосновываются необходимыми расчетами и примерами из практики.

В заключительной части доклада указывается, как достигнуты цели ВКР, что сделано и разработано, что нового выпускник предложил в результате выполнения ВКР, основные результаты работы и где они могут быть использованы.

Доклад строят с учетом графического материала (Чертежи, схемы, диаграммы и т.д.). Текст доклада согласовывается с руководителем.

Написанный доклад представляется руководителю для просмотра.

Текст доклада отрабатывают таким образом, чтобы его можно было излагать на память. Чтение доклада нежелательно, оно может привести к снижению оценки выпускной квалификационной работы.

## **7. Критерии оценки самостоятельной работы**

Компетенции (знания, умения и навыки) студентов оцениваются оценками:

- «отлично»;
- «хорошо»;
- «удовлетворительно»;
- «неудовлетворительно»;
- «зачтено»;
- «не зачтено».

Зачеты оцениваются отметкой: «зачтено», «не зачтено».

Зачеты с оценкой оцениваются по пятибалльной системе: «отлично», «хорошо», «удовлетворительно» и «неудовлетворительно».

По курсовым работам (проектам) в обязательном порядке выставляется зачет с оценкой.

Экзамены оцениваются по пятибалльной системе: «отлично», «хорошо», «удовлетворительно» и «неудовлетворительно».

Основные критерии оценивания компетенций:

Отметка «зачтено» ставится студентам, успешно обучающимся по данной дисциплине в семестре и не имеющим задолженностей по результатам текущего контроля успеваемости.

Отметка «не зачтено» ставится студенту, имеющему задолженности по результатам текущего контроля успеваемости по данной дисциплине.

Оценка «отлично» выставляется студенту, если он глубоко и прочно усвоил программный материал, исчерпывающе, последовательно, четко и логически стройно его излагает, умеет тесно увязывать теорию с практикой, свободно справляется с задачами, вопросами и другими видами применения знаний, причем не затрудняется с ответом при видоизменении заданий, использует в ответе материал монографической литературы, правильно обосновывает принятое решение, владеет разносторонними навыками и приемами выполнения практических задач.

Оценка «хорошо» выставляется студенту, если он твердо знает материал, грамотно и по существу излагает его, не допуская существенных неточностей в ответе на вопрос, правильно применяет теоретические положения при решении практических вопросов и задач, владеет необходимыми навыками и приемами их выполнения.

Оценка «удовлетворительно» выставляется студенту, если он имеет знания только основного материала, но не усвоил его деталей, допускает неточности, недостаточно правильные формулировки, нарушения логической последовательности в изложении программного материала, испытывает затруднения при выполнении практических работ.

Оценка «неудовлетворительно» выставляется студенту, который не знает значительной части программного материала, допускает существенные ошибки, неуверенно, с большими затруднениями выполняет практические работы. Отметка «неудовлетворительно» выставляется также, если обучающийся после начала экзамена отказался его сдавать.

Оценка «неудовлетворительно» проставляется только в экзаменационную ведомость, в зачетную книжку студента проставлять отметку «неудовлетворительно» не разрешается.

Критерии оценки уровня обученности и уровня сформированности компетенций по дисциплине устанавливает кафедра и отражает их в рабочей программе и фондах оценочных средств дисциплины.

Ответственность за единообразие требований, предъявляемых на экзаменах, несет заведующий кафедрой. По дисциплинам, изучаемым в течение двух и более семестров, итоговой оценкой является оценка, полученная на последнем экзамене.

## **Заключение**

Самостоятельная работа всегда завершается какими-либо результатами. Таким образом, широкое использование методов самостоятельной работы, побуждающих к мыслительной и практической деятельности, развивает столь **важные** интеллектуальные качества человека,

обеспечивающие в дальнейшем его стремление к постоянному овладению знаниями и применению их на практике.